

1. Cadre réglementaire

L'étude sera menée en application de la réglementation suivante :

- **Décret N° 95-21 du 9 janvier 1995** relatif au classement des infrastructures de transport terrestres et modifiant le Code de l'urbanisme et le Code de la construction et de l'habitation, (pour les voies routières dont le trafic moyen annuel est de 5 000 Véhicules/jour). Le classement se fait en 5 catégories et l'on détermine sur cette base :
 - les secteurs affectés par le bruit,
 - les niveaux sonores que les constructeurs sont tenus de prendre en compte pour la construction des bâtiments inclus dans ces secteurs,
 - les isolements acoustiques de façade requis.
- **Décret N° 95-22 du 9 janvier 1995** relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transport terrestres, plus particulièrement les articles 2 et 3 relatifs à la transformation d'une infrastructure existante et à la notion de transformation significative.
- **Arrêté du 5 mai 1995** relatif au bruit des infrastructures routières nouvelles, détermination des niveaux sonores maximaux admissibles en fonction de la nature des locaux et de la zone d'ambiance sonore (modérée ou non modérée).
- **Circulaire N° 97-110 du 12 décembre 1997** la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national, dépend d'une part de la zone d'ambiance sonore et d'autre part du changement de l'environnement sonore causé par la modification (transformation dite significative s'il y a 2 dB(A) en plus après transformation).
- **Le décret du 31 Août 2006** relatif aux bruits de voisinage.

2. Mesures

2.1. DATES DES MESURES

Pour les mesures initiales réalisées en Décembre 2018, la présence d'habitations informelles de part et d'autre de la rue de la carrière a rendu impossible la réalisation de mesures longues sur les points 1, 2 et 3. Sur ces points, des campagnes de mesure courtes (30 min) ont été réalisées :

- Les mesures ont été réalisées entre 18h31 et 19h01 le mercredi 28 Novembre 2018 et entre 23h02 et 23h32 le mercredi 28 Novembre 2018 pour le point 1.
- Trois périodes de mesures ont été faites pour le point 2. Une mesure entre 17h57 et 18h27 le mercredi 28 Novembre 2018, une mesure entre 22h30 et 23h00 mercredi 28 Novembre 2018 et enfin une mesure entre 09h52 et 10h22 le jeudi 29 Novembre 2018.
- Trois périodes de mesures ont été faites pour le point 3. Une mesure entre 17h25 et 17h55 le mercredi 28 Novembre 2018, une mesure entre 21h56 et 22h26 le mercredi 28 Novembre 2018 et enfin une mesure entre 09h17 et 09h47 le jeudi 29 Novembre 2018.
- Les mesures ont été réalisées entre mardi 27 Novembre 2018 à 10h00 et mercredi 28 Novembre 2018 à 10h38 pour le point 4.

En ce qui concerne les mesures réalisées en juin 2019, il a été réalisé des mesures courtes (30 min) et des mesures longues. Ces dernières ont été interrompues après quelques heures de mesures suite à des phénomènes météorologiques violents (vent et pluie).

Les points courts serviront à affiner le modèle.

- Les mesures ont été réalisées pour le point 5, en mesure courte, le jeudi 20 juin 2019 entre 15h50 et 16h20.
- Les mesures ont été réalisées pour le point 6, en mesure courte, entre 16h28 et 16h58 le jeudi 20 juin 2019.
- Les mesures ont été réalisées pour le point 7, en mesure longue, entre le jeudi 20 Juin 2019 à 17h20 et le vendredi 21 juin 2019 à 9h00.
- Les mesures ont été réalisées pour le point 8, en mesure longue, entre le jeudi 20 Juin 2019 à 17h48 et le vendredi 21 juin 2019 à 1h30.
- Les mesures ont été réalisées pour le point 9, en mesure courte, le vendredi 21 juin 2019 entre 12h35 et 13h05.

2.2. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques étaient favorables à la réalisation des mesures (pluie très légère et ponctuelle et vent < 5 m.s-1 pour le point 4 pas de pluie et vent < 5 m.s-1 pour les autres points).

Lors des mesures complémentaires, les conditions météorologiques se sont fortement et rapidement dégradées tôt le matin du vendredi 21 Juin 2019.



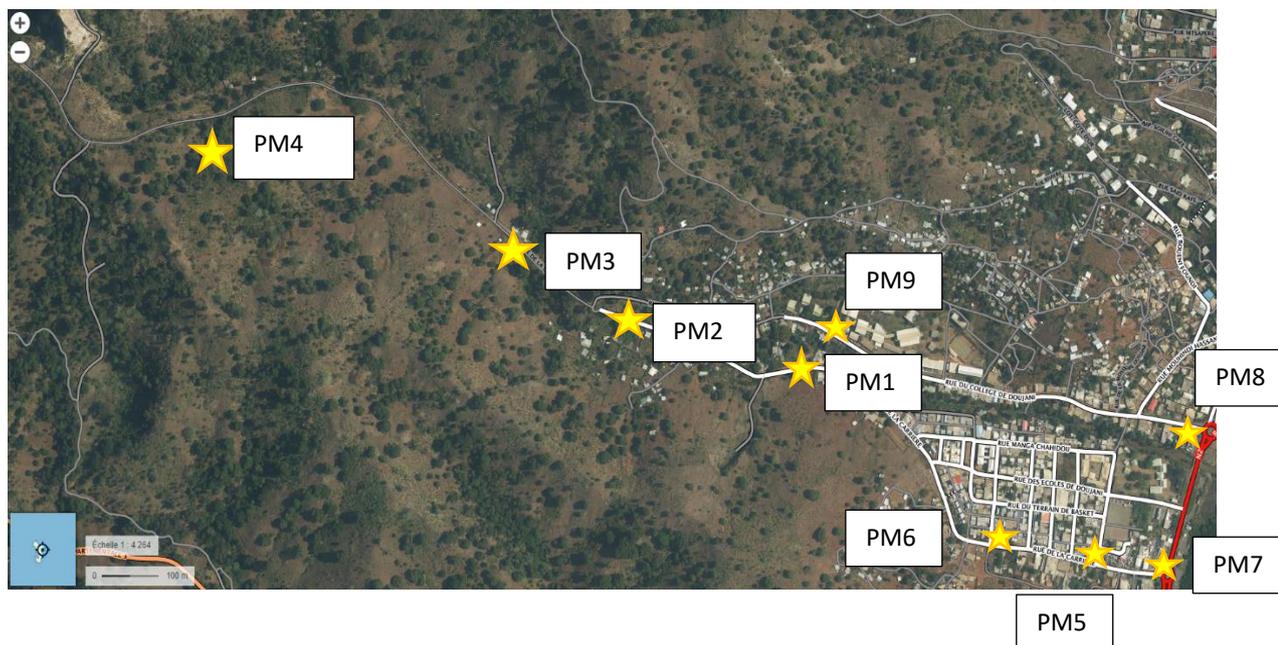
2.3. MATERIEL DE MESURE ET D'ANALYSE

Pour réaliser les mesures nous avons utilisé 2 sonomètres intégrateurs de classe 1 01dB de type SOLO et FUSION équipés de microphones 01dB 1/2 pouce, type MCE 212.

Les sonomètres ont été calibrés in situ avec une source sonore étalon 01 dB type CAL21.

2.4. EMPLACEMENT DES POINTS DE MESURE

Le plan et les photographies ci-dessous donnent la position des 9 points de mesure.



Emplacement des points de mesure

Coordonnées GPS des points de mesure		
Identifiant	Latitude	Longitude
Point 1	12°47'36.79"S	45°12'35.61"E
Point 2	12°47'34.68"S	45°12'26.65"E
Point 3	12°47'31.74"S	45°12'18.79"E
Point 4	12°47'24.59"S	45°12'01.24"E
Point 5	12°47'46.61"S	45°12'52.97"E
Point 6	12°47'45.58"S	45°12'46.65"E
Point 7	12°47'47.11"S	45°12'56.48"E
Point 8	12°47'40.03"S	45°12'58.74"E
Point 9	12°47'34.83"S	45°12'36.52"E

2.5. DESCRIPTION DES POINTS DE MESURE

Les mesures ont été réalisées le long de la rue de la carrière. Cependant, bien que l'image satellite (datant de 2016) montre des espaces plutôt dégagés, il a eu une expansion de l'habitat informel (Bidonville) de part et d'autre de la rue avec une forte densité. De jour, la rue est fréquentée par les habitants et les véhicules de la carrière situé à l'extrémité de la rue.

Habitations informels en bordure de la rue de la carrière :

- -Point de mesure et de calcul n°1 : Zone d'habitation avec circulation des habitants et des véhicules vers la carrière.
- -Point de mesure et de calcul n°2 : Zone d'habitation avec circulation des habitants et des véhicules vers la carrière.
- -Point de mesure et de calcul n°3 : Zone d'habitation et d'agriculture (plantations et élevage d'animaux) avec circulation des habitants et des véhicules vers la carrière.
- -Point de mesure et de calcul n°4: Zone de friche situé à environ 250 m de l'entrée de la carrière.
- -Point de mesure et de calcul n°5 : Zone d'habitation avec circulation des habitants et des véhicules dans le village.
- -Point de mesure et de calcul n°6 : Zone d'habitation avec circulation des habitants et des véhicules dans le village et vers la carrière.
- -Point de mesure et de calcul n°7 : Zone d'activité à proximité de la RN2.
- -Point de mesure et de calcul n°8 : Zone d'activité à proximité de la RN2.
- -Point de mesure et de calcul n°9 : Zone de friche à proximité du collège et des habitations avec circulation des habitants et des véhicules dans le village.

3. Résultat des mesures

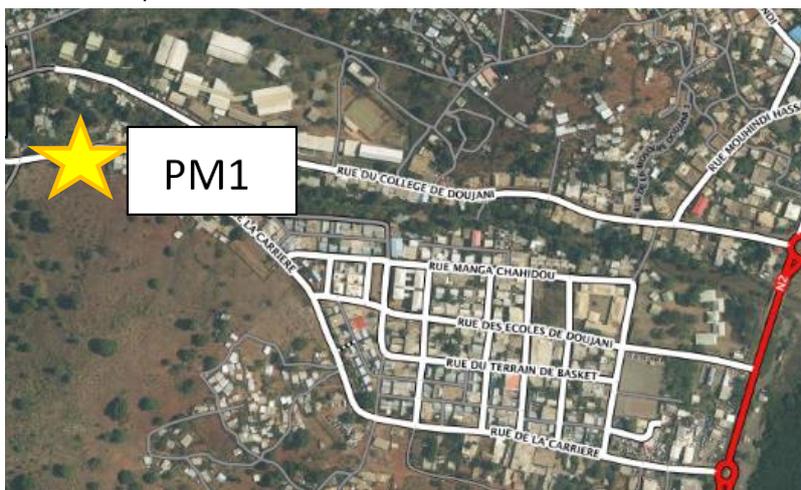
Les mesures ont été réalisées suivant les recommandations de la norme NF S 31-010 relative à la « caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement ». Les résultats de la campagne de mesure sont présentés ci-dessous :

3.1. PM1

Sur le point 1, il a été réalisé deux séries de mesures courtes.

- Une mesure de 30 minutes le 28 novembre en fin d'après-midi.
- Une mesure de 30 minutes le 28 novembre dans la nuit.

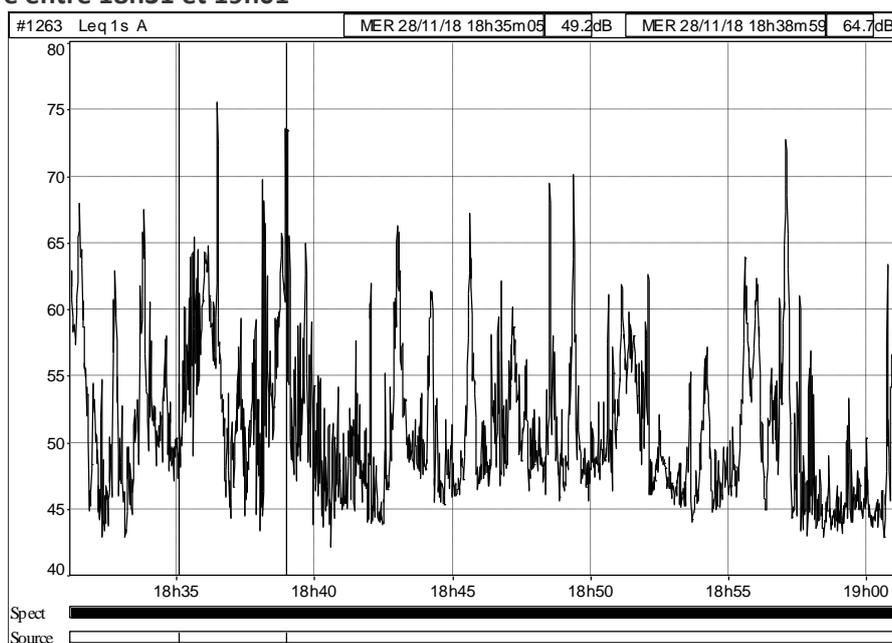
Il était initialement prévu une mesure de 30 minutes le matin du 29 novembre mais la présence d'un engin au niveau du point de mesure a empêché la mesure.



Point de mesure 1 avec engin empêchant la mesure du 29 novembre 2018

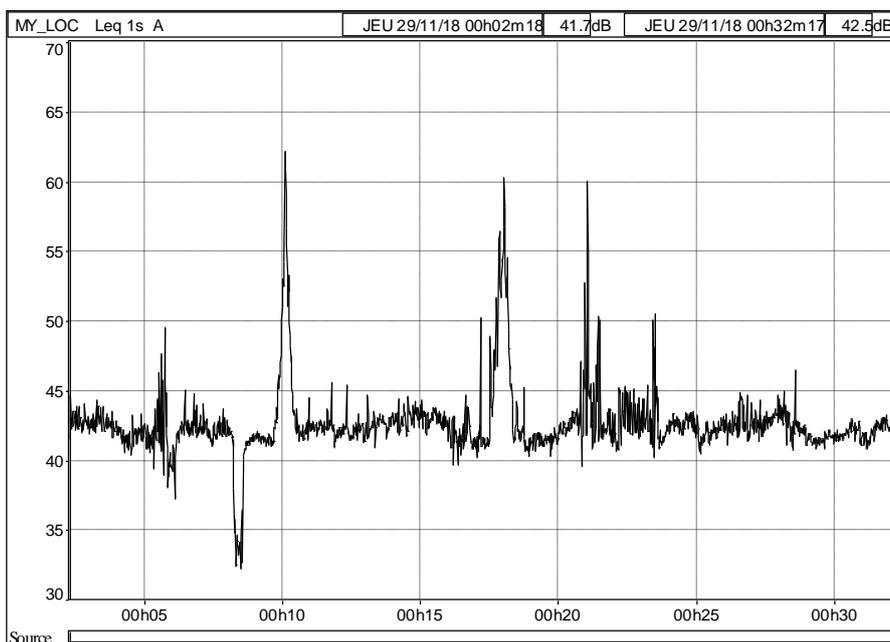
L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

28 novembre entre 18h31 et 19h01



28 novembre entre 23h02 et 23h32

Nota : la mesure du point 1 de nuit a été réalisé avec un sonomètre calibré au fuseau horaire de la Réunion. Il est donc nécessaire de retranché 1heure aux différente mesure pour correspondre au fuseau horaire de Mayotte.



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période ¹	L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Diurne	56.7	45.0	49.6	59.4
Nocturne	44,3	41,1	42,1	43,8

¹ La période diurne correspond à la période entre 6h et 22h et la période diurne correspond à la période entre 22h et 6h.

3.2. PM2

Sur le point 1, il a été réalisé trois séries de mesures courtes.

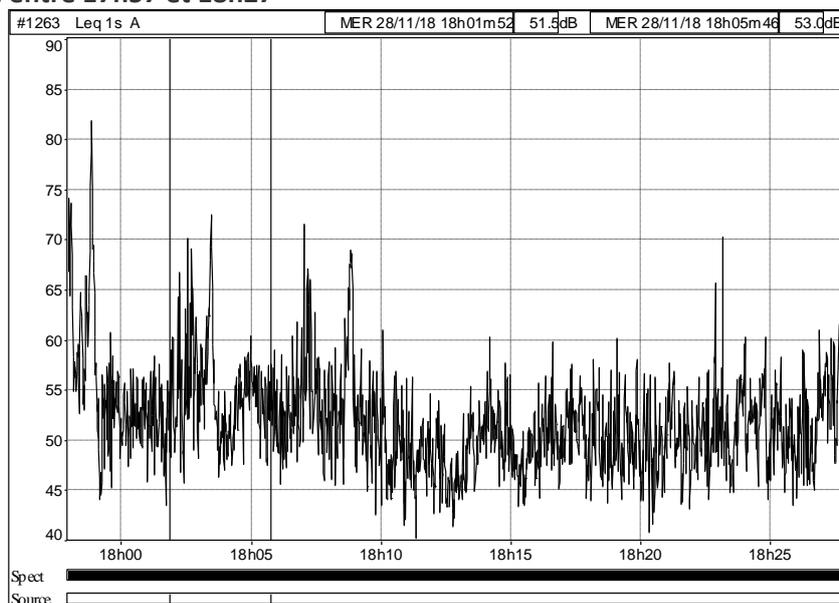
- Une mesure de 30 minutes le 28 novembre en fin d'après-midi.
- Une mesure de 30 minutes le 28 novembre dans la nuit.
- Une mesure de 30 minutes le 29 novembre le matin.



Point de mesure 2

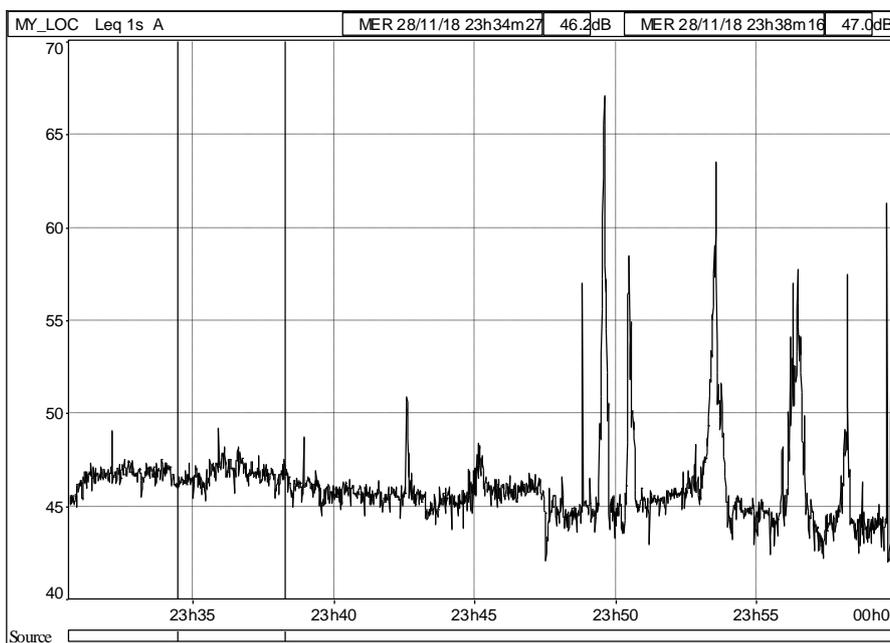
L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

28 novembre entre 17h57 et 18h27

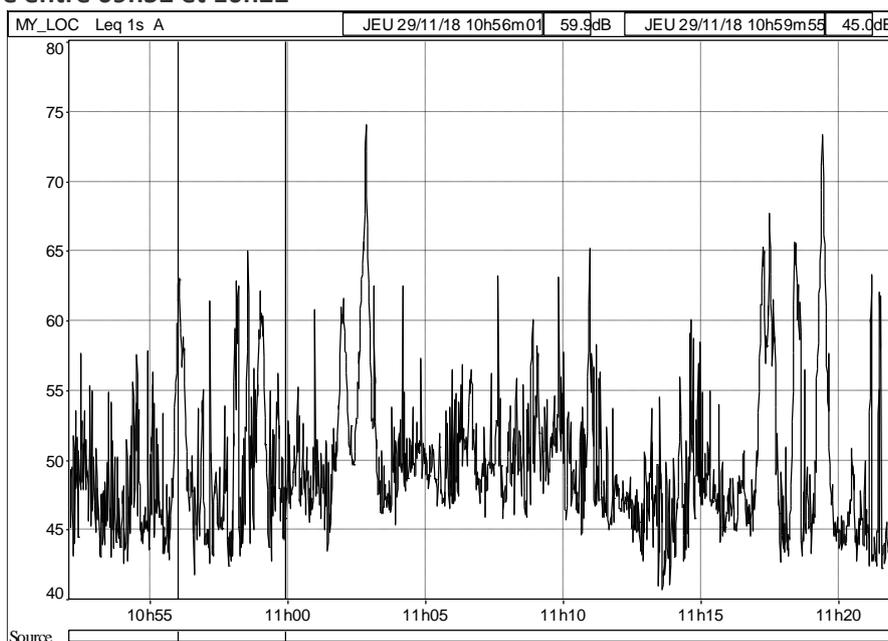


28 novembre entre 22h30 et 23h00

Nota : la mesure de nuit du point 2 a été réalisé avec un sonomètre calibré au fuseau horaire de la Réunion. Il est donc nécessaire de retranché 1heure aux différente mesure pour correspondre au fuseau horaire de Mayotte.



29 novembre entre 09h52 et 10h22



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

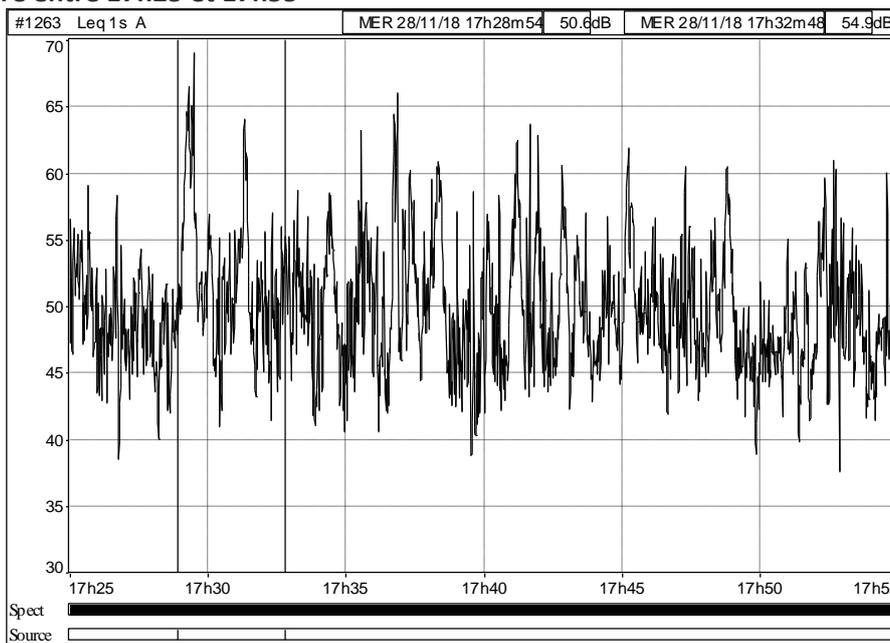
Période	L _{Aeq}	L ₉₀	L ₅₀	L ₁₀
Diurne	56.4	45.4	49.9	57.4
Nocturne	47.9	44.2	45.7	47.3

3.3. PM3



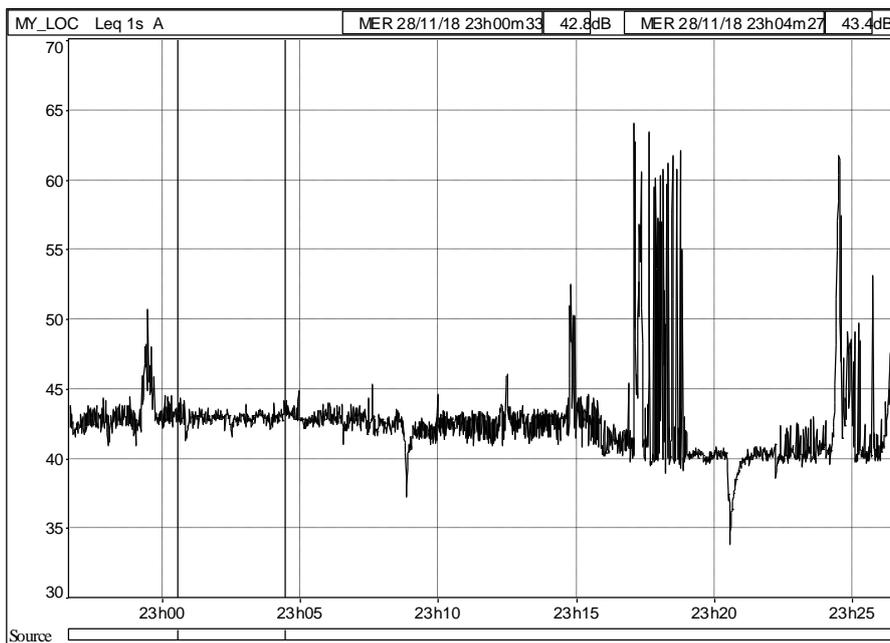
Point de mesure 3 à proximité d'habitations et d'une zone d'exploitation agricole

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :
28 novembre entre 17h25 et 17h55

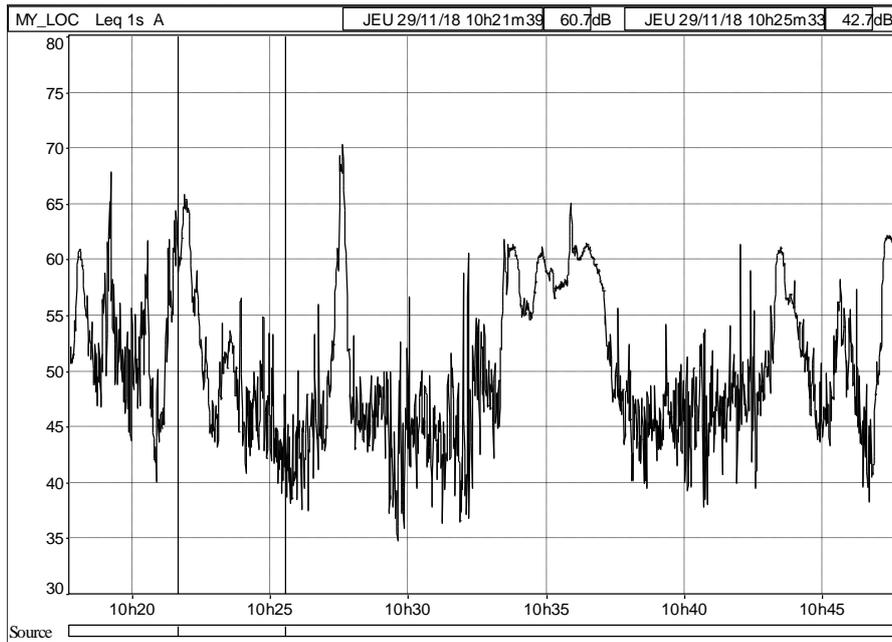


28 novembre entre 21h56 et 22h26

Nota : la mesure de nuit du point 3 a été réalisé avec un sonomètre calibré au fuseau horaire de la Réunion. Il est donc nécessaire de retranché 1heure aux différente mesure pour correspondre au fuseau horaire de Mayotte.



29 novembre entre 09h17 et 09h47



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L _{Aeq}	L ₉₀	L ₅₀	L ₁₀
Diurne	52.9	44.4	49.2	55.9
Nocturne	45.5	40	42.4	43.8

3.4. PM4



Zone d'activité (bris de roche) à l'entrée de la carrière à environ 250m



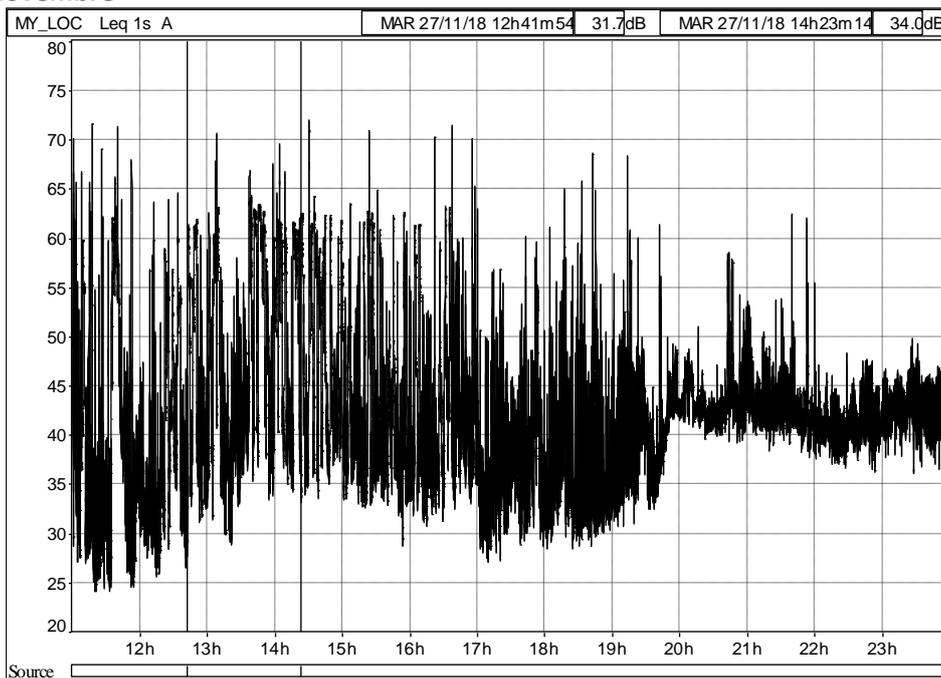
Point de mesure 4



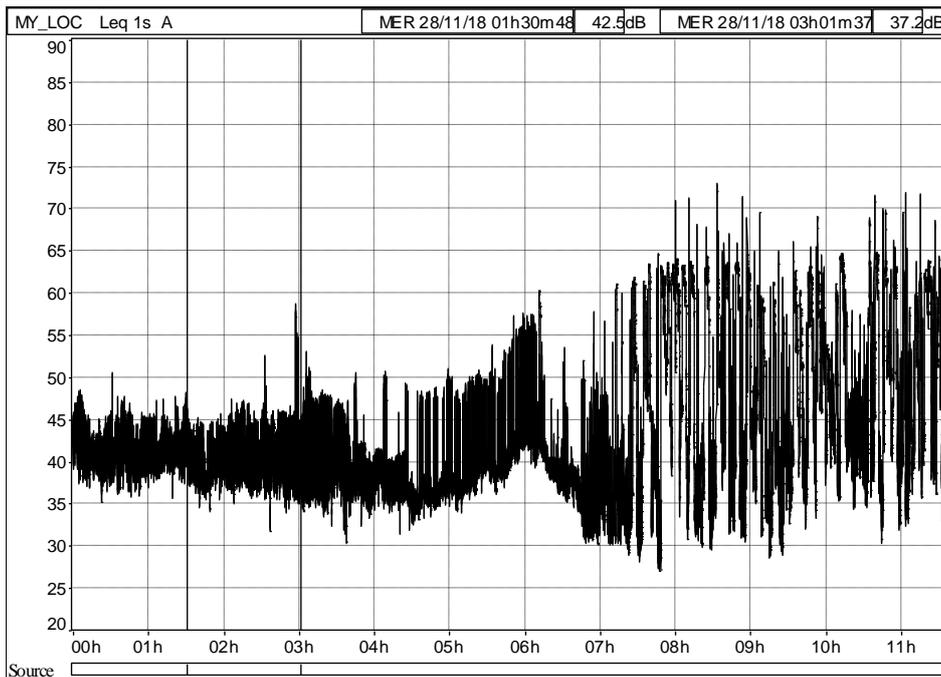
Voie d'accès à la Carrière et zone de friche

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

PM4- 27 novembre



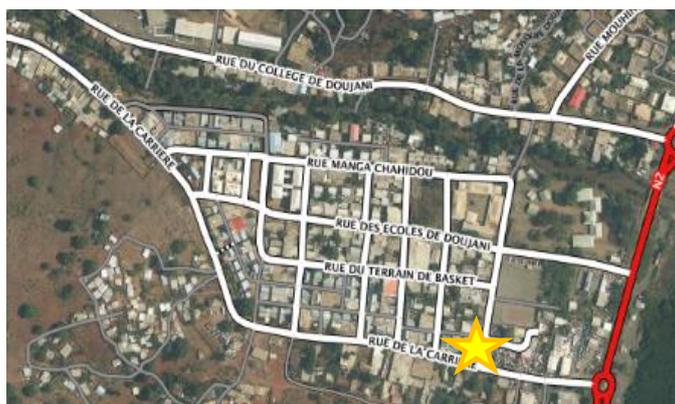
PM4- 28 novembre



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Diurne	54	33.1	42.7	58
Nocturne	42.7	38.5	41.3	44.5

3.5. PM5



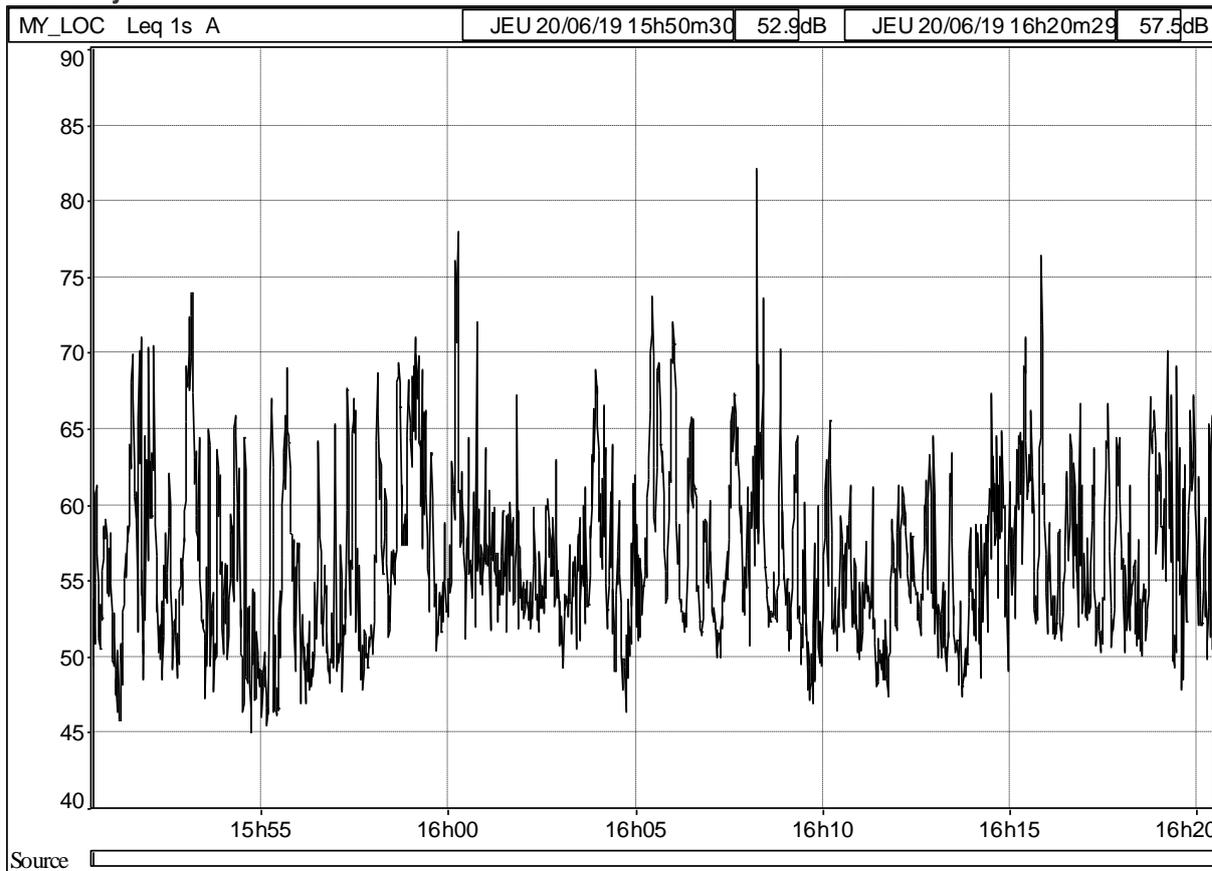
PM5



Point de mesure 5

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

PM5- 20 juin



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Diurne	61.1	50.1	55.3	64.1

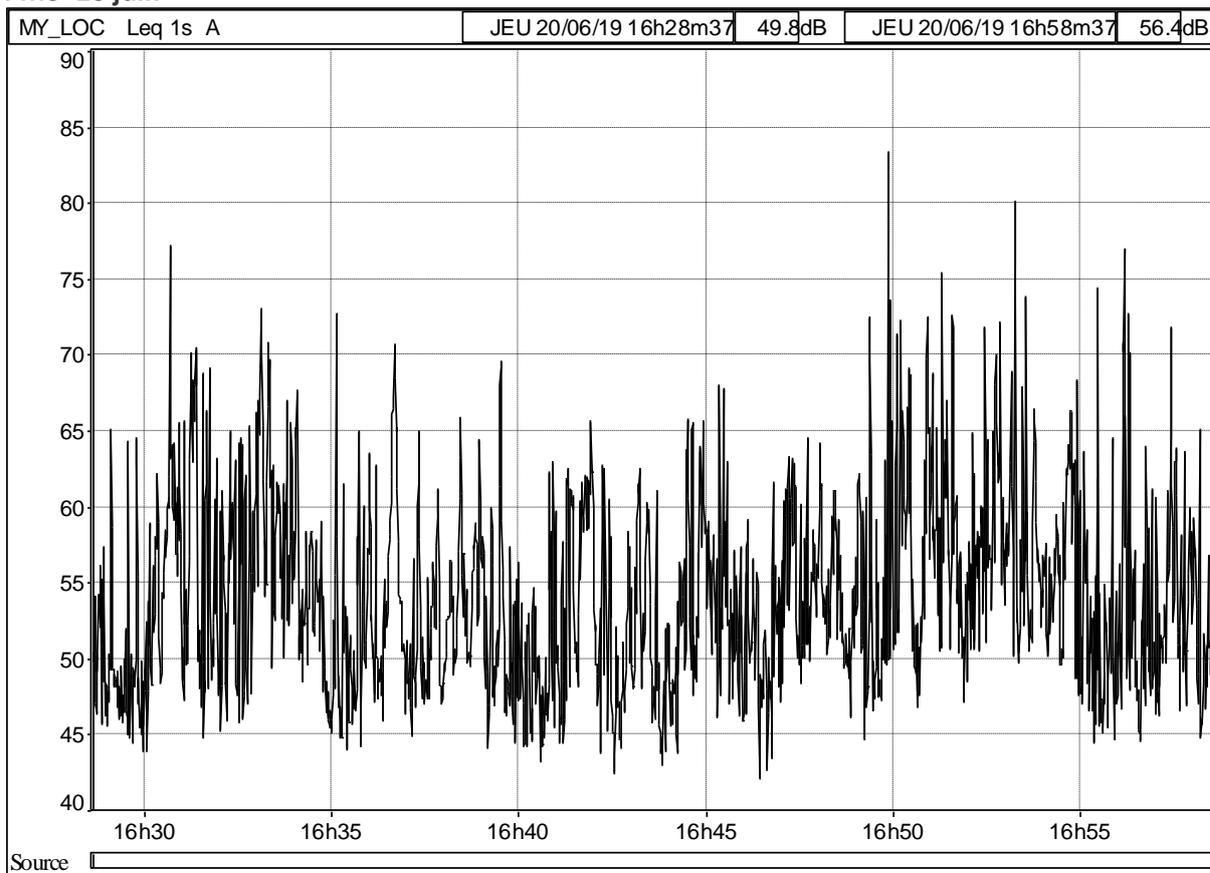
3.6. PM6



Point de mesure 6

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

PM6- 20 juin



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Diurne	60.7	46.9	52.9	62.6

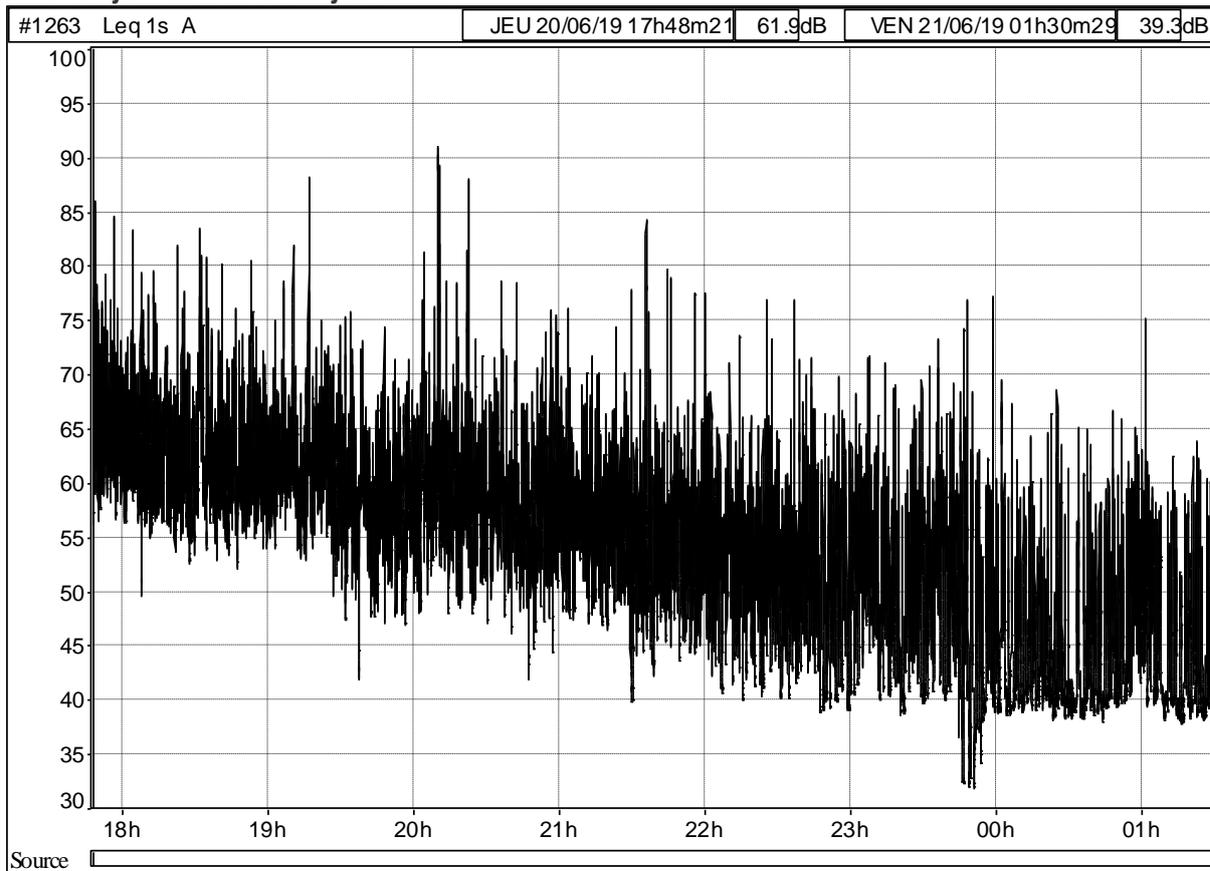
3.7. PM7



Point de mesure 7

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

PM7- 20 juin 17h 48 au 21 juin 1h30



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Diurne	63.8	48.2	58	65.3
Nocturne	53.8	39.3	44.8	56.9

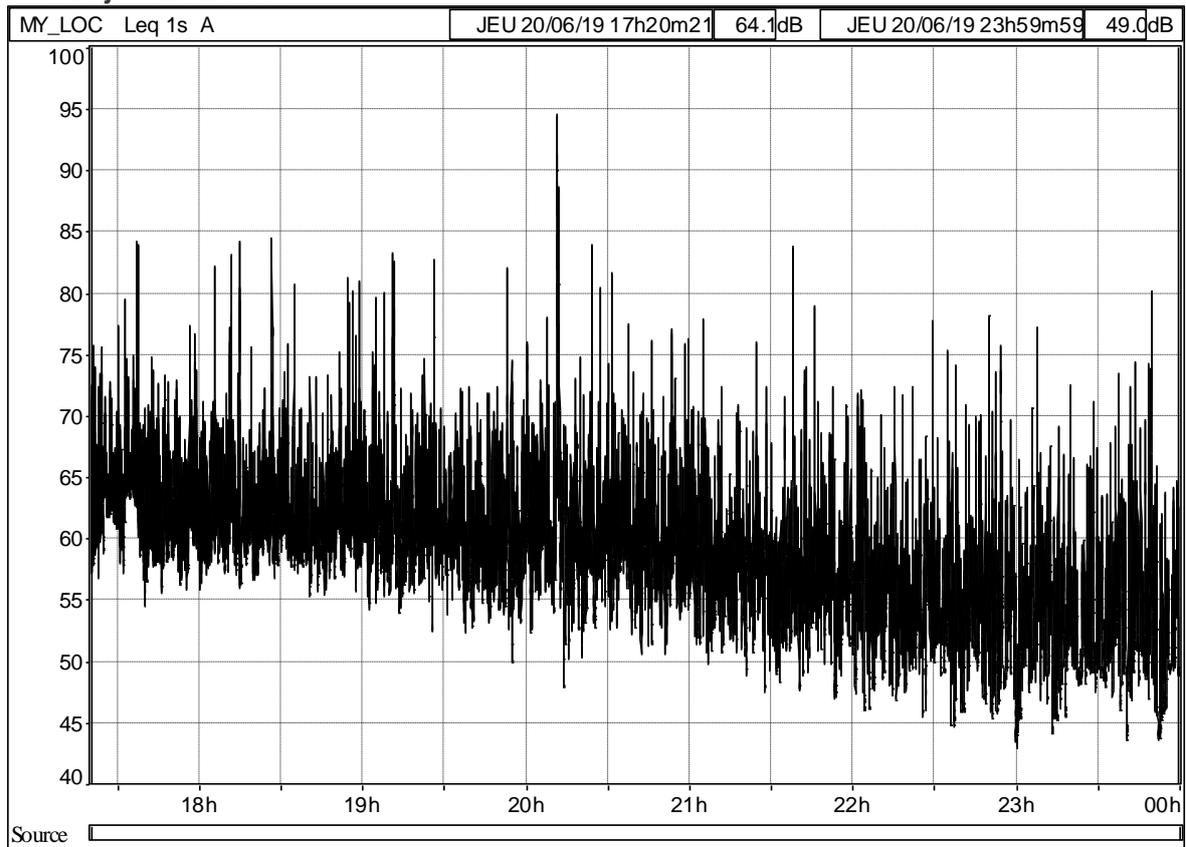
3.8. PM8



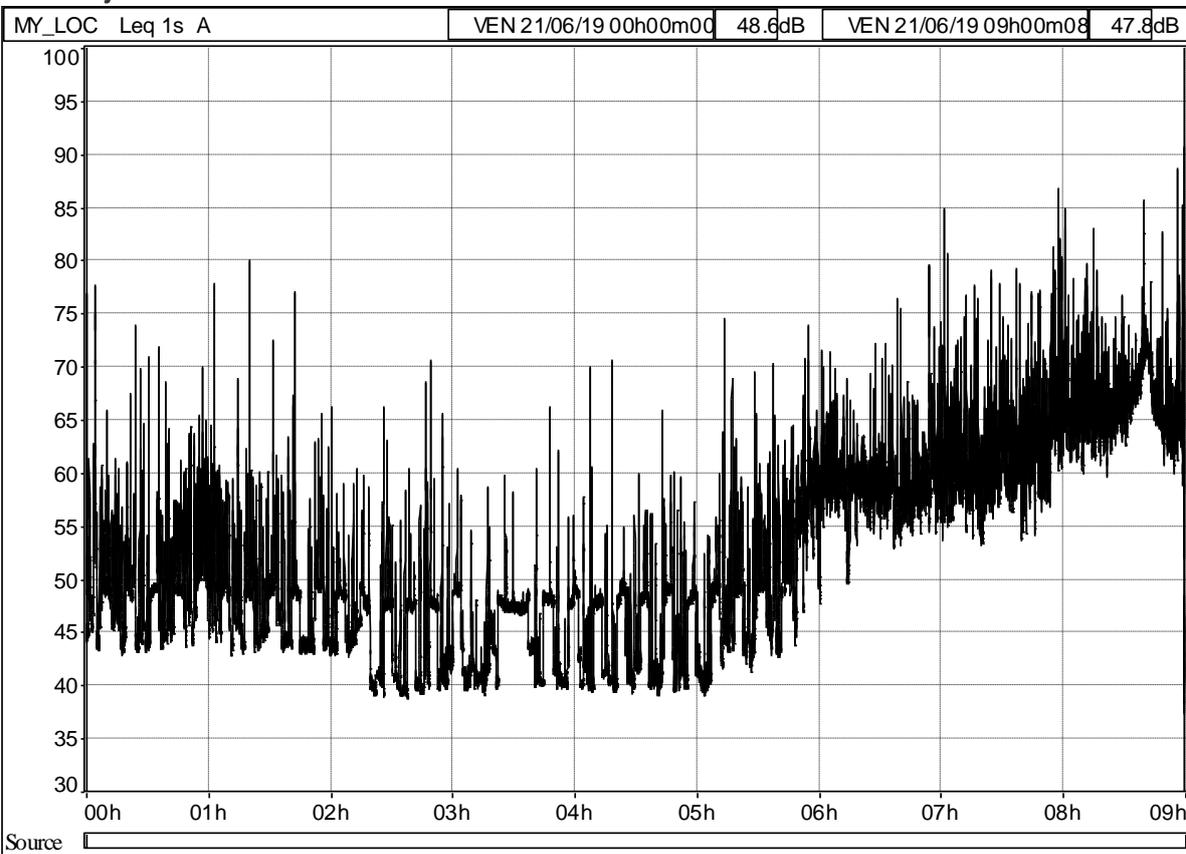
Point de mesure 8

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

PM7- 20 juin 17h20-00h



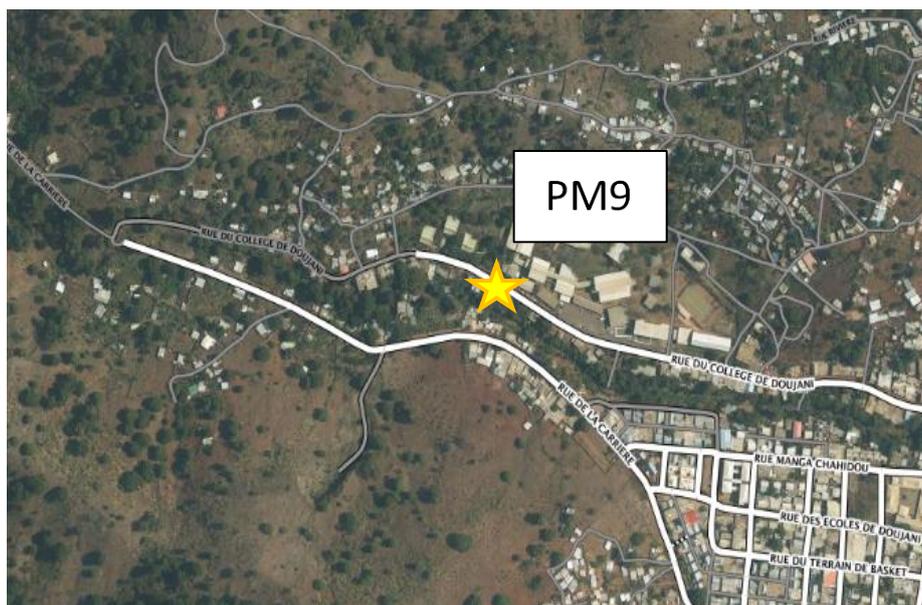
PM7- 21 juin 00h-9h



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L_{Aeq}	L₉₀	L₅₀	L₁₀
Diurne	66	53	59.4	65.7
Nocturne	56.3	44	50.3	59.2

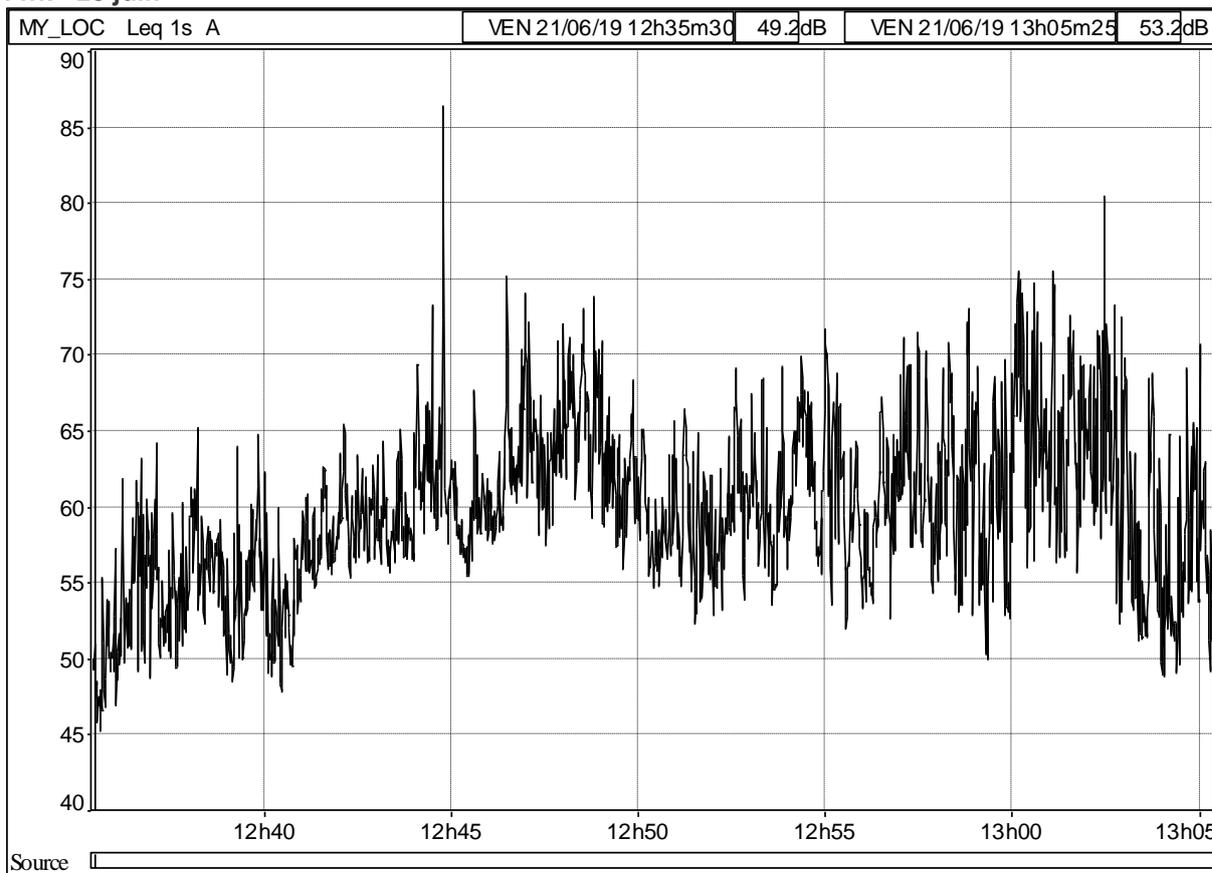
3.9. PM9



Point de mesure 9

L'évolution temporelle du niveau sonore L_{Aeq} en dB(A) est donnée ci-dessous :

PM7- 20 juin



Le résultat des mesures est donné en dB(A) dans les tableaux suivants:

Période	L_{Aeq}	L_{90}	L_{50}	L_{10}
Diurne	63.8	52.8	59.4	66.9

Le tableau ci-dessous donne les résultats globaux obtenus à partir des mesures effectuées en fonction de la période considérée.

Identification	Laeq mesuré par période en dB(A)	
	Diurne	Nocturne
PM 1	56.7	44.3
PM 2	56.4	47.9
PM 3	54.1	45.5
PM 4	54	42.7
PM 5	61.1	
PM 6	60.7	
PM 7	63.8	53.8
PM 8	66	56.3
PM9	63.8	-

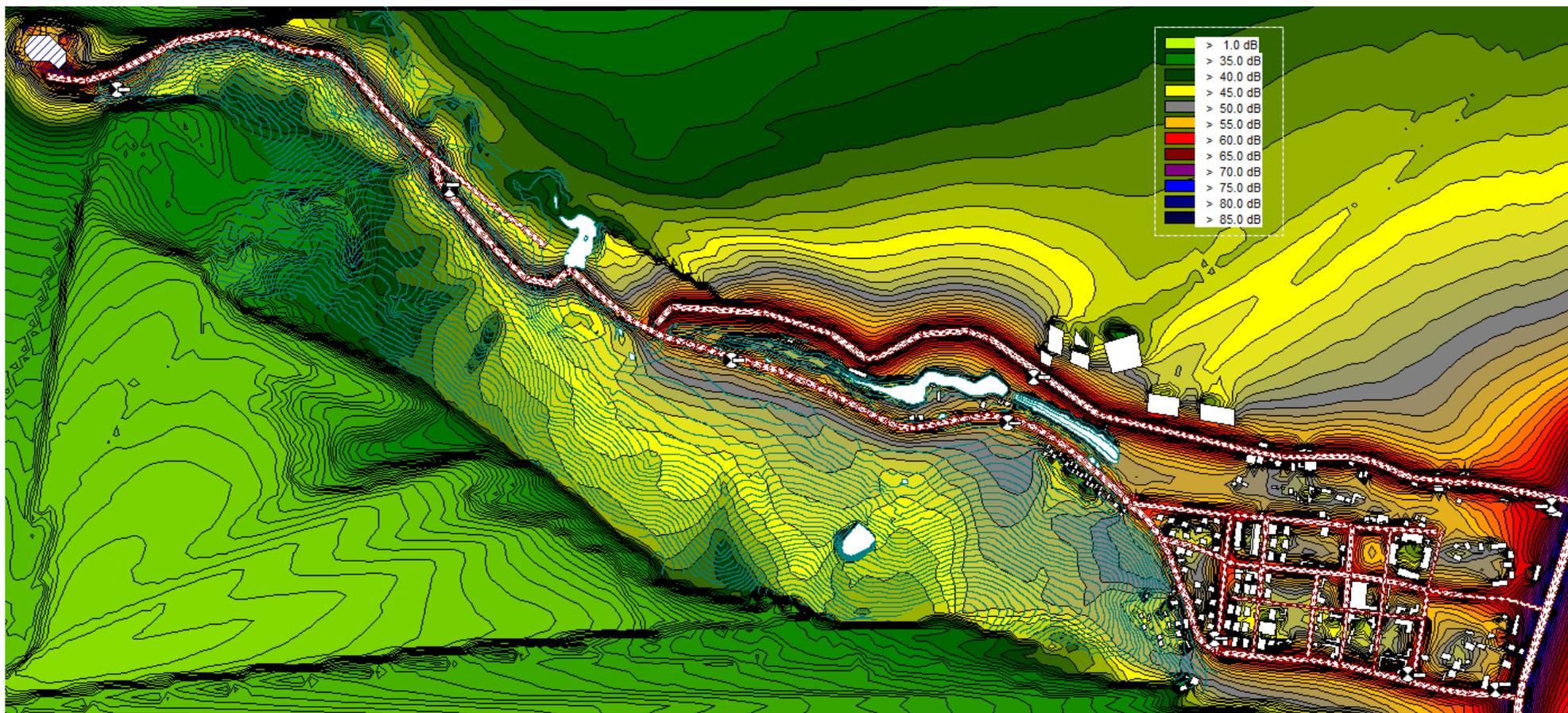
Synthèse des niveaux sonores mesurés

4. Cartographie sonore de l'état initial

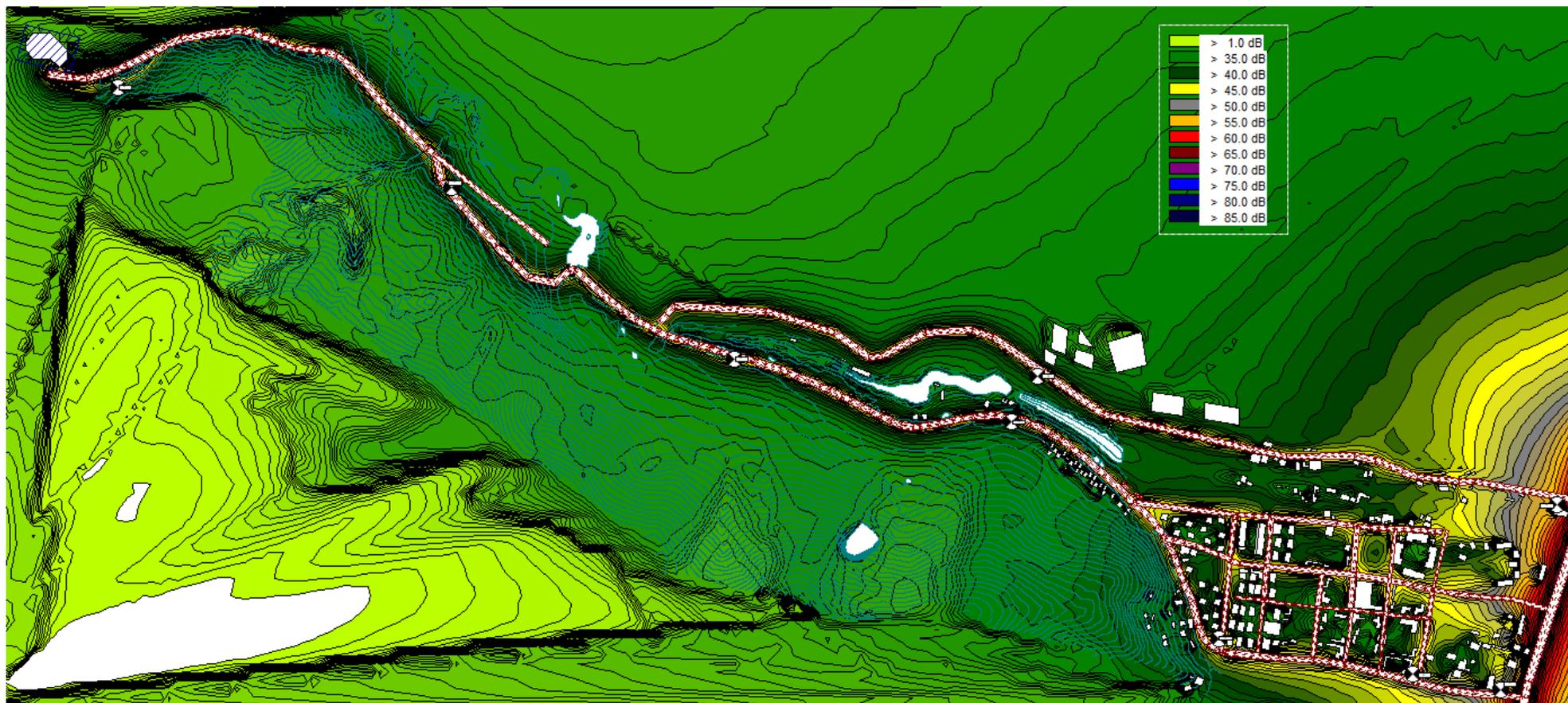
Une modélisation informatique de la zone d'étude a été effectuée avec le logiciel CADNAA (DataKustik) qui intègre la méthode NMPB96-Routes-96 (Nouvelle Méthode de Prévion du Bruit) dans ses algorithmes de calcul. Cette modélisation intègre la topographie (terrain) et les obstacles présents (bâtis, infrastructures).

A partir des mesures, la cartographie sonore de l'état initial a été réalisée en période diurne et nocturne.

Les cartographies sonores ci-dessous ont été réalisées pour la période diurne et nocturne.



Cartographie sonore en période diurne



Cartographie sonore en période nocturne

4.1. RESULTATS DES SIMULATIONS

Le tableau ci-dessous montre les niveaux sonores mesurés et simulés en chaque point où la mesure a été effectuée.

Identification	Laeq mesuré par période en dB(A)		Laeq simulé par période en dB(A)	
	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne
PM 1	56.7	44.3	56.3	44.4
PM 2	56.4	47.9	56.7	47.9
PM 3	54.1	45.5	54.4	45.5
PM 4	54.0	42.7	54.0	42.4
PM 5	61.1	-	61.2	47.0
PM 6	60.7	-	60.3	45.1
PM 7	63.8	53.8	63.8	53.8
PM 8	66.0	56.3	65.7	56
PM9	63.8	-	64.0	42.1

Niveaux sonores mesurés et niveaux sonores simulés

Que ce soit en période diurne ou nocturne, les sources de bruit principales sont les infrastructures routières situées dans les quartiers et la vie du quartier lui-même.

Le point 4 est localisé à proximité de la carrière et de la zone de bris de roches. Ces nuisances sont présentes en journée uniquement sur toute la journée.

La carrière présente un risque de nuisances sonores important sur les futures constructions. Le niveau sonore au niveau du point 4 tiendra compte des nuisances de la carrière, ceux-ci resteront présents suite à l'aménagement des parcelles.

Les niveaux sonores sont représentatifs de la zone étudiée.

5. Identification des zones sensibles

Cette partie vise à identifier les points sensibles et très sensibles existants le long ou à proximité du projet d'aménagement.

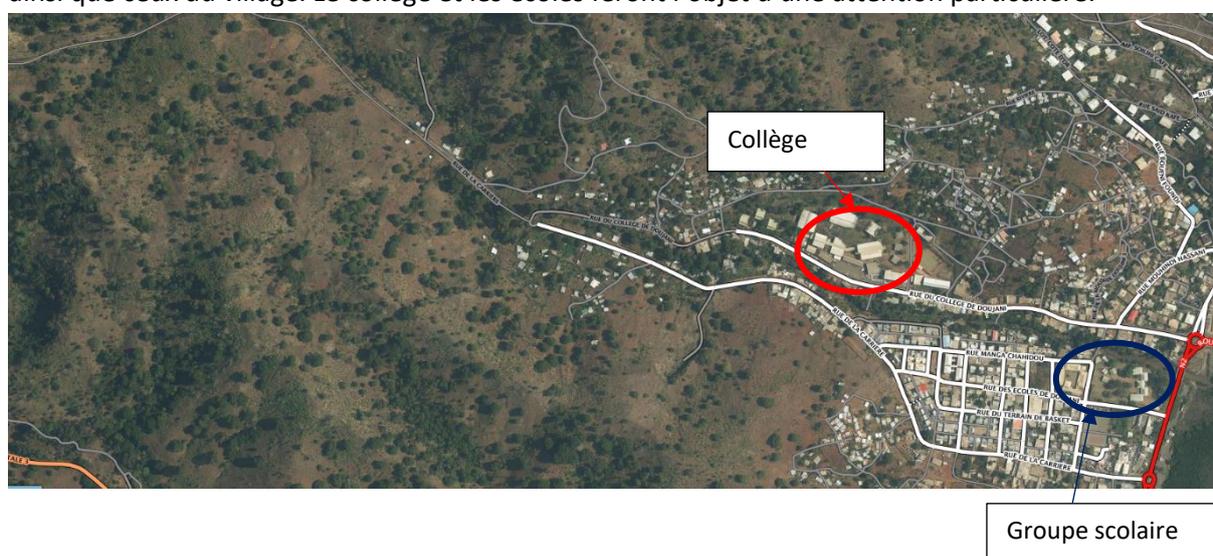
Locaux sensibles

Le projet d'aménagement va créer un tissu urbain peu dense dans la zone. L'évaluation des nuisances se fera sur les logements les plus proches de la zone aménagée et le village.

Locaux très sensibles

Une attention particulière doit être portée sur les écoles. Le collège Nelson Mandela qui se trouve à proximité de l'espace d'aménagement est positionné de l'autre côté de la ravine et de la voie d'accès au collège. Les écoles maternelles et élémentaires sont quant à eux localisés au sein du village.

L'étude acoustique sera menée sur les logements positionnés le long de la voie d'accès au collège, ainsi que ceux du village. Le collège et les écoles feront l'objet d'une attention particulière.



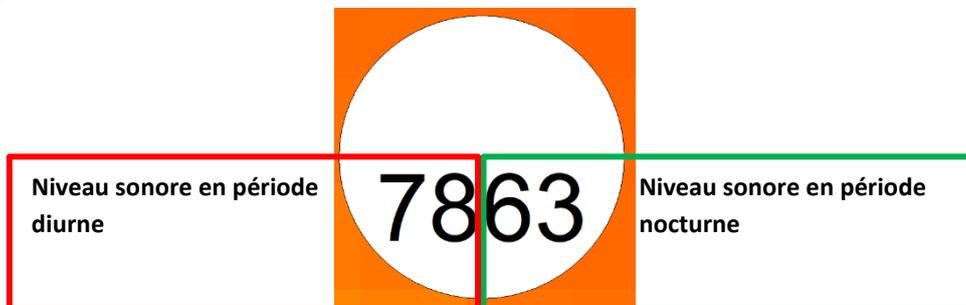
Les zones sensibles et très sensibles du projet seront traitées à la phase suivante.

6. Niveau sonore en façade des locaux sensibles et des habitations

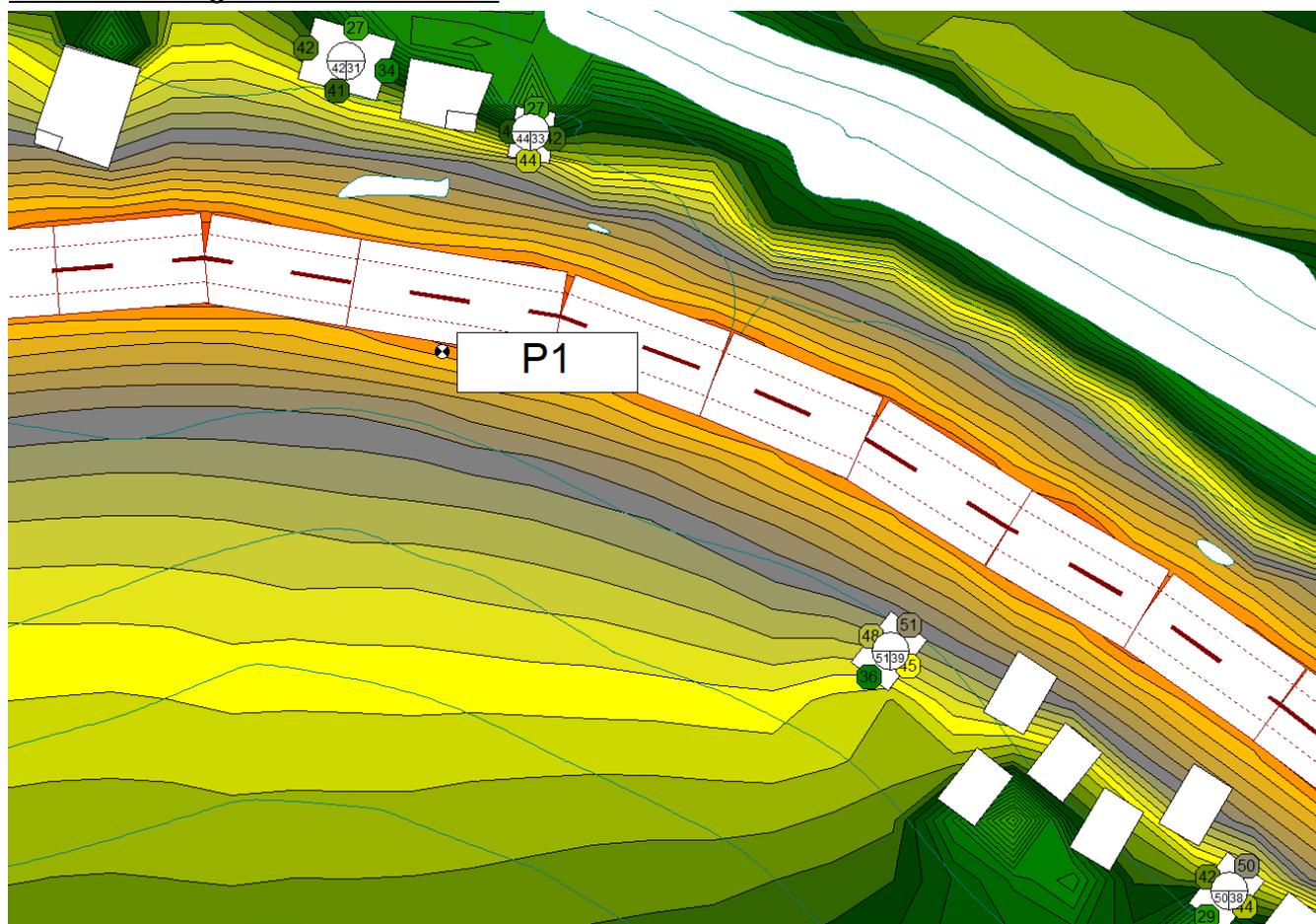
Au niveau des logements proches et dans les zones aménagées, le niveau sonore en façade est présenté et servira de référence pour la phase 2, dans la laquelle le projet sera matérialisé et son impact mesuré.

Les niveaux sonores en façade sont présentés en période diurne et nocturne.

Légende :

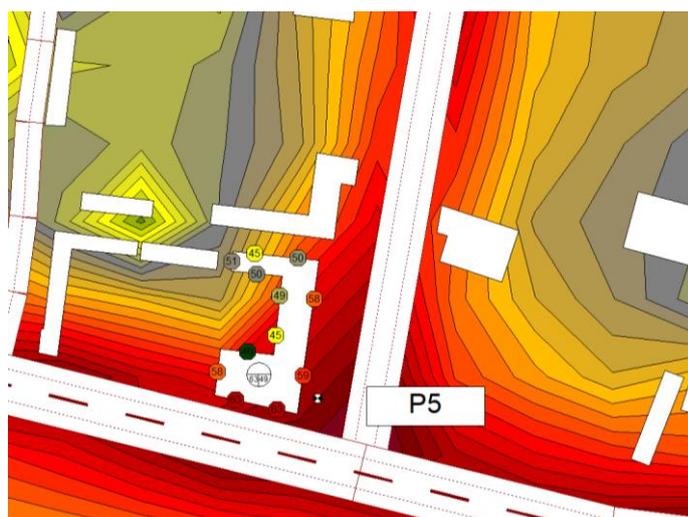
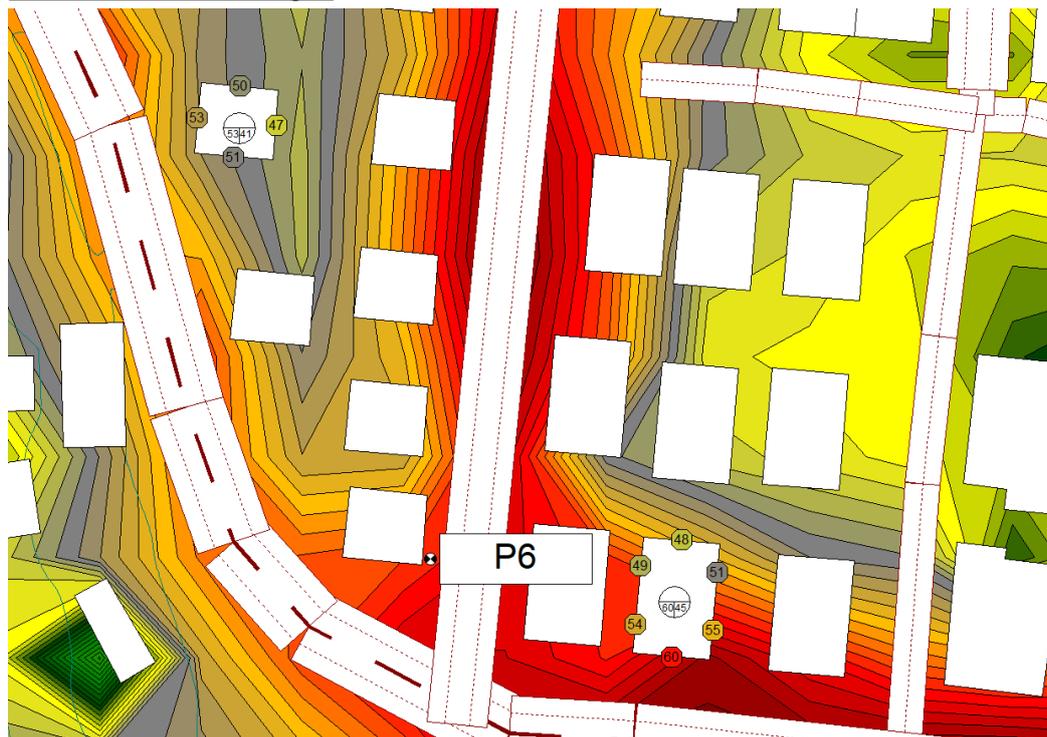


Habitation le long de la voie de carrière :



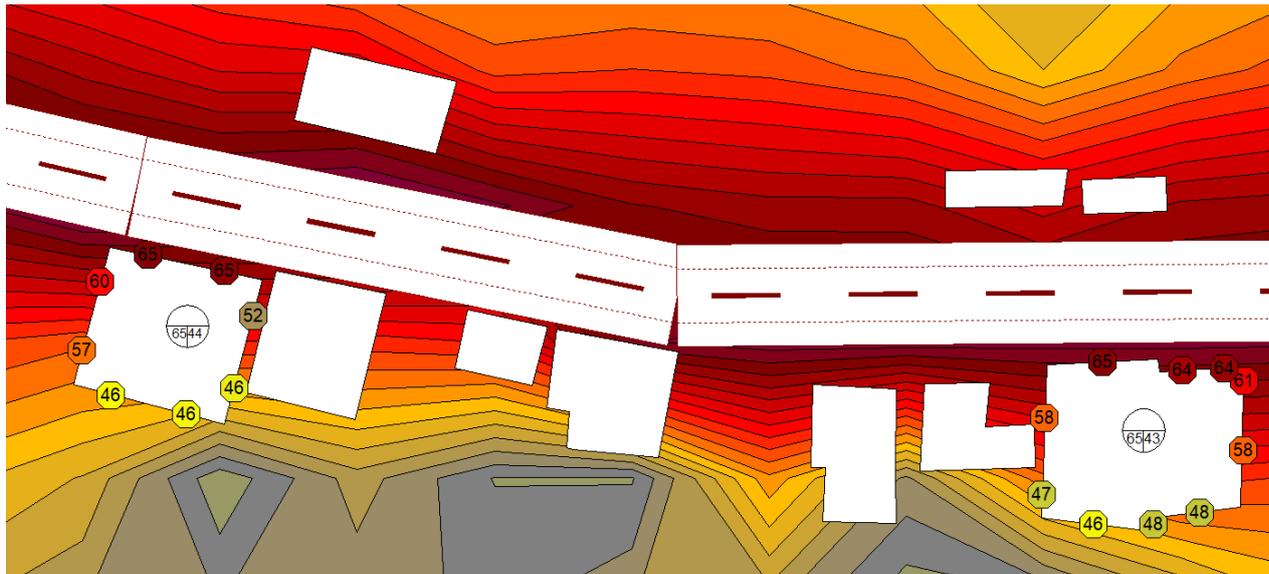
Actuellement les niveaux sonores au niveau des façades les plus sollicitées des habitations sont compris entre 42 dB(A) et 51 dB(A) en période diurne et de 31 dB(A) et 39 dB(A) en période nocturne. Actuellement les niveaux sonores sont relativement bas compte tenu du faible trafic. La densification de la zone augmentera les niveaux sonores au niveaux des logements de part et d'autre de la voie.

Habitation dans le village :



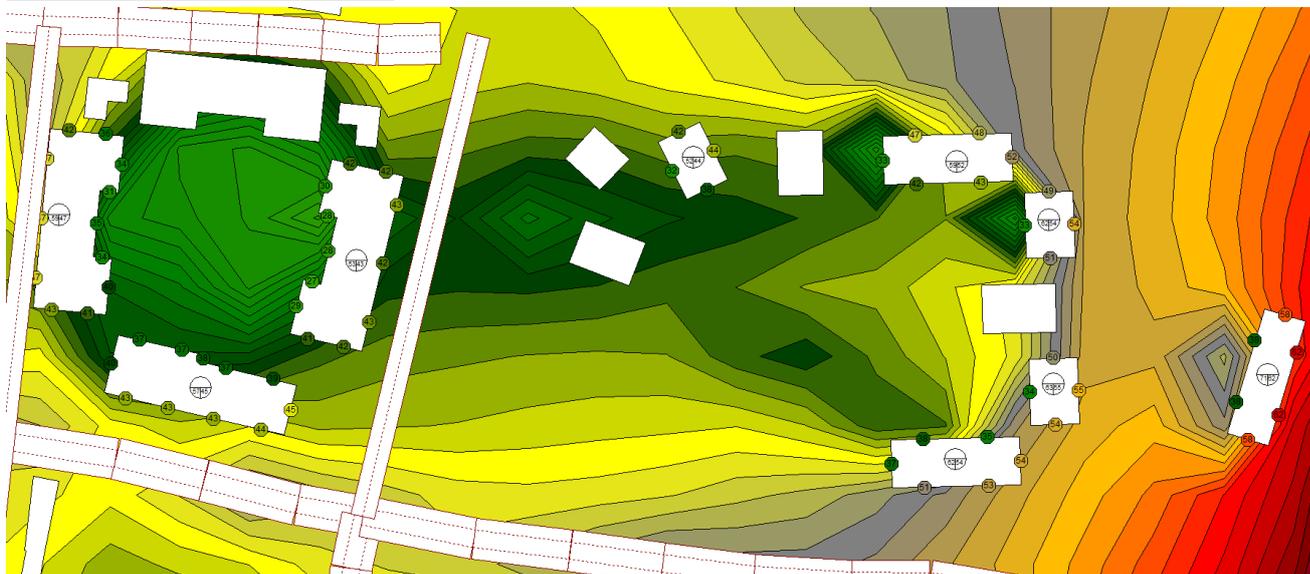
Au niveau des logements dans le village, les niveaux sonores au niveau des façades les plus sollicitées des habitations sont compris entre 47 dB(A) et 63 dB(A) en période diurne et de 35 dB(A) et 49 dB(A) en période nocturne. Actuellement les niveaux sonores sont tout juste conforme compte tenu du trafic et de la vie du village. La densification de la zone augmentera les niveaux sonores au niveaux des logements de part et d'autre de la voie.

Habitation le long de la voie du collège :



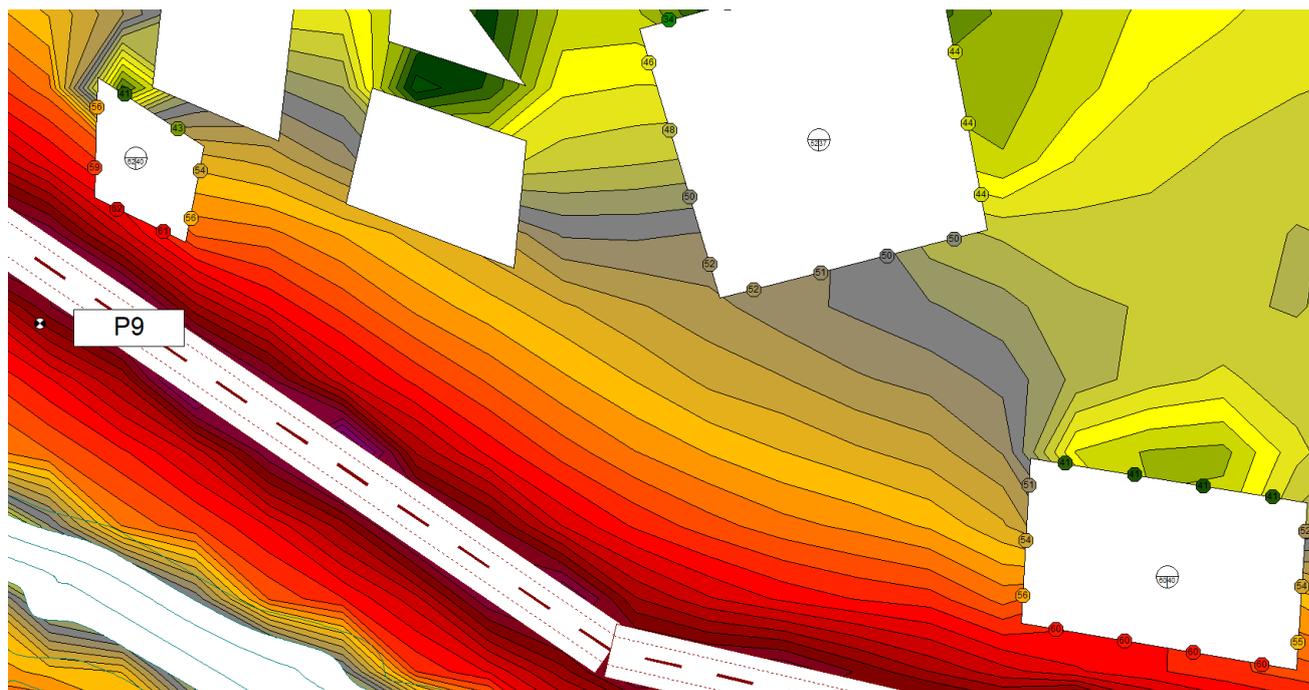
Actuellement les niveaux sonores au niveau des façades les plus sollicitées des habitations sont compris entre 44 dB(A) et 65 dB(A) en période diurne et de 31 dB(A) et 44 dB(A) en période nocturne. Actuellement les niveaux sonores sont relativement élevés compte tenu de la proximité des habitations par rapport à la route. La densification de la zone augmentera les niveaux sonores au niveaux des logements de part et d'autre de la voie.

Groupe scolaire dans le village :



Les niveaux sonores au niveau des façades les plus sollicitées du groupe scolaire sont compris entre 38 dB(A) et 62 dB(A) en période diurne pour le bâtiment le plus proche de la route nationale (bâtiment à droite). Pour les autres bâtiments les niveaux sonores sont inférieures à 60 dB(A). Ces locaux ne sont pas occupés de nuit.

Collège :



Les niveaux sonores des façades du collège sont compris entre 60 dB(A) et 62 dB(A) pour les façades directement exposées. Les locaux ne sont pas occupés de nuit.

7. Conclusion

Le diagnostic initial montre que les principales nuisances sonores sont causées par les infrastructures routières et la vie du quartier, aussi bien sur la période diurne et nocturne.

Les remarques principales que nous pouvons faire suite à la phase 1 :

- L'aménagement augmentera les nuisances sonores au niveau des habitations tout au long des futures voies avec un accroissement du trafic. Des dispositions seront prises pour assurer le confort des personnes et seront évalués une fois le projet modélisé et tiendra compte également des bâtiments pouvant générer des nuisances (mosquée, ateliers, etc.).
- Les locaux d'enseignement prévus au projet et actuels accueillant des personnes endormies (école maternelle) feront l'objet d'une attention particulière.
- Pour les façades dont les niveaux sonores sont supérieurs à 60 dB(A), l'aménagement ne doit créer aucune augmentation sur les façades concernées.

ANNEXE - DEFINITIONS IMPORTANTES

dB(A)

L'oreille perçoit mal les fréquences graves, ainsi que les fréquences aiguës. Il s'agit là d'une caractéristique physiologique dont il convient de tenir compte lorsqu'on effectue des mesures. Un sonomètre a une sensibilité identique quelle que soit la fréquence. C'est ainsi que les acousticiens ont mis au point une courbe de pondération, qui permet de mesurer des niveaux de pression acoustique selon la sensibilité de l'oreille. Le niveau de pression acoustique s'exprime alors en dB(A).

Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A (NF S 31-010)

Valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée T, a la même pression acoustique moyenne quadratique qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps, il est défini de la façon suivante :

$$L_{Aeq}(T) = 10 \times \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \times \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

où :

$L_{Aeq}(T)$ est le niveau de pression, en décibels pondérés A, déterminé pour un intervalle de temps T, qui commence à t_1 et se termine à t_2 .

p_0 est la pression acoustique de référence (20 μ Pa),

$p_A(t)$ est la valeur instantanée de la pression acoustique pondérée A.

Niveaux fractiles L_n (n = 1; 10; 50; 90 ou 99)

Niveau sonore en dB(A) atteint ou dépassé pendant n % du temps de mesure.

Bruit ambiant (NF S 31-010)

Bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné. Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches ou éloignées.

Bruit résiduel (NF S 31-057)

Bruit qui subsiste quand un ou plusieurs bruits spécifiques qui contribuent normalement de façon significative au bruit de fond sont supprimés.

Indicateur d'émergence de niveau (E) (NF S 31-010)

Les indicateurs acoustiques sont destinés à fournir une description simplifiée d'une situation sonore complexe. L'indicateur préférentiel est l'émergence en niveau global pondéré A. Elle est évaluée en comparant le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit ambiant, en présence du bruit particulier objet de l'étude, avec le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit résiduel, tels que déterminés au cours de l'intervalle d'observation :

$$E = L_{Aeq,Tpart} - L_{Aeq,Très}$$

où :

- E est l'indicateur d'émergence de niveau,
- $L_{Aeq,Tpart}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit ambiant, déterminé pendant les périodes d'apparition du bruit particulier considéré, objet de l'étude, dont la durée cumulée est T_{part} ,
- $L_{Aeq,Très}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit résiduel, déterminé pendant les périodes de disparition du bruit particulier considéré, objet de l'étude, dont la durée cumulée est $T_{rés}$.

Bande d'octave

La bande d'octave caractérise la largeur d'une bande de fréquence dont la fréquence la plus élevée est le double de la fréquence la plus basse.

Annexe 7 : Etude du potentiel en énergies renouvelables

Réalisation : Eco2 Initiative



1 Potentiel de développement en ENR

1.1 Introduction

Ce rapport restitue l'étude sur le potentiel de développement des énergies renouvelables pour le projet d'aménagement de la Zone d'Aménagement Concerté Doujani à Mamoudzou réalisée par le bureau d'études [Eco2 Initiative](#).

Ce rapport est basé sur les données de l'AVP d'avril 2023 (Programmation V15). Pour cette étude, les principales différences par rapport à l'AVP 2022 sont les suivantes :

- Réduction de l'emprise totale du projet ;
- Requalification de l'habitat précaire.

Cette étude est réalisée dans le cadre de la loi issue du Grenelle de l'Environnement adoptée par l'Assemblée nationale le 29 Juillet 2009 et qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Dans ce cadre, il est précisé que : « Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L.300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone ». De plus, issu du Grenelle de l'Environnement également, le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE) formalise la stratégie sur l'énergie et le climat du territoire, à l'échelle régionale, et y traduit les engagements de la région. Dans le cas de Mayotte, la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) constitue le volet Énergie du SRCAE. Cette étude s'inscrit dans cette démarche et contribue à atteindre les objectifs suivants de la PPE Mayotte :

- Un gain annuel relatif de 3 GWh sur les consommations électriques de l'île, 24 GWh cumulés en 2023.
- Le développement des énergies renouvelables thermiques, qui se sont de nature à éviter en 2023 près de 20 GWh de production électrique. Parmi les mesures figure un développement ambitieux des chauffe-eau solaires (individuelle et collectif).
- Un important développement des ENR électriques avec une multiplication par près de 10 de leur part dans le mix électrique.

L'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables du projet présentera un état des lieux du potentiel ENR en fonction du territoire et du projet, qui permettra de proposer des scénarios pour aboutir à des recommandations permettant le développement optimal d'ENR sur la zone. Elle se déploie suivant 3 volets :

- Diagnostic / État des lieux recensant des ressources et opportunités énergétiques locales
- Scénarios – Prospective
- Pistes opérationnelles

De plus, la ville de Mamoudzou est engagée dans une démarche de « Smart City », qui l'amènera à avoir de plus hautes exigences en termes d'éclairage notamment.

1.2 Synthèse des atouts et des contraintes du site vis-à-vis de l'énergie

Le tableau ci-dessous résume les avantages et inconvénients du site pour différents types d'énergie. Ce tableau permet d'avoir une vision globale des ressources et de la possibilité ou non de les mobiliser.

Type d'énergie	Atouts / Avantages	Contraintes / Inconvénients
Électricité	Le réseau existe. C'est une source d'énergie pratique. Prix de base (particuliers) : 9,36c€/kWh	Le rendement de l'électricité à Mayotte est faible, et puisqu'elle provient majoritairement de sources fossiles, son impact carbone est très élevé (env. 770 gCO ₂ / kWh). Contribue à la dépendance énergétique de l'île.
Gaz	Distribution par SOMAGAZ de gaz butane en bouteilles de 12, 14 ou 39 kg ou possibilité d'installer une cuve.	Pas de réseau, distribution en bouteilles. Énergie fossile à fort impact environnemental. Contribue à la dépendance énergétique de l'île.
Solaire photovoltaïque	Fort potentiel sur l'île, ressource gratuite, possibilité d'autoconsommation. Contribue à l'autonomie énergétique de l'île.	Investissement initial plus élevé.
Solaire thermique	Fort potentiel, ressource gratuite, possibilité d'autoconsommation. Contribue à l'autonomie énergétique de l'île.	Investissement initial plus élevé.
Géothermie	Possibilité de récupération de l'énergie présente dans le sous-sol pour le chauffage, le rafraîchissement et l'eau chaude.	Pas de besoin en chauffage. Nécessite de grands moyens pour l'installation. Le fonctionnement estival peut créer un assèchement du sol.
Éolien	Ressource gratuite, possibilité d'autoconsommation.	Grand éolien impossible car à proximité d'habitations. Petit éolien très peu envisageable car environnement peu propice (courants perturbés, nuisances...).
Hydroélectricité	Présence d'une rivière sur la ZAC. Présence de dénivelés importants.	Risques de crues. Débits faibles et pas d'obstacles naturels à priori.
Biomasse	Forte concentration de population une fois le projet réalisé. Valorisation des déchets verts pertinente.	Besoin de chaleur faible. Production de biomasse associée aux cultures de la pépinière inconnue.

Tableau 1 : Synthèse du site par rapport à l'énergie

1.3 Analyse énergétique – Étude des besoins

Dans cette partie nous allons, à partir des données de l'AVP d'août 2022, estimer les besoins en énergie de la ZAC. Plusieurs hypothèses seront faites pour réaliser ces estimations basées sur des données statistiques ou réglementaires

1.3.1 Notre méthode de calcul et nos hypothèses

1.3.1.1 Les surfaces

Les surfaces ont été relevées sur l'AVP d'avril 2023. Les surfaces retenues, en surface de plancher (SDP), ont été converties en surface utile (SU) en estimant une perte de surface de 10% entre les deux (murs, cloisons, marches...). Concernant les surfaces de toiture, nous avons effectué des estimations à partir de la programmation en fonction des étages des bâtiments.

Secteur	Désignation	Surface de toiture (estimées)	SDP	Usage	Surface Utile (estimation)
		m ²	m ²		m ²
TOTAL	-	36 071	127 127	-	114 414
Village		15 125	55 125		49 613
	Village / ilots pour équipements	4 367	11 800	Formation	10 620
	Village / réhabilitation - logements	5 547	16 640	Logement	14 976
	Village / réhabilitation - commerces	333	1 000	Commerces	900
	Village / réhabilitation - existant (équipements)	-	-	Formation	-
	Village / ilots renouvellement - logement	4 205	22 280	Logement	20 052
	Village / ilots renouvellement - commerces	143	755	Commerces	680
	Village / ilots renouvellement - tertiaire	530	2 650	Bureaux	2 385
Extension		14 393	65 449		58 904
	Extension - équipements	4 386	20 250	Formation	18 225
	Extension - logements	8 345	36 675	Logement	33 008
	Extension - commerces	513	2 514	Commerces	2 263
Hébergement provisoire		6 553	6 553		5 898
	Logements	6 553	6 553	Logement	5 898

Tableau 2 : Surfaces prises en compte

1.3.1.2 Nos données

Pour les estimations énergétiques, nous nous sommes d'abord basés sur des ratios et statistiques provenant du rapport MayEnergie de 2013 pour avoir des résultats au plus proches de la réalité locale. Dans un deuxième temps nous avons utilisé des données de l'étude PERformances ENERgétiques des bâtiments à La Réunion de 2009 lorsque nécessaire. Nous avons classé les surfaces sous 4 catégories :

- Formation (équipements)
- Bureaux (tertiaire)
- Commerces
- Logement

Pour chacune de ces catégories nous avons attribué des ratios de consommation d'énergie tous usages confondus annuels, puis des densités de puissances installées par usage (éclairage, ECS (eau chaude sanitaire), conditionnement d'air, électricité spécifique) et des profils d'occupation.

	Logement	Bureaux	Formation	Commerces
<i>Consommation d'énergie (kWh/m²SU/an)</i>	35	122	35	163

Tableau 3 : Consommations d'énergie par typologie de bâtiment (source : moyennes MayEnergie 2013)

<i>Puissance installée (W/m² SU)</i>	Logement	Bureaux	Formation	Commerces
<i>Éclairage</i>	5	9	8	15
<i>Eau chaude sanitaire</i>	16,7	1,5	1,5	1,5
<i>Conditionnement d'air</i>	100	110	110	110
<i>Electricité spécifique</i>	35	6	6	20

Tableau 4 : Densités de puissances installées (source : PERENE 2009)

<i>Profil d'occupation</i>	Logement	Formation	Bureaux	Commerces
<i>Semaine : 7h- 8h</i>	100%	0%	0%	0%
<i>Semaine : 8h-12h</i>	20%	100%	100%	100%
<i>Semaine : 12h-14h</i>	20%	30%	30%	30%
<i>Semaine : 14h-18h</i>	20%	100%	100%	100%
<i>Semaine : 18h-20h</i>	100%	0%	0%	0%
<i>Semaine : 20h-7h</i>	80%	0%	0%	0%
<i>Week-end</i>	100%	0%	0%	0%

Tableau 5 : Profils d'occupation des différents espaces (source PERENE 2009 + hypothèses ECO2)

L'estimation des besoins se fait alors simplement en multipliant la consommation d'énergie par la surface. Puis de même pour l'estimation de la puissance électrique maximale (en supposant que toute l'énergie nécessaire est fournie sous forme électrique).

Pour les répartitions des consommations par usage, par manque de données nous avons fait des hypothèses en nous basant sur les puissances installées (cf. Tableau 4) et sur des données de consommation issues de la Base Carbone de l'ADEME. Le tableau ci-dessous détaille ces hypothèses, les valeurs du conditionnement d'air pour les bureaux, espaces de formation et commerces (en gras), sont issues de l'étude PERformances ENERgétiques des bâtiments à La Réunion.

<i>Part de la consommation</i>	Logement	Bureaux	Formation	Commerces
<i>Éclairage</i>	2%	7%	6%	10%
<i>Eau chaude sanitaire</i>	54%	1%	1%	1%
<i>Conditionnement d'air</i>	33%	87%	88%	75%
<i>Electricité spécifique</i>	11%	5%	5%	14%

Tableau 6 : Part de la consommation par usage (Hypothèses)

1.3.1.3 Hypothèses supplémentaires

À la suite d'échanges avec l'équipe projet, les hypothèses suivantes sont également prises en compte dans cette étude :

- Sur les bâtiments à construire dans le cadre de la programmation de la ZAC :
 - 50% des toitures seront couvertes par des panneaux photovoltaïques ;
 - 50% de la production d'eau chaude serait faite par une production solaire ;
 - 40% des logements seraient équipés de climatisation ;
- Dans le village :
 - Le village étant construit dans sa grande majorité, la production électrique par photovoltaïque serait très marginale : hypothèse pas de production photovoltaïque ;
 - Seuls les îlots restant à construire devraient avoir l'obligation des « 50% de la production d'eau chaude » à faire par une production solaire ;
 - Ces nouveaux logements dans le village ne seraient pas climatisés.

1.3.2 Les consommations estimées

Les consommations d'énergie annuelles, par type de surface, par secteur, et par usage ont été estimées dans les tableaux ci-dessous.

Tout d'abord nous avons estimé les consommations d'énergie annuelles par type de surface. **La consommation totale estimée pour la ZAC est de 4 476 MWh/an.**

Secteur	Désignation	Consommation annuelle estimée
		(MWh/an)
TOTAL	-	4 476
<i>Village</i>		1 743
	Village / îlots pour équipements	372
	Village / réhabilitation - logements	524
	Village / réhabilitation - commerces	147
	Village / réhabilitation - existant (équipements)	-
	Village / îlots renouvellement - logement	702
	Village / îlots renouvellement - commerces	111
	Village / îlots renouvellement - tertiaire	291
<i>Extension</i>		2 594
	Extension - équipements	638
	Extension - logements	1 155
	Extension - commerces	369
	Extension - tertiaire	660
<i>Hébergement provisoire</i>		139
	Logements	206

Tableau 7 : Estimation des consommations d'énergie

Nous avons ensuite détaillé les consommations par usage, ce qui donne sur le total consommé sur la ZAC la répartition ci-dessous. Le conditionnement d'air est le poste le plus important (près de la moitié des consommations) et il est lié aux

surfaces importantes de logements dans l'extension dont 40% sont climatisés, vient ensuite l'Eau Chaude Sanitaire, poste très important lié à la grande quantité de logements dans la ZAC.

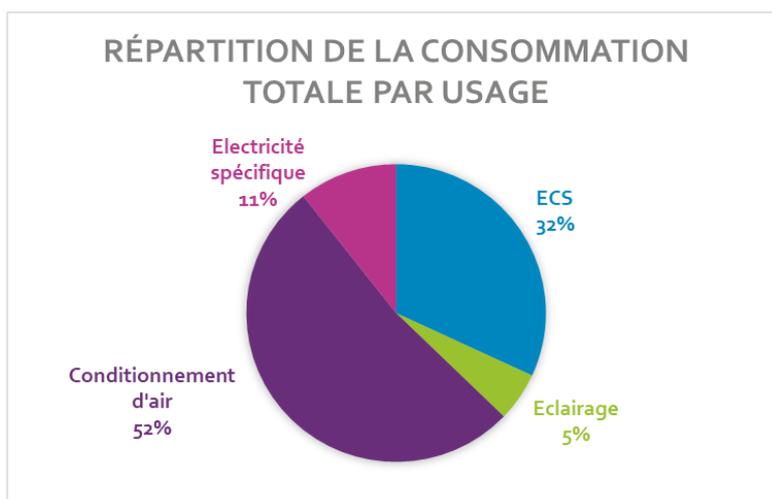


Figure 1 : Répartition de la consommation énergétique par usage

Si nous regardons maintenant la répartition des consommations par type de surface, nous remarquons que ce sont les logements qui consommeront le plus, représentant 42% des consommations (surtout les logements dans l'extension dont 40% seront climatisés). Viennent ensuite les bureaux qui représentent 21% des consommations. Les équipements (assimilés à des lieux de formation) représentent une part non négligeable des consommations également (23%), de même que les surfaces de type commerces, qui représentent 14% des consommations.

Les deux typologies de bâtiments : tertiaire et logements doivent concentrer les efforts car elles représentent plus des 3/4 des consommations à elles seules.

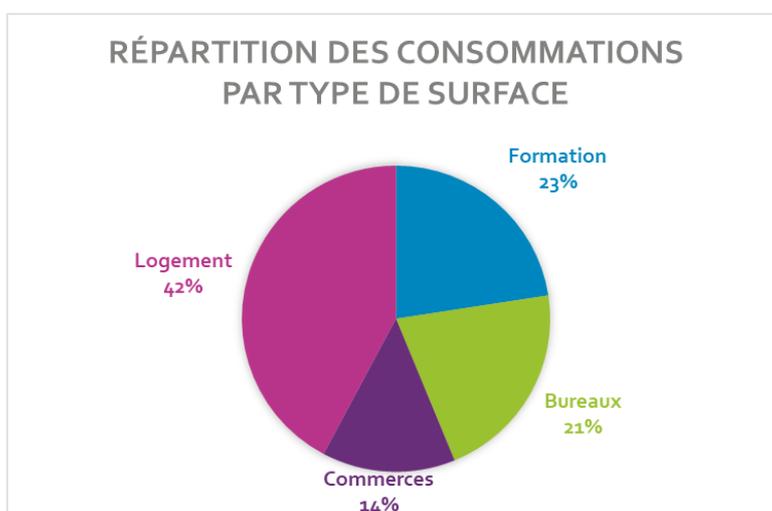


Figure 2 : Répartition de la consommation énergétique par type de surface

1.3.3 Les puissances électriques maximales estimées

En ce qui concerne les puissances, si nous supposons que toutes les puissances installées sont appelées simultanément et concernent l'électricité, cela pourrait générer un pic de puissance de 8,7 MW. Cependant, par l'effet de foisonnement dû aux différents usages des bâtiments, le profil de puissance aura plutôt l'allure ci-dessous, avec un pic maximum envisageable estimé à 5,4 MW ayant lieu le matin et l'après-midi en semaine. Ces pics sont dus aux surfaces dédiées à la formation, aux bureaux et aux commerces qui sont consommateurs d'énergie en journée.

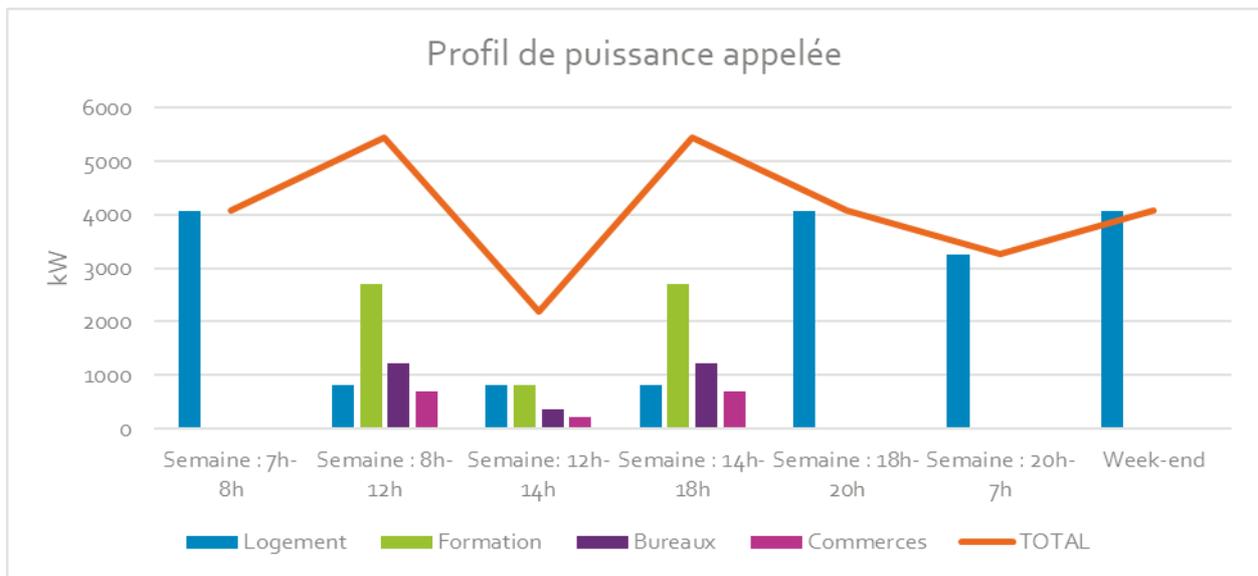


Figure 3 : Profil de puissance maximal

1.4 Gisements d'économies d'énergie

Les principaux postes de consommation susceptibles de donner lieu à de fortes économies sont présentés ici avec quelques suggestions et préconisations de réduction. De plus, nous vous informons sur quelques enjeux concernant l'éclairage public.

1.4.1 Tous secteurs confondus

L'utilisation de l'outil MayEnergie¹ qui est un guide donnant des préconisations de la conception des bâtiments à leur utilisation rédigé par l'ADEME, le Conseil général de Mayotte et Électricité de Mayotte.

En mettant l'accent sur :

- L'environnement du bâti
- Les données météorologiques,
- La ventilation naturelle traversante,
- La révision des niveaux de consommation énergétique, la gestion des déchets de chantier,
- La création d'un outil d'aide à la conception.

En particulier afin d'atteindre l'objectif d'éviter au maximum le recours à la climatisation, les recommandations suivantes sont formulées :

- Végétaliser (en tout cas éviter les surfaces bitumées et bétonnées) les abords des bâtiments afin de rafraichir l'air ambiant.
- Maximiser la protection solaire que ce soit en toiture, sur les parois et les ouvertures.
- Organiser l'espace du logement pour que les volumes nécessitant le plus de refroidissement (séjours, chambres) disposent d'entrées d'air directes ou situées au vent dominant,
- Répartir les ouvertures pour une ventilation la plus homogène possible,
- Disposer de préférence les ouvrants en position basse pour les façades orientées au vent et en position haute dans les façades sous le vent.
- Préférer l'utilisation de jalousies ou autres dispositifs à lames orientables pour gérer au mieux les débits de ventilation en faisant varier la surface d'ouverture et les pertes de charge.
- Surdimensionner le taux d'ouverture des baies en façades sous le vent comparé à celui des façades au vent
- Avoir systématiquement recours à des brasseurs d'air lorsque la vitesse d'écoulement induite par la ventilation naturelle n'est pas suffisante.

L'utilisation et l'application de ce guide a permis d'observer des économies d'énergie de :

- **36 % en moyenne dans les logements,**
- **29 % dans les bâtiments de formation,**
- **47 % dans des bâtiments de bureaux.**

¹ <http://eie-mayotte.fr/wp-content/uploads/2018/05/Mayenergie-2013-avec-annexes.compressed.pdf>

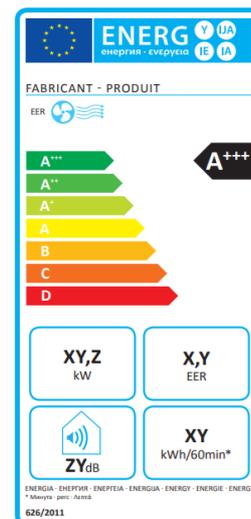
1.4.2 Secteur tertiaire – Bureaux, enseignement et commerces

1.4.2.1 Climatisation

La climatisation est le poste de consommation le plus important et mérite donc une attention particulière. Selon le PRERURE (Plan Régional des Énergies Renouvelables et d'Utilisation Rationnelle de l'Énergie, fiche 4a – île de La Réunion) le potentiel d'économies sur la demande d'électricité due à la climatisation est estimé à 38%.

Il apparaît alors intéressant de mener plusieurs actions comme :

- Généraliser l'utilisation de l'outil PERENE (unique outil de prescriptions techniques pour les bâtiments professionnels développé à La Réunion)
- Actions sur la production de froid : Installer des équipements climatisants très performants, suivi des fuites réseau et maintenance régulière, récupérer l'air sortant des CTA ...
- Actions sur la demande de froid : Mettre en place des contrôles des températures internes, limitation à 25°C, et de contrôles automatiques du fonctionnement (horloges, détecteurs de présence, ...), généralisation de la ventilation naturelle, sensibilisation des comportements...



1.4.2.2 TIC

La bureautique et tous les équipements numériques représentent une consommation très importante pour toutes les entreprises du secteur tertiaire, et les bâtiments d'enseignement. Des économies d'énergie sont réalisables au moyen d'actions telles que :

- Utiliser des appareils multifonction (imprimante + scanner + photocopieur) et les mutualiser
- Mettre en place des systèmes pour éteindre automatiquement des appareils en veille depuis trop longtemps
- Sensibiliser les utilisateurs, utiliser les appareils en mode « économie d'énergie » dès que possible par exemple

Toutefois il est complexe d'estimer le potentiel d'économies d'énergie de ce poste.

1.4.2.3 Éclairage

Ce poste étant le deuxième plus consommateur du site, il est essentiel de s'y intéresser. De nombreuses actions sont à mener dans ce domaine :

- Utiliser l'outil PERENE
- Privilégier l'éclairage naturel dès que possible, en veillant tout de même à ne pas trop augmenter les apports thermiques
- Installer des éclairages performants, et optimiser leur conception afin d'obtenir le résultat d'éclairage nécessaire avec le ratio de W/m^2 le plus faible
- Utiliser des systèmes de gestion automatique de l'éclairage, afin d'éviter l'usage de l'éclairage lorsqu'il n'est pas nécessaire

D'après la fiche n° 4b du PRERURE, les économies estimées pour ce poste peuvent atteindre les 30%.

1.4.3 Chiffrage des économies estimées

En appliquant les estimations d'économies estimées par le PRERURE ci-dessus aux postes conditionnement d'air et éclairage pour le secteur tertiaire (Bureaux, Commerces et Formation), on obtient les économies suivantes :

Pour le secteur tertiaire (représentant 58% de la consommation de la ZAC)	Consommation estimée initialement		Consommation après actions d'économie d'énergie	
	Part de la conso totale	MWh/an	Économie envisagée	MWh/an
Conditionnement d'air	49%	2 182	38%	1 353
Éclairage	4%	196	30%	137
TOTAL	55%	2 378	37%	1 490

Tableau 8 : Estimation des économies d'énergie réalisables pour le secteur tertiaire liées au PRERURE

Ce qui représente sur l'ensemble de la ZAC un **potentiel de réduction de la consommation de 20%** (cf. tableau 9) réduisant la consommation totale à 3 588 MWh/an.

Pour la totalité de la ZAC	Consommation estimée initialement		Consommation après actions d'économie d'énergie	
	Part de la conso totale	MWh/an	Économie envisagée	MWh/an
Conditionnement d'air	52%	2 334	36%	1 505
Éclairage	5%	239	25%	180
ECS	32%	1 428	0%	1 428
Elec spécifique	11%	476	0%	476
TOTAL	100%	4 476	20%	3 588

Tableau 9 : Estimation des économies d'énergie réalisables sur l'ensemble de la ZAC liées au PRERURE

En appliquant les économies d'énergie observées par le guide **MayEnergie**, nous pouvons estimer le potentiel de réduction suivant :

Pour la totalité de la ZAC	Consommation estimée initialement		Consommation après actions d'économie d'énergie	
	Part de la conso totale	MWh/an	Économie envisagée	MWh/an
Formation	23%	1 010	29%	717
Bureaux	21%	951	47%	504
Commerces	14%	626	0%	626
Logement	42%	1 890	36%	1 209
TOTAL	100%	4 476	32%	3 056

Tableau 10 : Estimation des économies d'énergie liées au guide MayEnergie

La consommation d'énergie totale de la ZAC serait alors **diminuée de 32%**, ce qui est une opportunité significative pour l'ensemble des acteurs du projet réduisant la consommation d'énergie totale à 3 056 MWh/an.

A NOTER QUE NOUS NE POUVONS SOMMER CES POTENTIELS DE REDUCTION, IL Y AURAIT ALORS DES DOUBLES COMPTES.

1.4.4 Éclairage public

Le bon fonctionnement de l'éclairage extérieur est nécessaire pour mettre en valeur la ZAC, assurer le confort visuel et la sécurité des usagers / habitants. L'éclairage constitue cependant un poste de consommation important, c'est pourquoi nous vous proposons quelques éléments d'information afin de vous guider dans sa conception.

Les différents types de lampe ont chacun leurs avantages et inconvénients, que nous avons synthétisé dans le tableau ci-dessous :

	Description	Avantages	Inconvénients
Lampes à halogénures / iodures métalliques (HMIM)	Contient de la vapeur de mercure dans laquelle sont ajoutés des halogénures métalliques. La température de couleur dépend des iodures métalliques présents.	Rendement lumineux élevé Indice de rendu des couleurs intéressant.	Monté en flux d'une dizaine de minutes sur les faibles puissances. Faible durée de vie.
Lampes à sodium basse pression (SBP)	Contient un mélange de gaz (néon, d'argon et sodium) à faible pression dans le tube à décharge. La lumière émise a une couleur jaune/orangée.	Rendement lumineux élevé (200 lm/W), redémarrage immédiatement.	Spectre monochromatique nuit à la perception des couleurs, inadapté à la variation de puissance.
Lampes à sodium haute pression (SHP)	Contient un amalgame de sodium avec du mercure et du xénon comme gaz d'allumage. La lumière émise a une couleur jaune/orangée.	Rendement lumineux élevé (150 lm/W), variation de puissance possible (60-50% du flux), durée de vie, prix.	Faible indice de rendu des couleurs, pollution si présence de mercure.
Lampes LED (Diode Electroluminescente)	La LED est un composant électronique qui émet une quantité de lumière proportionnelle à l'intensité du courant qui la traverse.	Rendement lumineux intéressant, variation de puissance sur une très large plage, allumage instantané, bon indice de rendu des couleurs, longue durée de vie.	Coût encore élevé à l'achat.

Tableau 11 : Comparatif des différentes technologies de lampes

Il existe ensuite plusieurs dispositifs pour assurer le contrôle de l'allumage et de l'extinction de ces lampes afin d'optimiser au mieux leur utilisation et la consommation énergétique associée :

- Les **horloges astronomiques** : Très précises, ces horloges déterminent jour après jour l'heure à laquelle il est nécessaire d'allumer et d'éteindre l'éclairage. Elles ne prennent cependant pas en compte la luminosité réelle.
- Les **cellules photoélectriques** : Celles-ci commandent l'éclairage en fonction de la luminosité et permet donc de prendre en compte les conditions météorologiques. Il faut cependant veiller à l'installer correctement (pas de perturbation par des ombres, ou de source lumineuse aléatoire) et nécessitent une maintenance régulière.
- Les **détecteurs de présence** : Ils permettent d'allumer une lampe uniquement lorsque quelqu'un s'en approche, ils sont notamment efficaces dans des zones peu fréquentées et permettent ainsi d'éviter tout gâchis énergétique. Ils ne peuvent cependant pas être utilisés avec des lampes à décharge puisque celles-ci ne sont pas conçues pour des cycles d'allumage-extinction courts.

- **Télégestion / Relais récepteurs de signaux** : Ces systèmes permettent un contrôle à distance et en temps réel, et également de détecter les lames défectueuses. Ils permettent de réaliser des économies sur le long terme sur les coûts de fonctionnement et d'entretien.

Et enfin des systèmes de régulation peuvent permettre de réaliser encore plus d'économies ou de rallonger la durée de vie :

- Les **variateurs de tension** : Ils permettent de rallonger la durée de vie d'un candélabre d'environ 20% en stabilisant la tension du réseau pour éviter les perturbations.
- Les **variateurs de puissance** : Ils permettent la diminution de la puissance d'éclairage, et empêchent les décrochements.

1.5 Analyse des solutions de production renouvelables

Dans cette partie nous allons étudier les potentiels de production pour différentes solutions renouvelables que nous estimons pertinentes. Pour chacune d'entre elles, différents scénarios seront envisagés, qui représenteront différents niveaux d'ambition et d'investissement.

1.5.1 L'énergie solaire photovoltaïque

1.5.1.1 Les données

Pour étudier le potentiel de production photovoltaïque du site, nous avons utilisé les données d'ensoleillement de PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.html>) ci-dessous. Soit un cumul annuel de rayonnement global d'environ **2 380 kWh/m²/an** sur Mamoudzou.

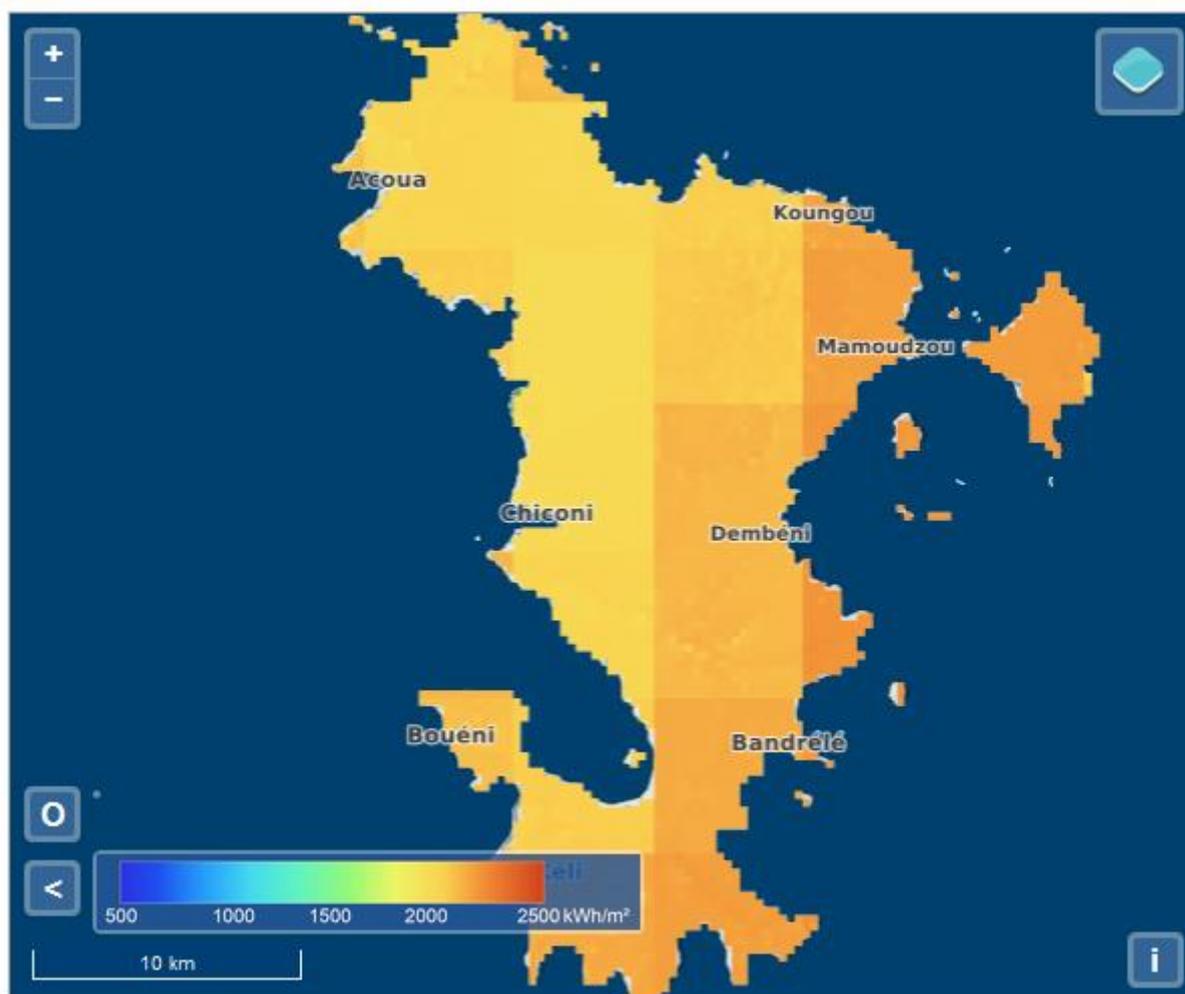


Figure 5 : Rayonnement solaire à Mayotte

Pour ce qui est des panneaux, nous avons sélectionné les caractéristiques suivantes :

- Technologie Silicium Polycristallin, qui est la plus répandue sur le marché.
- Rendement d'environ 15%.
- Puissance de 250 W pour 1,6 m², soit 156 W/m².

1.5.1.2 Scénario de couverture totale des besoins annuels

Dans ce scénario l'objectif est de pouvoir couvrir les besoins annuels en énergie de la ZAC, et donc d'avoir un bilan énergétique annuel équilibré. Pour ce faire, il est nécessaire d'atteindre une production électrique annuelle de 3 049 MWh (hors eau chaude sanitaire).

Pour atteindre ce niveau de production, une surface de 8 372 m² soit environ 23% de la surface de toiture prévue serait couverte de panneaux solaires. Il est donc possible de couvrir les besoins annuels en énergie de toute la ZAC uniquement en utilisant les toitures, pour peu qu'elles soient pensées pour cela : couverture complète de toiture avec orientation ad hoc. Pour des toitures plus classiques, on est généralement sur un taux de 50% de couverture par panneaux PV.

Couverture totale des besoins annuels	Surface de panneaux nécessaire pour couvrir les besoins annuels (m ²)	8 372
	Taux de couverture de la surface de toiture	23%
	Production électrique (MWh/an)	3 049
	Puissance installée (kWc)	1 308

Tableau 12 : Récapitulatif du scénario de couverture des besoins annuels

L'hypothèse actuelle étant de n'installer des panneaux solaires que sur 50% des surfaces de toiture des bâtiments à construire dans le cadre de la programmation de la ZAC, la production qui en découlerait serait alors la suivante :

Couverture de 50% des toitures des nouvelles constructions	Surface de panneaux installée (m ²)	7 196
	Taux de couverture de la surface de toiture	20%
	Production électrique (MWh/an)	2 620
	Puissance installée (kWc)	1 124
	Taux de couverture de la consommation électrique (hors ECS)	86%

Tableau 13 : Récapitulatif du scénario de couverture solaire envisagé

Cette production permettrait d'atteindre 86% de la consommation électrique totale de la ZAC mais pas d'en assurer la totalité, en complément de ces toitures il pourrait être intéressant d'exploiter d'autres pistes :

- En **complétant les surfaces de toiture de l'extension** avec 1 180 m² de panneaux photovoltaïques supplémentaires par rapport à ce qui est déjà prévu, c'est-à-dire en installant du photovoltaïque sur 58% des surfaces de toiture de l'extension (au lieu de 50%), cela permettrait d'augmenter la production de **430 MWh/an** et donc de produire l'électricité correspondant à la consommation estimée. Cependant il serait nécessaire d'installer du stockage car le pic de production (12h-14h) ne correspond pas aux pics de consommation (8h-12h et 14h-18h) – voir Figure 3.
- Afin de pouvoir augmenter la part de la production d'électricité, il est également possible d'exploiter les surfaces de **toiture des bâtiments d'équipements dans le village** par exemple qui représentent une surface de toiture d'environ 4 370 m². Si on couvre ces surfaces de panneaux photovoltaïques à hauteur de 27%, alors on peut additionner une production d'environ **430 MWh/an**, ce qui permet comme indiqué précédemment de produire la quantité d'électricité consommée, moyennant du stockage pour que production et consommation correspondent.

Si ces pistes sont explorées en plus des panneaux solaires sur 50% des surfaces de toiture des bâtiments à construire, alors **il serait possible d'atteindre un taux de couverture de la consommation électrique de 100%**.

1.5.1.3 Scénario de maximisation de la production en toiture

Dans ce scénario nous maximisons la production d'énergie solaire afin de profiter au maximum de la surface que représentent les toitures. La surface de toiture est alors couverte à 100% de panneaux solaires. Cela permettrait une production annuelle de 13 100 MWh, soit un surplus de 10 100 MWh par rapport à la consommation annuelle du site. Cette production pourrait être valorisé chaque année, par exemple dans la recharge de voitures électriques, pour une distance cumulée d'environ 690 000 km.

Maximisation de la production	Surface entièrement couverte de panneaux (m ²)	36 071
	Taux de couverture de la surface de toiture	100%
	Production électrique (MWh/an)	13 135
	Puissance installée (kWc)	5 636
	Surplus d'énergie (MWh)	10 086

Tableau 14 : Récapitulatif du scénario de maximisation de la production en toiture

1.5.1.4 Scénario limite d'autoconsommation

Dans cette configuration, l'idée est de pouvoir consommer toute l'énergie qui est produite sur le site. Ainsi, il faut que la puissance maximale installée soit inférieure à la puissance appelée au moment du pic de production, donc autour de 12h lorsque la production solaire est la plus élevée.

La puissance appelée entre 12h et 14h étant d'environ 2 430 kW (cf. Figure 3), nous avons proposé une puissance photovoltaïque égale à cette puissance. Cela couvrirait 43% de la surface de toiture et permettrait de couvrir 186% de la consommation énergétique annuelle.

Autoconsommation	Surface de panneaux (m ²)	15 552
	Taux de couverture de la surface de toiture	43%
	Production électrique (MWh/an)	5 663
	Puissance installée (kWc)	2 430
	Taux de couverture de la consommation énergétique	186%

Tableau 15 : Récapitulatif du scénario d'autoconsommation

Nous sommes dans un cas particulier où la puissance maximale à installer permettant l'autoconsommation permet également de produire plus que les besoins annuels. Ce scénario nécessite cependant d'élargir l'installation de panneaux à plus de toitures qu'uniquement celles des bâtiments à construire dans le cadre de la programmation ZAC.

Mais on n'a pas d'autonomie énergétique de la ZAC, puisque la production a lieu en journée, alors que les pics de consommation auront vraisemblablement lieu en soirée.

1.5.2 L'énergie solaire thermique

L'utilisation de l'énergie solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire est indispensable. Les besoins en ECS représentant 32% de la consommation totale d'énergie, cela correspond à une consommation annuelle d'environ 1 430 MWh. Ces besoins peuvent être totalement couverts avec l'installation de 4 153 m² de panneaux solaires thermiques, ce qui peut être complémentaire avec la surface de panneaux photovoltaïques dans le scénario de couverture des besoins annuels. Une telle installation

devra tout de même contenir une source d'énergie d'appoint (électrique ou gaz) pour assurer la production d'ECS quand les conditions météorologiques font que la production solaire n'est pas suffisante.

Couverture des besoins annuels en ECS	Surface de panneaux nécessaire (m ²)	4 153
	Taux de couverture de la surface de toiture	12%
	Ratio de production solaire thermique constaté à Mayotte (kWh/m ² /an)	344
	Production thermique annuelle (MWh/an)	1 428

Tableau 16 : Récapitulatif du scénario de couverture des besoins annuels en ECS

Cela correspond en ordre de grandeur à 1 chauffe-eau solaire de 4 m² pour chacun des logements prévus.

1.5.3 La biomasse

La biomasse peut faire l'objet de différentes valorisations énergétiques.

- **Méthanisation**

La fermentation anaérobie (en l'absence d'oxygène) des matières biodégradables produit du biogaz, qui contient une forte proportion de méthane (le gaz naturel). La biomasse peut donc de manière générale produire du méthane, selon le « potentiel méthanogène » des différents produits. Ce biométhane peut être distribué pour des utilisations comme la cuisson ou l'eau chaude sanitaire, ou bien brûlé en turbine pour produire de l'électricité renouvelable.

Ici, les sources de biodéchets possibles peuvent être :

- Les biodéchets alimentaires des habitants de la ZAC,
- Les déchets verts produits par l'activité de pépinière au niveau de la rivière ainsi que par l'entretien des espaces verts ;

La méthanisation agricole est principalement favorable en présence d'élevages, et mobilise des quantités importantes de déchets. Ici, les déchets verts et résidus de pépinière sont peu méthanogènes, et en quantité trop faible pour identifier du potentiel.

La méthanisation uniquement des déchets alimentaires des habitants de la ZAC pourrait permettre la production annuelle au maximum de 107 MWh de méthane ceci correspondrait à une unité de cogénération de 13 kW par exemple. C'est une quantité d'énergie intéressante, or, le niveau de puissance associé reste faible pour une installation centralisée de type cogénération, les plus petites installations de ce type ayant une puissance d'environ 20 kWe (soit près de 60 kW en puissance entrante). Il ne paraît donc pas envisageable de poursuivre cette piste sauf à entrer en contact avec des acteurs externes pour mettre en commun et augmenter les ressources.

La micro-méthanisation individuelle commence à se développer, mais ne peut être considérée que comme expérimentale. Une famille pourrait produire entre 100 et 200 kWh de biogaz par an, de quoi assurer une partie de la cuisson de ses aliments.



Source : www.homebiogas.com

- **Production électrique**

De la biomasse peut aussi être utilisée en combustion pour produire de l'électricité. Pour cela un certain nombre de technologies existent.

Si on se réfère à l'île de La Réunion, les centrales thermiques en place permettent une production d'environ 4 000 MWh d'électricité par MW de puissance installée. Dans une optique d'autonomie énergétique de la ZAC, c'est donc une puissance d'environ 1,2 MW qu'il faudrait installer.

A La Réunion, ces centrales fonctionnent en partie sur la bagasse. Une production de 4 825 MWh d'électricité correspondrait environ à 12 000 t de bagasse (pour un rendement global de production électrique de 18%²) soit environ 540 ha de cannes à sucre. L'extrapolation à d'autres essences végétales peut se faire sur la base du contenu énergétique des différentes plantes. On peut avoir presque un facteur 2 entre le contenu énergétique de la bagasse (en kJ/kg) et celui d'un bois sec. On aurait alors un besoin d'environ 6 000 t de bois sec. Ces quantités sont très importantes : on voit que la mise en place d'une production électrique à base de biomasse ne peut être raccrochée directement au projet.

Cependant, afin de contribuer à la transition énergétique de l'île, à la sécurisation de l'approvisionnement électrique, et afin de s'inscrire dans la PPE de l'île, il pourrait être pertinent de profiter des aménagements à venir pour proposer la mise en place dans le cadre de cet aménagement d'une telle centrale biomasse, mais dont le dimensionnement doit être pensé :

- D'une part en fonction de la stratégie énergétique globale,
- D'autre part en fonction des capacités d'approvisionnement :
 - Capacité de stockage / séchage de la biomasse sur site,
 - Capacité d'accueillir le fret de transport de biomasse,
 - Analyse des productions locales de biomasse utilisable à plus large échelle (5 – 10 km).

1.5.4 Autres productions

L'éolien n'est pas adapté dans ce contexte urbain.

Concernant **l'hydroélectricité**, il y a présence d'eau sur le site, mais la mise en place d'une telle production n'est pas envisageable. En effet la rivière Mro Oua Doujani présente un débit d'étiage qui ne dépasse pas les 20 L/s³. Ces valeurs sont trop faibles pour pouvoir envisager une production. En outre, il est impossible dans cette zone urbanisée mais aussi avec une certaine sensibilité environnementale, d'imaginer la mise en place d'une retenue d'eau.

Des micro-turbines individuelles commencent aujourd'hui à être disponibles, pouvant fonctionner à ces faibles débits⁴, mais nécessitant au minimum un dénivelé de plus de 1 voire 2 m. De tels équipements peuvent développer une puissance d'environ 500 W, soit une production annuelle d'environ 4 000 kWh, qui peut couvrir les besoins annuels d'1 à 2 logements, avec l'avantage d'une énergie disponible tout le temps,

² Rendement complet du système tel qu'affiché sur <https://www.albioma.com/energie-renouvelable/biomasse/>

³ https://www.ifremer.fr/dce/content/download/69228/912631/file/MAY3%25255CBRGM-RP-56774_2009.pdf

⁴ <https://www.turbiwatt.com/fr/second-menu-fr/choisir-sa-turbine.html>

<https://www.energie douce.com/hydro-turbine/89-micro-turbine-hydro-electrique-a-helice-220-volts-500-watts-basses-eaux-3700908502510.html>

mais un coût d'achat et des aménagements spécifiques (création des mini-chutes, raccordements aux tableaux électriques) qui vont conduire à des prix d'installation un peu élevés, avec peu d'assurance sur la pérennité du matériel. Cette démarche pourrait être envisagée principalement d'un point de vue expérimental, pour tester ces solutions sur un site qui peut s'y prêter, mais pas pour assurer une production pérenne.



Source : www.energiesdouce.com

Concernant la production centralisée de froid (**réseau de froid**), les hypothèses en l'état identifient un besoin de froid maximum de 3 800 MWh environ sur le site, principalement dédiés aux activités tertiaires. Cette consommation semble trop faible pour justifier un besoin de réseau de froid, car répartie en outre entre de nombreux bâtiments. Il semble plus pertinent et moins onéreux de travailler à des solutions d'autoconsommation PV qui permettraient de couvrir entre autres la consommation d'énergie liée à la climatisation des locaux.

1.5.5 Le stockage d'énergie

Afin d'apporter une cohérence avec la production d'énergies renouvelables sur la ZAC, apporter des solutions de stockage sur l'opération, même si elles ne couvrent pas la totalité de la production sur place, permet de contribuer à la stabilité et indépendance énergétique de l'île. Le stockage a l'avantage de permettre :

- D'absorber des surplus de production, et lisser les intermittences
- De rendre disponible de l'énergie hors période de production

Il peut être pertinent d'explorer plusieurs solutions à l'échelle du quartier :

- **Stockage thermique** : C'est la forme de stockage la plus répandue, classiquement avec des ballons d'eau chaude individuels qui permettent de profiter pleinement des Chauffe-Eau Solaires. Des solutions collectives pour les immeubles peuvent être plus pertinentes économiquement et en termes de rendement énergétique.
- **Stockage électrochimique** :
 - **Par pile à hydrogène** : Pendant les périodes de forte production et de faible consommation, l'électrolyseur décompose l'eau en hydrogène et oxygène, et lors des périodes de forte consommation l'hydrogène et l'oxygène stockés permettent de produire de l'électricité en utilisant une pile à combustible
 - **Par batteries électrochimiques** : C'est le système de stockage le plus classique et le plus répandu pour stocker de l'électricité. Il existe aujourd'hui de nombreuses solutions de stockage d'électricité par batteries disponibles pour diverses échelles, que ce soit pour un bâtiment ou un quartier entier.
- D'autres solutions existent, moins répandues, voir (<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=stockage-technologies>)

1.6 Incitations financières

Ici nous vous proposons une liste non-exhaustive d'aides financières qui pourraient contribuer au financement de certaines installations et opérations de la ZAC, mais également des informations sur le rachat de production électrique photovoltaïque.

1.6.1 Aides, financements & subventions

La période concernée par les informations ci-dessous a pris fin en 2020, et le nouveau programme FEDER-FSE-IEJ 2021-2027 pour l'outre-mer n'est pas encore publié.

Le programme en est actuellement à sa 3^{ème} phase d'étude « préconisations pour une meilleure programmation 2021-2027 FEDER-FSE-IEJ en Outre-mer ».

Plus d'informations sont disponibles sur les liens ci-dessous qui permettront de suivre l'évolution de ces programmes :

- <https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/ressources/rapport-detude-preconisations-pour-une-meilleure-programmation-2021-2027-feder-fse-iej-en>
- <https://europe-a-mayotte.fr/>

Le **fonds Européen FEDER** s'élevait à 148,9 Millions € pour la période 2014-2020 à Mayotte, représentant une aide conséquente. La gestion de ce fonds est articulée autour de 7 axes thématiques dont l'Axe 4 qui porte sur « *Accroître la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique pour une plus grande indépendance énergétique de l'île, et inciter à une consommation énergétique différente dans les entreprises et les administrations.* » auquel vous pourrez directement vous diriger.

Vous pourrez retrouver l'ensemble des informations liées au fonds FEDER sur le site :

<https://europe-a-mayotte.fr/les-fonds-europeens/fonds-feder/>

1.6.2 Rachat de la production électrique

1.6.2.1 Si l'installation a une puissance supérieure à 100 kW :

Il faut passer par un appel d'offre de la CRE (Commission de Régulation de l'Énergie), il y en a plusieurs par an en métropole, mais seulement un par an environ pour les ZNI (Zone Non Interconnectée). Le prix de revente lors du dernier appel d'offres (Installations de production d'électricité d'origine renouvelable en Corse et dans les départements d'Outre-mer en 2020) était en moyenne de **98,6 € / MWh pour les installations photovoltaïques équipées de dispositifs de stockage**, et pour les installations en **autoconsommation, une prime s'élevant en moyenne à 34,19 €/MWh** est fournie.

1.6.2.2 Si l'installation a une puissance inférieure à 100 kW :

Dans ce cas ce sont les tarifs d'achat pour les ZNI qui s'appliquent lors de la revente de l'électricité, ces tarifs sont détaillés ci-dessous :

Tarifs d'achat en vigueur pour les installations dont la demande complète de raccordement a été effectuée entre le 01/01/2023 et le 31/03/2023		
	Coefficient <i>D</i> ⁽⁵⁾	Tarifs d'achat en c€/kWh
Mayotte	<i>D</i> vaut 1,35	23,76
	<i>D</i> vaut 1,2	21,12
	<i>D</i> vaut 1,1	19,36
	<i>D</i> vaut 1	17,60
	<i>D</i> vaut 0	0,00

Tableau 17 : Tarifs d'achat pour la production solaire photovoltaïque (source : CRE⁶)

1.6.3 Certificats d'économie d'énergie

Le dispositif réglementaire des CEE (Certificats d'économie d'énergie) peut être un levier financier supplémentaire pour réaliser des opérations permettant de maîtriser la consommation d'énergie.

Introduit en France en 2005, ce dispositif a pour objectif de réaliser des économies d'énergie dans tous les secteurs de consommation finale (bâtiment, agriculture, petite et moyenne industrie, transports et réseaux). Ils sont mis en place par période triennale : 1^{ère} période 2006-2009, puis 2^{ème} période 2011-2013 et 3^{ème} période 2014-2017, nous sommes maintenant dans la 4^{ème} période 2018-2020 (prolongée jusqu'à fin 2021).

Le principe est d'obliger les fournisseurs d'énergie à réaliser des économies d'énergie auprès de ses consommateurs. Le dispositif consiste à créer un certificat lorsque des économies d'énergie sont réalisées, puis un marché permet aux « obligés » (fournisseurs d'électricité, distributeurs de carburants, ...) et aux « éligibles » (collectivités, SEM, bailleurs sociaux, ANAH, ...) de les échanger. Pour cette 4^{ème} période (2018-2020) 1600 TWh cumac (« cumac » étant la contraction de « cumulé et actualisé ») d'économies d'énergie sont à réaliser.

Deux entrées sont possibles pour l'utilisation du dispositif dans le cas de ce projet :

- Un fournisseur d'énergie (acteur « obligé » du dispositif) s'accorde en amont avec la collectivité à rémunérer des actions d'économies d'énergie par des opérations diverses. Le fournisseur subventionne alors les actions réalisées au sein du projet et produit des CEE pour son compte. C'est la procédure la plus commune.
- La collectivité (acteur « éligible » du dispositif) décide de s'engager dans des opérations éligibles aux CEE et d'ouvrir un compte sur le registre national. Une fois ces opérations réalisées, elle produit

⁵ Extrait de l'Arrêté du 4 mai 2017 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations implantées sur bâtiment utilisant l'énergie solaire photovoltaïque, d'une puissance crête installée inférieure ou égale à 100 kilowatts telles que visées au 3° de l'article D. 314-15 du code de l'énergie et situées en Corse, en Guadeloupe, en Guyane, en Martinique, à Mayotte et à La Réunion :

Pour chaque installation, il est défini une puissance *Q*, exprimée en kWc et définie comme la puissance installée de l'ensemble des autres installations raccordées ou en projet sur le même site d'implantation que l'installation objet du contrat d'achat, et dont les demandes complètes de raccordement au réseau public ont été déposées dans les 18 mois avant ou après la date de demande complète de raccordement au réseau public pour l'installation objet du contrat d'achat. La notion de « même site » est évaluée au regard des définitions de l'article 2 et des dispositions de l'annexe 3 du présent arrêté. En fonction de la puissance installée de l'installation, notée *P* et exprimée en kWc, et de la puissance *Q* définie à l'alinéa précédent, il est défini un coefficient *D* de la façon suivante :

- si *P + Q* est inférieure ou égale à 3 kWc, alors *D* = 1.35 ;
- si *P + Q* est supérieure à 3 kWc et est inférieure ou égale à 9 kWc, alors *D* = 1.2 ;
- si *P + Q* est supérieure à 9 kWc et est inférieure ou égale à 36 kWc, alors *D* = 1.1 ;
- si *P + Q* est supérieure à 36 kWc et est inférieure ou égale à 100 kWc, alors *D* = 1 ;
- si *P + Q* est supérieure à 100 kWc, alors *D* = 0

⁶<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwil8cTH-dfvAhWoxlUKHX5jCvMQFjAAegQIBBAD&url=https%3A%2F%2Fwww.cre.fr%2Fcontent%2Fdownload%2F19601%2F235736&usg=AOvVaw1-v1Y36AhjPliqwh1S7zC>

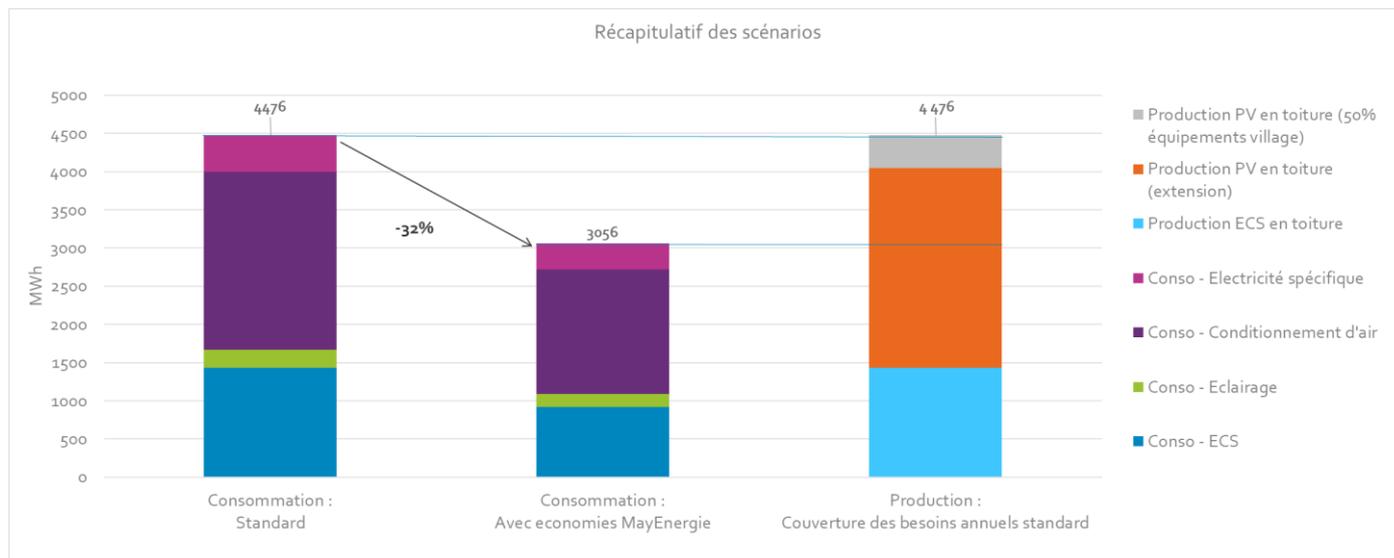
des CEE qu'elle peut ensuite revendre sur le marché à des « obligés ».

Il existe plusieurs types d'actions :

- Les opérations standardisées d'économie d'énergie : Disponibles dans un catalogue, pour chaque opération, une fiche définit les conditions d'éligibilité, et le montant forfaitaire en kWh cumac.
- Les opérations spécifiques : Les actions réalisées en dehors des opérations standardisées correspondent à des opérations spécifiques, qui font l'objet d'une procédure détaillée dans le guide ci-dessous : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/operations-specifiques>
- Les programmes d'accompagnement : La contribution financière à des programmes d'accompagnement (information, formation et innovation) en faveur de la maîtrise de la demande énergétique peut donner lieu à la délivrance de CEE.

Ce dispositif ayant un objectif ambitieux pour la période 2018-2020, les « obligés » sont donc très incités à soutenir des actions permettant d'économiser de l'énergie. D'autant plus à Mayotte, puisque la valeur des CEE est doublée pour les actions réalisées dans les zones non interconnectées au réseau métropolitain continental de transport d'électricité.

1.7 Synthèse des différents scénarios de consommation et de production



Le projet dans sa configuration « Standard » mènerait à une consommation énergétique totale de **4 476 MWh** annuels.

Des actions d'économie d'énergie, telles que celles préconisées par le référentiel MayEnergie pourraient permettre de **réduire la consommation à 3 056 MWh/an**, soit une réduction de 32% de la consommation.

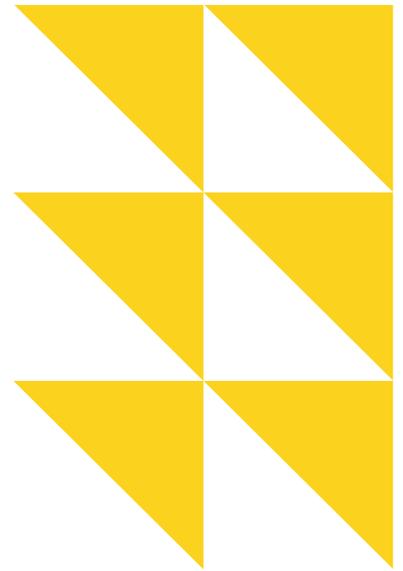
Il semble tout à fait possible d'assurer la couverture totale des besoins annuels en énergie de l'opération pour l'eau chaude et pour l'électricité, mais cela nécessitera de varier les lieux et types d'installations (toitures d'équipements notamment) s'il n'est pas possible d'exploiter les toitures des logements du village.

Si la seule production d'énergie photovoltaïque possible est sur les toitures de l'extension, alors avec de fortes économies d'énergie il serait possible d'avoir un niveau de consommation proche de celui de production électrique PV et solaire thermique et ainsi atteindre l'équilibre énergétique annuel.

Il serait en tout cas favorable d'**appliquer un maximum de mesures d'économie d'énergie**, celles-ci permettraient de réduire le coût de l'énergie pour les futurs habitants ainsi que les coûts d'installation, et favoriseraient un retour sur investissement plus rapide dans le cas d'une installation photovoltaïque avec surplus de production.

Annexe 8 : Etude Air-santé

Réalisation : EVADIES





PROJET D'AMENAGEMENT DU QUARTIER DE DOUJANI SUR LA COMMUNE MAMOUDZOU A MAYOTTE

ETUDE SUR LES EFFETS DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR

Rapport 7223 – MAJ 2023

Juin 2023



Evaluation & Diagnostic
Impact / Environnement / Santé

PROJET D'AMENAGEMENT DU QUARTIER DE DOUJANI SUR LA COMMUNE MAMOUDZOU A MAYOTTE

ETUDE SUR LES EFFETS DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR

RAPPORT 7223 – *mise à jour 2023*

Destiné à Charlene BERRA
Chef de Projets
CYATHEA

24, rue de La Lorraine – 97400 – Saint-Denis

☎ 02 62 53 39 07

📱 06 93 97 10 21



Version	Date	Rédaction	Vérification	Validation
1.0	26/06/23	S. CHAROLLAIS 	R. MERLEN 	R. MERLEN 

Pour nous joindre :

EVADIES • 8, rue principale 54 470 BOUILLONVILLE

Sébastien CHAROLLAIS

Tél : 03 85 91 58 12

Courriel : sebastien.charollais@evadies.fr

Rémi MERLEN

Tél : 06 64 87 93 17

Courriel : remi.merlen@evadies.fr

Avertissement

Ce rapport d'étude est la propriété du bureau d'expertise EVADIES. Il ne peut être reproduit, tout ou partie, sans l'autorisation écrite d'EVADIES. Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à EVADIES. EVADIES ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

TABLES DES MATIERES

1.	CONTEXTE ET PHASAGE DE L'ETUDE	5
2.	DOCUMENTS DE REFERENCE	7
3.	PROJET ET SCOPE DE L'ETUDE.....	7
3.1.	DESCRIPTION DU PROJET	7
3.2.	SCOPE DE L'ETUDE	8
4.	PHASE 1 : ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DU SITE	9
4.1.	DEMARCHE	9
4.2.	SENSIBILITE DU SITE.....	9
4.3.	INVENTAIRE DES EMISSIONS	11
4.4.	CONTEXTE METEOROLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE.....	11
5.	CARACTERISTIQUES DE LA QUALITE DE L'AIR.....	13
5.1.	RESEAU ATMO	13
5.2.	PRINCIPAUX POLLUANTS TRACEURS DE L'ACTIVITE ROUTIERE.....	14
5.3.	REGLEMENTATION EN VIGUEUR	16
5.4.	QUALITE DE L'AIR SUR MAYOTTE CONCERNANT LES PRINCIPAUX TRACEURS DE L'ACTIVITE ROUTIERE	17
5.5.	REALISATION DE MESURES <i>IN SITU</i>	19
5.5.1.	Objectifs	19
5.5.2.	Techniques de mesures et analyses.....	20
5.5.3.	Période de mesures et localisation des stations.....	20
5.5.4.	Résultats des mesures de dioxyde d'azote	21
6.	PHASE 2 : IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR	21
6.1.	DEMARCHE D'INVESTIGATION DE LA PHASE 2	21
6.1.1.	Polluants considérés	21
6.1.2.	Méthodologie suivie.....	22
6.2.	CALCULS DES EMISSIONS	22
6.2.1.	Données utilisées	22
6.2.2.	Résultats des bilans émissifs	25
6.3.	EVALUATION DES COUTS COLLECTIFS DES POLLUTIONS ET DES AVANTAGES-INCONVENIENTS INDUITS POUR LA COLLECTIVITE	29
6.3.1.	Coûts collectifs des pollutions et des nuisances	29
6.3.2.	Coûts liés à l'effet de serre.....	30
7.	APPRECIATION DES IMPACTS DU PROJET EN PHASE CHANTIER	31
8.	MESURES COMPENSATOIRES.....	32
9.	BILAN GENERAL	33

Liste des figures

Figure 1. Carte de localisation du projet (notice AVP 2023)	7
Figure 2. Voies structurantes autour du projet (@Géoportail)	8
Figure 3. Répartition du bâti (@Géoportail)	9
Figure 4. Principaux lieux sensibles autour du projet (@Géoportail)	10
Figure 5. Diagramme ombrothermique simulé au droit du projet (centre Doujani) sur les 30 dernières années	12
Figure 6. Régime général des vents au droit du projet (www.meteoblue.com)	13
Figure 7. Emplacement des stations de mesures HAWA les plus proches du projet (HAWA Mayotte)	14
Figure 8. Dispositif de mesure du dioxyde d'azote utilisés sur un projet similaire à Tsararano	20
Figure 9. Schéma des tronçons étudiés.....	23
Figure 10. Identification des tronçons sélectionnés.....	23
Figure 11. Répartition spatiale des émissions de NO ₂ en kg/km/j en situation actuelle	27
Figure 12. Répartition spatiale des émissions de NO ₂ en kg/km/j en situation future SANS projet	28
Figure 13. Répartition spatiale des émissions de NO ₂ en kg/km/j en situation future AVEC projet	28

Liste des tableaux

Tableau 1. Valeurs réglementaires des polluants atmosphériques principaux traceurs de l'activité routière	17
Tableau 2. Valeurs NO ₂ mesurées à Mayotte par tubes passifs (HAWA Mayotte).....	17
Tableau 3. Valeurs NO ₂ mesurées à Mayotte en continu (HAWA Mayotte).....	18
Tableau 4. Valeurs PM ₁₀ mesurées à Mayotte en continu (HAWA Mayotte)	18
Tableau 5. Valeurs en benzène mesurées à Mayotte (HAWA Mayotte).....	19
Tableau 6. Concentrations en NO ₂ mesurées sur Tsararano du 19 janvier au 3 février 2021	21
Tableau 7. Trafics (veh/j) utilisés dans le cadre de l'étude.....	24
Tableau 8. Bilan des émissions de polluants et consommation énergétique.....	26
Tableau 9. Valeurs tutélaires pour le transport routier en €2015/100 véh.km et par jour	29
Tableau 10. Coût journalier de la pollution sur les tronçons considérés.....	30
Tableau 11. Coût annuel de la pollution	30
Tableau 12. Coûts annuels liés à l'effet de serre (k€2015/an)	31

1. CONTEXTE ET PHASAGE DE L'ETUDE

Le présent rapport a pour enjeu d'étudier les impacts potentiels liés à la qualité de l'air d'un projet de création de ZAC situé sur la commune de Mamoudzou à Mayotte (vallée de Doujani). Outre l'aspect population, la création de la ZAC entrainera *de facto* l'aménagement d'un nouveau réseau viaire permettant la desserte de la zone.

La ville de Mamoudzou a confié à l'EPFAM une convention d'aménagement pour mettre en œuvre la ZAC de Doujani, en particulier devant la nécessité d'offrir de nouveaux logements à une population caractérisée par un dynamisme démographique élevé. L'AVP a évolué depuis 2021 en intégrant :

- *Urbanisation progressive du coteau : maintien et restructuration de certains secteurs bidonvillisés, aménagement de la route de la Crête, augmentation du potentiel constructible (dérogation PPRN), reboisement moindre de la crête du coteau ;*
- *Repositionnement rue de la Carrière ;*
- *Déplacement de la passerelle ;*
- *Modification des bassins de rétention et des modalités de collecte des eaux de ruissellement (intercepteurs) ;*
- *Mixité fonctionnelle spatiale (école relocalisée en coeur de quartier) ;*
- *Equipements publics supplémentaires (city stade, aire de jeux...).*

L'un de ces enjeux environnementaux concerne le volet air et santé, dossier faisant partie de l'étude d'impact. Il est effectué selon les exigences de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 et également selon la circulaire n°98-36 du 17 février 1998, relative à l'application de la loi sur l'air, complétant le contenu des études d'impact des projets d'aménagement. L'étude sera basée sur le contenu technique de la méthodologie AIR de février 2019¹.

A noter que dans le cadre de ce projet, la construction et l'aménagement de l'ensemble immobilier n'ont pas vocation à générer un trafic intense (de l'ordre de 2000 veh/j sur le réseau de la ZAC). La densité actuelle de population est quant à elle inférieure à 2 000 hab/km². Par ailleurs, il convient de souligner deux éléments :

- la majorité de l'amélioration viaire considérée dans ce projet consistera à un aménagement sur place ; c'est-à-dire que les axes actuels (pistes) seront réutilisés afin de constituer la desserte principale et l'extension à l'ouest de la ZAC ;
- la qualité de l'air actuelle sur le secteur n'apparaît pas dégradée (au regard des données existantes dans des contextes similaires pour des études du même type sur Mayotte).

¹ Note technique du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières

Ces critères sont conformes à la réalisation d'une étude de niveau III. Afin de mettre en exergue les niveaux de pollution auxquels seront exposés les futurs occupants du secteur, l'étude sera décomposée en deux phases distinctes :

- Phase 1 : Diagnostic de l'état initial du site (enjeux et mesures *in situ* de la qualité de l'air existante) ;
- Phase 2 : Qualification de l'état futur, des effets des infrastructures routières les plus proches du projet sur la qualité de l'air et la santé.

Les éléments présentés lors de la **phase 1** sont les suivants :

- Description du contexte local (occupation des sols et émissaires potentiels) ;
- Présentation des résultats des stations du réseau de surveillance de qualité de l'air local situées à proximité du projet ;
- Mesures *in situ*.

Lors de la **phase 2**, les impacts sur la qualité de l'air et la santé s'effectuent au regard de :

- La consommation de carburants ;
- L'émissions des polluants et des gaz à effet de serre.

La liste des polluants à prendre en compte dans le cadre de cette étude de **niveau III** est la suivante :

- des oxydes d'azote (NO et NO₂, noté NO_x) ;
- du monoxyde de carbone (CO) ;
- des hydrocarbures (plus spécifiquement le B(a)P) ;
- du benzène (C₆H₆) ;
- des particules PM émises à l'échappement ;
- du dioxyde de soufre (SO₂) ;
- pour les polluants particuliers, l'arsenic (As) et le nickel (Ni) sont étudiés.

La méthodologie sera appliquée selon trois scénarii :

- **Etat initial 2018**, avant mise en service du projet ;
- Situation au fil de l'eau, SANS projet, pour 2030 (**SP 2030**) : il s'agit de l'horizon intégrant l'évolution naturelle des flux routiers SANS les nouvelles voies et les logements prévus dans le cadre de ce projet ;
- Situation future AVEC projet, pour 2030 (**AP 2030**) : il s'agit de l'horizon intégrant le projet AVEC la desserte de la ZAC et logements prévus dans le cadre de ce projet.

La comparaison des deux états futurs permettra de comparer les seuls impacts du projet de la « ZAC Doujani » tout en intégrant les projets connexes ou prévus dans les années à venir (selon leur prise en compte dans l'étude des trafics).

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

L'étude sera réalisée en considérant les documents, les références réglementaires et méthodologiques suivants :

- Le Plan Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air (PRSQA) de Mayotte ;
- La note méthodologique de février 2019 sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières
- Le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 transposant la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 ;
- Les bilans annuels des mesures réalisées par l'Association Agréée de Surveillance de Qualité de l'Air local : HAWA.

3. PROJET ET SCOPE DE L'ETUDE

3.1. Description du projet

Le projet est localisé sur la commune de Mamoudzou située sur l'île de Mayotte (figure 1). Le périmètre d'étude occupe une surface de plus de 50 ha. Il s'insère entre les villages de M'Tsapéré et de Passamaïnty. Le futur quartier, qui a vocation à devenir l'un des premiers écoquartiers de Mayotte (à l'instar de la ZAC de Tsararano-Dembéni), accueillera des logements et des équipements scolaires et culturels.

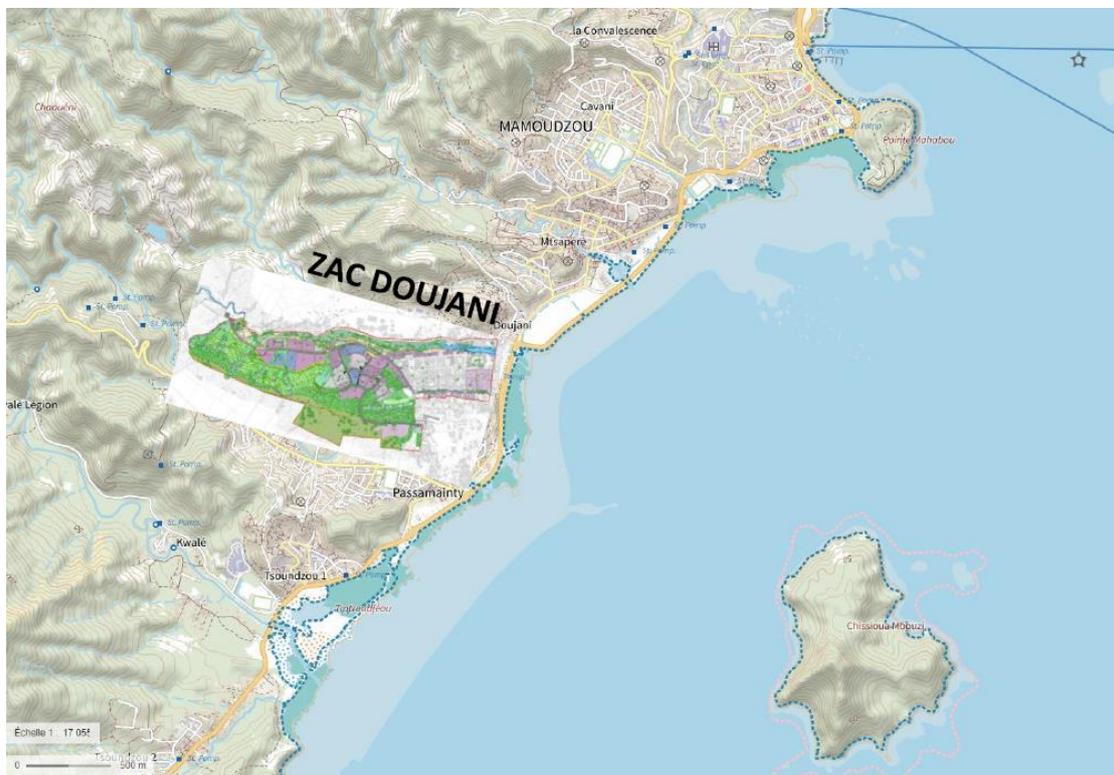


Figure 1. Carte de localisation du projet (notice AVP 2023)

3.2. SCOPE de l'étude

Pour la zone géographique, l'étude est menée sur le secteur situé entre la RN2 (route du littoral) à l'est et la rue de la Carrière qui permettra l'extension de la ZAC à l'ouest. Cette zone induit une description de la pollution atmosphérique à l'échelle locale (0,1 à 3 km). Cette échelle est en effet adaptée à l'étude des effets sur la santé de sources de pollution proches et identifiées, en l'occurrence les émissions du trafic routier voire industrielles.

Une bande d'étude est habituellement définie autour de chaque voie subissant, du fait de la réalisation du projet, une hausse ou une baisse (variation de +/- 10 %) du trafic journalier moyen sur l'année (TMJA).

L'étude considérera une bande d'étude autour des axes existants limitant le périmètre du projet avec notamment la prise en compte de :

- La RN2 ;
- La rue de la Carrière (rue Cheick Ahmed-Soilhi) ;
- La rue du Terrain de Basket (rue Nazou Vita) ;
- La rue des Ecoles (rue Boura-Daho).

Les axes étudiés seront sélectionnés selon les données de trafics disponibles sur le secteur d'étude.



Figure 2. Voies structurantes autour du projet (©Géoportail)

Pour la pollution particulaire (PM2,5, PM10, ...), la largeur de la bande d'étude est toujours prise égale à 100 mètres, quel que soit le trafic conformément à la note.

Pour la pollution gazeuse, la largeur minimale de la bande d'étude de part et d'autre de l'axe médian du tracé le plus significatif du projet est définie par le plus contraignant des deux critères suivants :

- le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) prévu à terme ;
- en limite de bande, le non-dépassement de la concentration maximale en NO₂.

C'est le premier critère qui est ici le plus contraignant. Sur l'ensemble des voies étudiées, le TMJA maximal pourra être de l'ordre de 25000 véh/j sur la RN2 (et inférieur à 10000 veh/j sur la ZAC). Les conditions précisées par la note méthodologique amènent à définir une largeur de la bande d'étude de part et d'autre de l'axe de 150 mètres. Les investigations seront menées *a minima* dans ce périmètre.

4. PHASE 1 : ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DU SITE

4.1. Démarche

L'enjeu de cette phase 1 est de présenter et de caractériser le contexte du site afin de définir sa sensibilité face à la qualité de l'air actuelle. La mise en perspective de cet état initial est réalisée via :

- L'analyse de la population présente et de la sensibilité su site ;
- L'inventaire des sources de pollution (données DEAL et PRSQA) ;
- Les conditions météorologiques locales ;
- L'analyse des concentrations relatives à la qualité locale de l'air.

4.2. Sensibilité du site

Le projet immobilier est situé à l'ouest de la RN2 où la densité est inférieure à 500 hab/km². La construction des nouveaux logements s'insère donc dans un quartier où la distribution de la population est hétérogène (village à l'est ou extension à l'ouest).



Figure 3. Répartition du bâti (©Geoportail)

Le taux de variation annuel sur la commune de Mamoudzou est de l'ordre de 5 % (INSEE, 2017). La mise en place du projet est en lien avec la création de plusieurs centaines de logements qui entraineront l'arrivée de nouvelles populations qui seront donc exposées à la qualité de l'air au droit du projet. Le secteur est de la ZAC correspondant au village de Doujani accueille déjà une population qui verra son effectif augmenter tandis que l'extension ouest connaîtra l'arrivée de nouvelles zones résidentielles dans une zone marquée par un habitat résultant d'une urbanisation spontanée sur les coteaux de la rivière sans de flux de trafics significatifs.

Plusieurs sites sensibles ont été répertoriés à proximité du projet, à savoir les établissements scolaires de 1er et 2nd degrés et les complexes sportifs (autres que ceux localisés au niveau des établissements scolaires). Ces différents sites peuvent être impactés par d'éventuelles variations de trafics dans le cas où des reports importants de flux sont à prévoir sur des axes comme la RN2 et RN3 ou sur la voie créée dans le cadre du projet (sites sensibles présentés sur la figure 4).



Figure 4. Principaux lieux sensibles autour du projet (©Geoportail)

Au vu de leur localisation, c'est surtout les 3 écoles qui sont situées au cœur du village de Doujani qui sont susceptibles d'être les plus impactées par les variations potentielles de trafic. Il sera donc nécessaire de considérer et de faire un focus sur les évolutions des émissions atmosphériques sur la rue des Ecoles (rue Boura-Daho), axe de proximité de ces lieux accueillant une population dite vulnérable. Le collège situé plus au nord n'est pas intégré directement dans le périmètre de la ZAC et ne sera pas directement impacté par les reports de trafics.

4.3. Inventaire des émissions

Afin de mieux cerner les contraintes locales en matière de qualité de l'air, il est nécessaire de procéder à un recensement des sources de pollution pouvant avoir un impact sur les populations présentes du domaine d'étude et/ou sur les nouveaux occupants liés au projet. Pour ce faire, Mayotte s'est dotée d'un PRSQA (Plan Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air), réalisé par HAWA Mayotte (réseau de surveillance local). Ce document synthétise les différentes sources de pollution susceptibles de porter atteinte à la qualité de l'air sur l'agglomération.

L'accroissement des émissions par habitant de NOx (oxyde d'azote) et CO₂ (dioxyde de carbone) observée sur Mayotte confirme la progression de la consommation d'électricité : la consommation et l'investissement des ménages mahorais dans l'habitat notamment s'intensifient. Cette situation est également à l'origine de la hausse des émissions de CH₄ par habitant, dues à une quantité croissante de déchets ménagers stockés. Entre 1990 et 2014, les émissions par unité de surface ont augmenté sur Mayotte pour tous les polluants sauf pour le SF₆ (Hexafluorure de soufre). Les évolutions sont très marquées, ce qui traduit l'extension des activités génératrices de polluants atmosphériques sur le territoire, plus particulièrement la production d'électricité. En 2014 et à Mayotte, dans le rapport du CITEPA de 2016, la production d'électricité apparaît comme la source principale en ce qui concerne les émissions de dioxyde de soufre (SO₂), en oxydes d'azote (NOx) et dioxyde de carbone (CO₂).

D'après les inventaires d'émissions du CITEPA et les premières observations sur le terrain, on peut estimer que les émetteurs principaux sont :

- *Le trafic routier, dû à un parc automobile peu entretenu et parfois vétuste (beaucoup de véhicules diesel et essence, anciens, mal réglés au vu de ce qui sort de leur pot d'échappement). Il existe peu de voies principales et ces dernières sont donc très souvent embouteillées sur plusieurs kilomètres et pendant plusieurs heures.*
- *Les centrales thermiques au gasoil de Longoni et des Badamiers, qui fournissent l'île en électricité.*
- *La Combustion de biomasse (culture sur brulis, brûlage des déchets verts, cuisine au feu de bois) et de déchets en tout genre (incendie de poubelle et de détritus).*

Le trafic aérien est concentré sur Petite Terre, il peut y avoir des émissions au niveau local, idem pour le trafic maritime, concentré sur le port de Longoni.

Aucun site industriel n'est recensé sur le site de la ZAC Doujani (www.georisques.gouv.fr). Au droit du projet les principales sources émettrices locales sont en lien avec le trafic routier résidentiel et les activités agricoles.

4.4. Contexte météorologique du secteur d'étude

La prise en compte des conditions météorologiques locales a une importance particulière puisqu'elles sont directement à mettre en relation avec la dispersion des polluants émis sur le domaine d'étude.

La figure 5 ci-après présente le diagramme ombrothermique mettant en perspective l'évolution mensuelle des températures, des précipitations et des vitesses de vents au droit du domaine d'étude sur les trente dernières années.

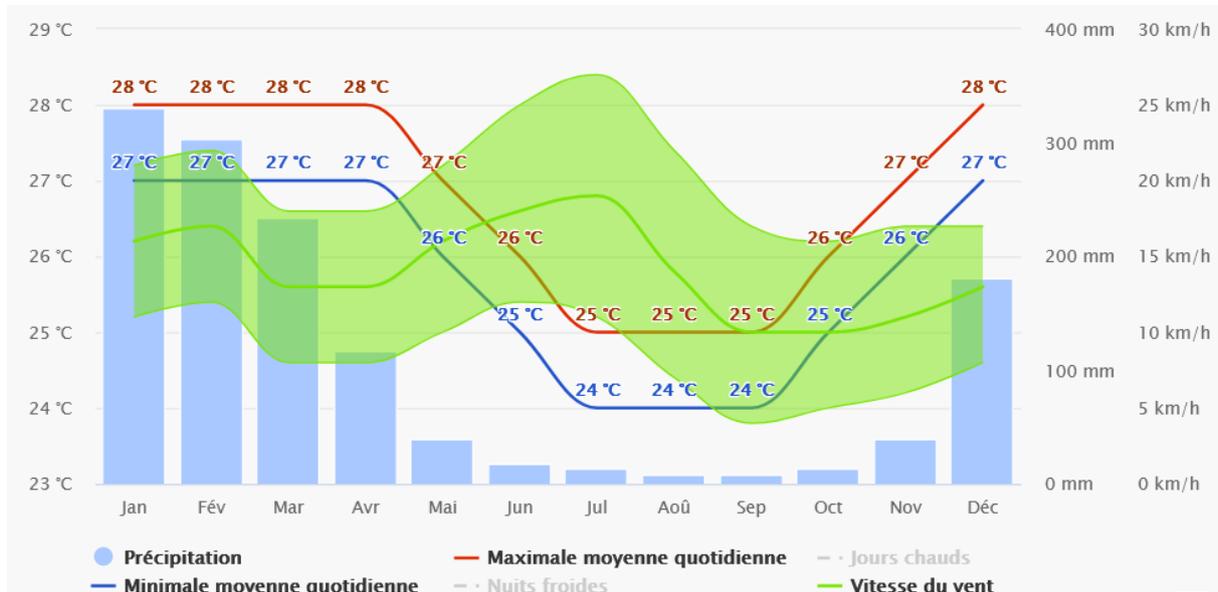


Figure 5. Diagramme ombrothermique simulé au droit du projet (centre Doujani) sur les 30 dernières années (www.meteoblue.com)

Cette répartition s'inscrit dans une dynamique insulaire tropicale. Cela implique deux saisons distinctes :

- Une saison sèche, globalement de mai à octobre, avec de faibles précipitations où l'air est moins humide. Les températures sont les plus faibles de l'année avec une moyenne de l'ordre de 25 °C et des vents plus forts. Ces caractéristiques sont propices à la mise en suspension et la propagation des polluants atmosphériques.
- Une saison des pluies, globalement de novembre à avril, avec de plus fortes précipitations. Les températures sont plus élevées avec une moyenne proche de 28 °C et des vents plus faibles. Ces caractéristiques traduisent une période durant laquelle l'atmosphère subit un lessivage assez constant propice à l'abattement des polluants.

Concernant les vents la figure 6 met en avant le régime des vents au droit du secteur d'étude.

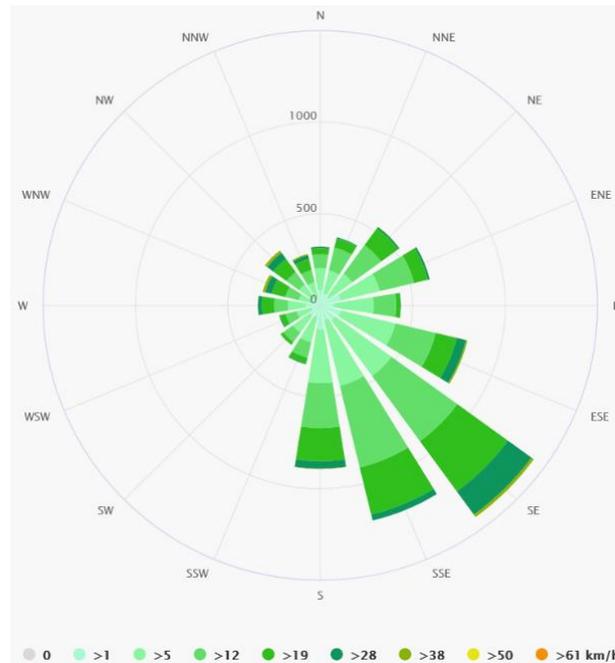


Figure 6. Régime général des vents au droit du projet (www.meteoblue.com)

La rose des vents présente un axe dominant avec des occurrences venteuses plus fortes et plus récurrentes en provenance du sud-est. Au vu du contexte insulaire, cette rose des vents traduit un régime dominant d'alizés et d'alternance brise de terre / brise de mer en direction du domaine d'étude.

A noter que la période de mousson est marquée par des vents en provenance du secteur nord-ouest à nord-est sur Mayotte lors de la période estivale australe.

En considérant cette rose des vents comme représentative du domaine d'étude, le projet serait donc potentiellement plus exposé aux éventuelles émissions polluantes situées au sud-est. Au vu des chapitres précédents et du recensement des différentes émissions locales, le site du projet pourrait donc être principalement soumis à la dispersion des polluants émis principalement par la RN2.

5. CARACTERISTIQUES DE LA QUALITE DE L'AIR

5.1. Réseau ATMO

L'association HAWA Mayotte gère un ensemble de stations de mesures implantées en des lieux représentatifs des différents types d'exposition de la population (« typologies » urbaine, rurale, trafic, industrielle ou périurbaine). Ce dispositif est complété de laboratoires mobiles, permettant d'effectuer des campagnes temporaires de mesures sur des zones non couvertes par une station fixe (figure 7).

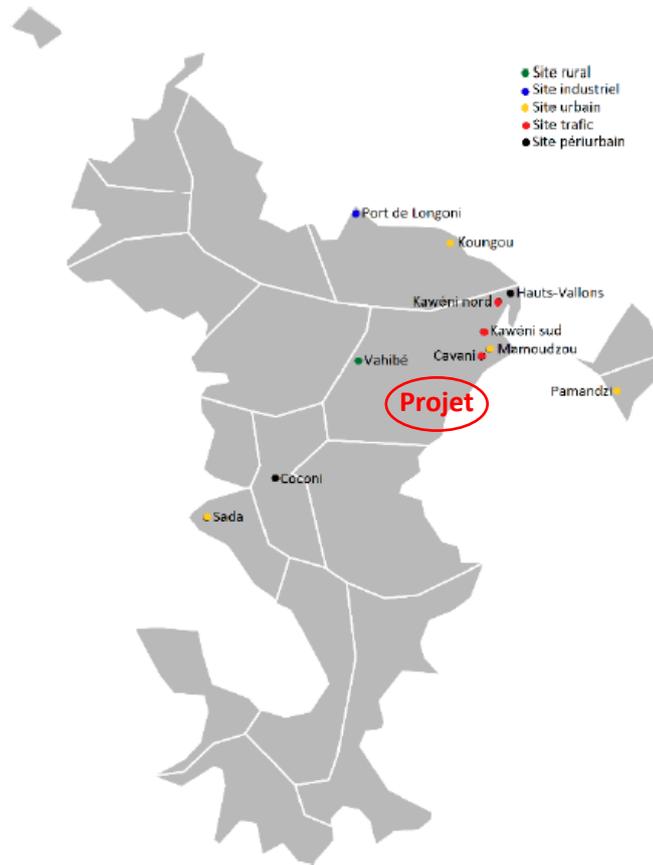


Figure 7. Emplacement des stations de mesures HAWA les plus proches du projet (HAWA Mayotte)

Ces stations ne mesurent pas le dioxyde d’azote de manière continue mais ce composé a toutefois été mesuré par des dispositifs spécifiques ponctuels (tubes passifs). Les polluants tels que les particules fines et le benzène, qui sont également des traceurs de l’activité routière, sont quant à eux mesurés sur certaines stations depuis 2016.

Au vu de la localisation des stations du réseau HAWA, les dispositifs de mesures les plus proches sont Vahibé au nord-ouest (station de fond rurale) et Caveni au nord-est (station trafic). Ces deux stations peuvent être représentatives des concentrations rencontrées à Doujani dont la partie ouest correspond à un contexte rural tandis que la partie est située en bordure de RN2.

5.2. Principaux polluants traceurs de l’activité routière

- Le dioxyde d’azote (NO₂)

Origine : le monoxyde d’azote (NO) et le dioxyde d’azote (NO₂) sont émis lors de combustions. Le NO₂ est issu de l’oxydation du NO. Les principales sources sont : le transport routier et les installations de combustion (centrales thermiques, chauffage, etc.). Le NO₂ se rencontre également à l’intérieur

des locaux (appareils au gaz tels que gazinières, chauffe-eau, etc.). Les oxydes d'azote sont des gaz précurseurs servant à la formation d'ozone troposphérique.

Effets sur la santé : pénétration dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Affections respiratoires chroniques, perturbations de la fonction respiratoire et du transport de l'oxygène dans le sang.

Effets sur l'environnement : participation du NO₂ aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique dont il est l'un des précurseurs et à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique.

- Les particules (PM_{2,5} et PM₁₀)

Origine : les particules en suspension sont constituées de substances solides et/ou liquides présentant une vitesse de chute négligeable. Minérales ou organiques, composées de matières vivantes (pollens etc.) ou non, grosses ou fines, les particules en suspension constituent un ensemble extrêmement hétérogène de polluants dont la taille varie de quelques dixièmes de nanomètres à une centaine de micromètres. Elles ont, d'une part, une origine naturelle (embruns océaniques, éruptions volcaniques, érosion éolienne des sols, feux de forêts). Elles proviennent également des installations de chauffage domestique et urbain, des activités industrielles (centrales électriques, usines d'incinération), des transports (notamment véhicule diesel). Elles sont également émises par les activités agricoles. En raison de ses origines, la pollution atmosphérique par les particules en suspension concerne particulièrement les zones urbaines et industrielles. Les taux atmosphériques de particules en suspension sont plus élevés en automne et en hiver. Pendant ces périodes, les rejets de poussières dus aux chauffages à base de combustibles fossiles sont plus importants et les conditions météorologiques sont moins favorables à la dispersion des polluants, notamment dans le cas d'inversion de températures.

Effets sur la santé : selon leur taille, les particules pénètrent plus ou moins profondément dans les voies respiratoires jusqu'aux bronchioles et aux alvéoles. Même à des concentrations très basses, les particules les plus fines peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires ou altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Elles peuvent entraîner des hospitalisations et décès pour causes respiratoires et cardio-vasculaires. Les particules fines interagissent avec les pollens pour accroître la sensibilité aux allergènes. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes.

Effets sur l'environnement : elles peuvent réduire la visibilité, et influencer le climat en absorbant et en diffusant la lumière. Ces particules fines, en se déposant, salissent et contribuent à la dégradation physique et chimique des matériaux, des bâtiments, des monuments... A forte concentration, les dépôts accumulés sur les feuilles des végétaux peuvent entraver la photosynthèse.

- Le benzène

Origine : le benzène fait partie des Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM), famille de composés organiques principalement volatils. Ils entrent dans la composition des carburants mais aussi dans celles de nombreux produits courants (peintures, encres, colles, détachants, cosmétiques,

solvants, etc.) pour des usages ménagers, professionnels ou industriels (pour ces raisons, leur présence dans l'air intérieur peut-être aussi importante). Ils sont émis lors de la combustion de carburants (notamment dans les gaz d'échappement) ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. Les COV sont émis également par le milieu naturel (végétation, forêts) et certaines aires cultivées.

Effets sur la santé : les effets sont variables selon la nature du composé chimique. Ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation, à une diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des effets mutagènes et cancérigènes, notamment la leucémie établie pour le benzène.

Effets sur l'environnement : les composés organiques jouent un rôle majeur dans le mécanisme complexe de la formation de l'ozone troposphérique. Ils interviennent également dans le processus d'effet de serre et du trou d'ozone stratosphérique. Le benzène ralentit la croissance de la végétation et des cultures et est toxique pour le milieu aquatique.

5.3. Réglementation en vigueur

HAWA Mayotte réalise une surveillance de la qualité de l'air permanente, au travers de plusieurs stations de mesures (fixes ou ponctuelles). Chaque année, un bilan pour chacun de ces polluants doit être réalisé afin de comparer les résultats aux objectifs de qualité, ainsi qu'aux valeurs cibles et limites correspondantes. En effet, la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, fournit le cadre à la législation communautaire sur la qualité de l'air :

- l'établissement des principes de base d'une stratégie commune visant à définir et fixer des objectifs concernant la qualité de l'air ambiant, afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement ;
- l'évaluation de la qualité de l'air ambiant dans les États membres et l'information du public ;
- Les valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote, le benzène et les particules PM_{2,5} et PM₁₀.

Ces valeurs réglementaires sont reprises/complétées dans le décret 2010-1250 du 21/10/2010, qui transpose en droit français la directive 2008/50/CE. Les valeurs applicables sont présentées dans le [tableau 1](#) ci-après.

Tableau 1. Valeurs réglementaires des polluants atmosphériques principaux traceurs de l'activité routière (HAWA Mayotte)

	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuils de recommandation et d'information du public	Seuils d'alerte	Niveaux critiques
Dioxyde d'azote (NO ₂)	<p>En moyenne annuelle : depuis le 01/01/10 : 40 µg/m³.</p> <p>En moyenne horaire : depuis le 01/01/10 : 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an.</p>	<p>En moyenne annuelle : 40 µg/m³.</p>	<p>En moyenne horaire : 200 µg/m³.</p>	<p>En moyenne horaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> 400 µg/m³ dépassé sur 3 heures consécutives. 200 µg/m³ si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain. 	
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM ₁₀)	<p>En moyenne annuelle : depuis le 01/01/05 : 40 µg/m³.</p> <p>En moyenne journalière : depuis le 01/01/2005 : 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an.</p>	<p>En moyenne annuelle : 30 µg/m³.</p>	<p>En moyenne journalière : 50 µg/m³.</p>	<p>En moyenne journalière : 80 µg/m³.</p>	
Benzène (C ₆ H ₆)	<p>En moyenne annuelle : depuis le 01/01/10 : 5 µg/m³.</p>	<p>En moyenne annuelle : 2 µg/m³.</p>			

5.4. Qualité de l'air sur Mayotte concernant les principaux traceurs de l'activité routière

Les principaux traceurs de l'activité routière sont mesurés sur différentes stations du réseau HAWA. Les tableaux 2 à 5 ci-après présentent les concentrations moyennes annuelles sur les années 2016 à 2019. Ce bilan de mesures réalisé par HAWA est issu de « l'évaluation préliminaire de la qualité de l'air à Mayotte 2016-2019 ».

Tableau 2. Valeurs NO₂ mesurées à Mayotte par tubes passifs (HAWA Mayotte)

Année	Site	Moyen de mesure	Couverture temporelle	Taux de saisie	Moyenne annuelle	Etat par rapport aux seuils d'évaluation
2016	Cavani	Tube passif	84%	94%	21 µg.m ⁻³	< SEI
	Coconi	Tube passif	88%	98%	4 µg.m ⁻³	< SEI
	Hauts Vallons	Tube passif	86%	95%	8 µg.m ⁻³	< SEI
	Kawéni	Tube passif	84%	100%	21 µg.m ⁻³	< SEI
	Koungou	Tube passif	73%	100%	8 µg.m ⁻³	< SEI
	Longoni	Tube passif	86%	100%	6 µg.m ⁻³	< SEI
	Mamoudzou	Tube passif	62%	100%	7 µg.m ⁻³	< SEI
	Pamandzi	Tube passif	84%	100%	6 µg.m ⁻³	< SEI
	Sada	Tube passif	35%	100%	7 µg.m ⁻³	< SEI
2018	Vahibé	Tube passif	86%	100%	3 µg.m ⁻³	< SEI
	Cavani	Tube passif	20%	100%	19 µg.m ⁻³	< SEI
	Coconi	Tube passif	19%	100%	5 µg.m ⁻³	< SEI
	Hauts Vallons	Tube passif	12%	100%	8 µg.m ⁻³	< SEI
	Kawéni	Tube passif	19%	100%	13 µg.m ⁻³	< SEI
	Koungou	Tube passif	18%	100%	6 µg.m ⁻³	< SEI
	Longoni	Tube passif	16%	88%	3 µg.m ⁻³	< SEI
	Mamoudzou	Tube passif	18%	94%	6 µg.m ⁻³	< SEI
	Pamandzi	Tube passif	16%	100%	5 µg.m ⁻³	< SEI
2019	Sada	Tube passif	18%	100%	3 µg.m ⁻³	< SEI
	Vahibé	Tube passif	20%	100%	1 µg.m ⁻³	< SEI
	Cavani	Tube passif	30%	100%	21 µg.m ⁻³	< SEI
	Coconi	Tube passif	32%	87%	4 µg.m ⁻³	< SEI
	Hauts Vallons	Tube passif	33%	100%	8 µg.m ⁻³	< SEI
	Kawéni	Tube passif	31%	93%	11 µg.m ⁻³	< SEI
	Koungou	Tube passif	29%	100%	6 µg.m ⁻³	< SEI
	Longoni	Tube passif	34%	100%	3 µg.m ⁻³	< SEI
	Mamoudzou	Tube passif	33%	100%	7 µg.m ⁻³	< SEI
Pamandzi	Tube passif	29%	92%	5 µg.m ⁻³	< SEI	
Sada	Tube passif	32%	100%	4 µg.m ⁻³	< SEI	
Vahibé	Tube passif	29%	91%	1 µg.m ⁻³	< SEI	

Tableau 3. Valeurs NO₂ mesurées à Mayotte en continu (HAWA Mayotte)

Période	Site	Période de mesure	Couverture temporelle	Taux de saisie	Moyenne annuelle	Etat par rapport aux seuils d'évaluation	Nombre de dépassement horaire		Etat par rapport aux seuils d'évaluation
							> 140 µg.m ⁻³	> 100 µg.m ⁻³	
2016	Kawéni	12/05 – 31/12	64 %	96 %	11 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI
2017	Kawéni	01/01 – 03/07	50 %	81 %	8 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI
	Longoni	07/07 – 19/11	37 %	61 %	4 µg.m ⁻³	< SEI	1	1	< SEI
	Pamandzi	22/11 – 31/12	11 %	96 %	4 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI
2018	Pamandzi	01/01 – 04/04	26 %	89 %	4 µg.m ⁻³	< SEI	1	0	< SEI
	Koungou	13/08 – 07/09	7 %	83 %	6 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI
	Mamoudzou	27/09 – 30/11	18 %	82 %	4 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI
2019	Koungou	23/02 – 09/07	38 %	19 %	5 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI
	Kawéni	11/07 – 31/12	48 %	73 %	14 µg.m ⁻³	< SEI	0	0	< SEI

Les concentrations disponibles sont issues de mesures par tubes passifs et de mesures en continu. Pour l'ensemble des moyennes annuelles obtenues, la valeur limite pour le dioxyde d'azote est respectée. Les moyennes les plus élevées sont recensées à Cavani dans un contexte marqué par la présence de la RN1 et de la commune de Mamoudzou (dans sa partie urbaine). Pour la majorité des mesures, les concentrations demeurent inférieures à 10 µg/m³. Les concentrations sont toutes inférieures au Seuil d'Évaluation Inférieur (SEI) ce qui signifie que la modélisation ou les techniques d'estimation objective (un indicateur régional spatialisé des émissions) sont suffisantes. la mesure fixe ou indicative reste possible (Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant).

Tableau 4. Valeurs PM₁₀ mesurées à Mayotte en continu (HAWA Mayotte)

Période	Site	Moyen de mesure	Couverture temporelle	Taux de saisie	Moyenne annuelle	Etat par rapport aux seuils d'évaluation	Dépassement journalier		Etat par rapport aux seuils d'évaluation
							> 35 µg.m ⁻³	> 25 µg.m ⁻³	
2016	Kawéni	12/05 – 31/12	64 %	39 %	34 µg.m ⁻³	> SES	42	64	> SES
2017	Kawéni	01/01 – 03/07	50 %	68 %	43 µg.m ⁻³	> SES	70	90	> SES
	Pamandzi	22/11 – 31/12	11 %	70 %	20 µg.m ⁻³	< SEI	0	4	< SEI
2018	Pamandzi	01/01 – 04/04	26 %	42 %	22 µg.m ⁻³	Entre SEI et SES	4	6	< SEI
	Koungou	13/08 – 07/09	7 %	84 %	30 µg.m ⁻³	> SES	6	11	< SEI
2019	Koungou	23/02 – 09/07	38 %	70 %	18 µg.m ⁻³	< SEI	0	14	< SEI

Le tableau 4 regroupe les concentrations en particules mesurées à l'aide d'un moyen mobile en continu. Malgré une couverture temporelle ne permettant pas d'être représentative de la moyenne annuelle, ces valeurs donnent une information indicative sur les concentrations en PM₁₀. Les moyennes peuvent ainsi dépasser l'objectif de qualité fixé à 30 µg/m³.

Concernant le benzène, le tableau 4 met en avant des valeurs moyennes qui respectent la valeur limite de 5 µg/m³ en restant de l'ordre de l'objectif de qualité fixé à 2 µg/m³.

Tableau 5. Valeurs en benzène mesurées à Mayotte (HAWA Mayotte)

Période	Site	Moyen de mesure	Couverture temporelle	Taux de saisie	Moyenne annuelle	Etat par rapport aux seuils d'évaluation
2019	Cavani	Tube passif	37%	94%	2,2 µg.m ⁻³	Entre SEI et SES
	Coconi	Tube passif	38%	94%	1,4 µg.m ⁻³	< SEI
	Hauts Vallons	Tube passif	39%	83%	1,3 µg.m ⁻³	< SEI
	Kawéni	Tube passif	37%	85%	1,8 µg.m ⁻³	< SEI
	Koungou	Tube passif	33%	75%	1,4 µg.m ⁻³	< SEI
	Longoni	Tube passif	41%	79%	1,1 µg.m ⁻³	< SEI
	Mamoudzou	Tube passif	38%	94%	1,4 µg.m ⁻³	< SEI
	Pamandzi	Tube passif	36%	69%	1,0 µg.m ⁻³	< SEI
	Sada	Tube passif	38%	89%	1,3 µg.m ⁻³	< SEI
2018	Vahibé	Tube passif	33%	79%	1,1 µg.m ⁻³	< SEI
	Cavani	Tube passif	23%	100%	2,5 µg.m ⁻³	Entre SEI et SES
	Coconi	Tube passif	24%	100%	1,6 µg.m ⁻³	< SEI
	Hauts Vallons	Tube passif	32%	83%	1,0 µg.m ⁻³	< SEI
	Kawéni	Tube passif	23%	83%	1,8 µg.m ⁻³	< SEI
	Koungou	Tube passif	30%	91%	1,0 µg.m ⁻³	< SEI
	Longoni	Tube passif	22%	91%	1,1 µg.m ⁻³	< SEI
	Mamoudzou	Tube passif	25%	86%	1,0 µg.m ⁻³	< SEI
	Pamandzi	Tube passif	20%	100%	1,8 µg.m ⁻³	< SEI
2016	Sada	Tube passif	25%	86%	0,9 µg.m ⁻³	< SEI
	Vahibé	Tube passif	24%	83%	1,4 µg.m ⁻³	< SEI
	Cavani	Tube passif	38%	89%	1,8 µg.m ⁻³	< SEI
	Coconi	Tube passif	38%	90%	1,5 µg.m ⁻³	< SEI
	Hauts Vallons	Tube passif	32%	100%	1,4 µg.m ⁻³	< SEI
	Kawéni	Tube passif	66%	97%	2,4 µg.m ⁻³	Entre SEI et SES
	Koungou	Tube passif	24%	92%	1,7 µg.m ⁻³	< SEI
	Longoni	Tube passif	38%	95%	1,0 µg.m ⁻³	< SEI
	Mamoudzou	Tube passif	19%	91%	1,2 µg.m ⁻³	< SEI
2016	Pamandzi	Tube passif	36%	95%	1,3 µg.m ⁻³	< SEI
	Sada	Tube passif	14%	100%	1,2 µg.m ⁻³	< SEI
	Vahibé	Tube passif	38%	90%	0,9 µg.m ⁻³	< SEI

Le projet relatif à la ZAC de Doujani a la caractéristique d'être à la fois représentatif d'un environnement de fond rural (dans la partie ouest du projet) mais également d'une proximité aux axes routiers comme avec la présence de la RN2 (à l'est du village).

De ce fait, en prenant appui sur les précédents tableaux, la ZAC de Doujani est représentative des concentrations mesurées à Vahibé (station de fond rural) mais également de celles mesurées sur la station Cavani (station trafic) située au sud de la ville de Mamoudzou. Dans les deux cas, les concentrations (bien que plus élevées sur Cavani) respectent de manière indicative les valeurs réglementaires en vigueur pour les polluants traceurs de l'activité automobile.

5.5. Réalisation de mesures *in situ*

5.5.1. Objectifs

Dans le cadre d'une étude de niveau III, les mesures *in situ* gardent un caractère facultatif et n'ont pas été réalisées dans le volet Air relatif à la ZAC de Doujani. Toutefois, une caractérisation de la qualité de l'air par le NO₂ a été réalisée par EVADIES et CYATHEA en janvier 2021 dans le cadre de l'étude d'impact de l'écoquartier de Tsararano situé à 6 km sur la commune de Dombéni. Malgré un contexte différent, ce projet présentant des caractéristiques similaires en matière d'enjeux (création de ZAC) et de présence routière (présence de la RN2 à l'est des différents projets), EVADIES propose de présenter les principales conclusions qui avaient été effectuées dans cette étude, à titre indicatif.

5.5.2. Techniques de mesures et analyses

Les mesures du dioxyde d'azote ont été réalisées par une surveillance passive. Elles aboutissent à mesurer des concentrations de l'ordre du $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette méthode passive a permis d'estimer les expositions moyennes rencontrées durant 2 semaines. On obtient ainsi une concentration par point de mesure. Les tubes ont été mis dans un abri fixé à environ 2 mètres de hauteur.

L'échantillonnage passif n'implique aucun mouvement actif de l'air. L'échantillonneur passif pour la mesure du dioxyde d'azote est basé sur le principe de la diffusion passive de molécules de NO_2 sur un absorbant, le triéthanolamine (ou TEA). Les échantillonneurs utilisés sont composés par un tube de polypropylène de 7.4 cm de long et de 9.5 mm de diamètre. Pour la protection de l'échantillonneur contre les intempéries de même que pour diminuer l'influence du vent, un dispositif spécifique de protection est utilisé. La quantité de dioxyde d'azote absorbée par le TEA est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement. Après une exposition donnée (2 semaines) la quantité totale de dioxyde d'azote est extraite et déterminée par colorimétrie à 540 nm selon la réaction de Saltzmann.

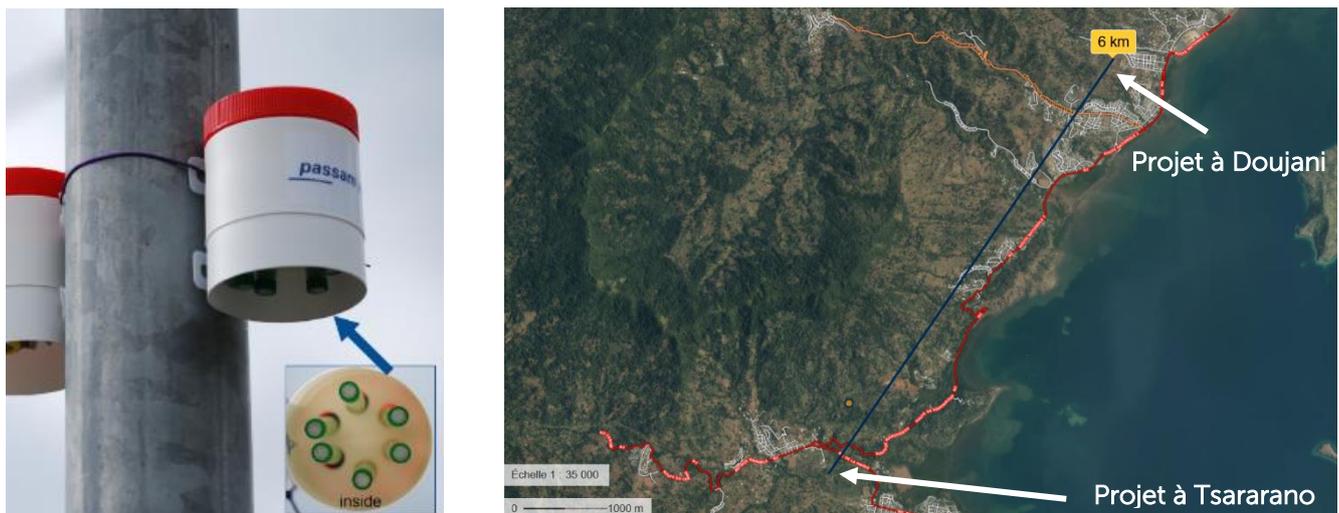


Figure 8. Dispositif de mesure du dioxyde d'azote utilisés sur un projet similaire à Tsararano

La méthode d'analyse a été appliquée directement par le distributeur à savoir le laboratoire PASSAM AG basé en Suisse. La limite de détection est de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 sur une exposition mensuelle. L'incertitude sur l'analyse est de l'ordre de 20 %.

5.5.3. Période de mesures et localisation des stations

Les mesures ont été réalisées par CYATHEA et EVADIES sur une seule période de mesures de 15 jours, du 19 janvier 2021 au 3 février 2021. Les stations ont été implantées en fonction des niveaux d'impact rencontrés et de la sensibilité de la zone. Au total, ce sont 20 stations qui furent implantées autour du projet de ZAC de Tsararano.

5.5.4. Résultats des mesures de dioxyde d'azote

Les résultats d'analyses sont présentés dans le [tableau 6](#) ci-après. Les concentrations moyennes sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selon leur typologie.

Tableau 6. Concentrations en NO_2 mesurées sur Tsararano du 19 janvier au 3 février 2021 (EVADIES/CYATHEA)

Typologie	Concentrations mesurées en NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Moyenne des mesures en bruit de fond rural	2,0
Moyenne des mesures en bruit de fond urbain	3,3
Moyenne des mesures en proximité trafic	9,8
Valeur limite	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sur l'ensemble des mesures réalisées, l'intégralité des résultats respecte la valeur réglementaire relative au NO_2 (comparaison à titre indicatif). Les résultats de la campagne de mesures restent cohérents avec le contexte rural et placent ainsi le site de la future ZAC de Tsararano dans une situation non dégradée au regard de la qualité de l'air mesurée. Cette tendance reste indicative puisque basée sur des mesures réalisées lors de l'été australe.

En émettant l'hypothèse d'une analogie entre les deux sites (les projets sont potentiellement exposés aux émissions de la RN2), on peut s'attendre selon toute vraisemblance que les teneurs pour le NO_2 sur Doujani soient du même ordre de grandeur. C'est en tout cas la tendance mise en avant par les mesures effectuées par tubes passifs en 2021 et celles mesurées par HAWA sur les stations fixes les plus proches du site d'étude.

6. PHASE 2 : IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR

6.1. Démarche d'investigation de la phase 2

6.1.1. Polluants considérés

Pour rappel, la liste des polluants à prendre en compte dans le cadre de ce niveau d'étude de **niveau III** est la suivante :

- des oxydes d'azote (NO et NO_2 , noté NO_x) ;
- du monoxyde de carbone (CO) ;
- des hydrocarbures (plus spécifiquement le B(a)P) ;
- du benzène (C_6H_6) ;
- des particules PM émises à l'échappement ;
- du dioxyde de soufre (SO_2) ;
- pour les polluants particuliers, l'arsenic (As) et le nickel (Ni) sont étudiés.

6.1.2. Méthodologie suivie

Conformément à la note méthodologique relative au volet AIR², plusieurs thèmes seront abordés au cours de l'analyse des impacts :

- estimation des émissions de polluants au niveau du domaine d'étude sur l'ensemble des situations étudiées ;
- comparaison des situations étudiées entre elles sur la base de cette méthodologie ;
- estimation de la consommation énergétique au niveau du domaine d'étude ;
- analyse des coûts collectifs des pollutions et des nuisances, et des avantages/inconvénients induits pour la collectivité ;
- impacts de la phase chantier.

Le projet aura pour vocation la création de nouveaux logements mais également l'aménagement des voies permettant la desserte des différentes résidences. Les différentes étapes de la méthodologie seront alors appliquées aux différents horizons d'étude suivants :

- la situation actuelle sans aménagement (SA 2018) ;
- la situation future SANS projet (SF-SP 2030) ;
- la situation future AVEC projet (SF-AP 2030).

Selon le guide méthodologique, *la répartition du parc roulant à l'horizon étudié est extraite des statistiques disponibles du parc français, fournies par l'IFSTTAR³. Ce parc roulant français est disponible jusqu'à l'année 2050 incluse et détermine les données d'entrée concernant les véhicules.* A noter que depuis 2020, le parc automobile de l'IFSTTAR a été complété par les horizons 2030 à 2050. Toutefois, lors de la réalisation de la présente étude aucune projection des évolutions de trafics à long terme (au-delà de 2030) n'était disponible. Pour ces raisons, l'étude se limitera à l'analyse des impacts sur un horizon 2030.

6.2. Calculs des émissions

6.2.1. Données utilisées

Les données nécessaires pour le calcul des émissions liées au trafic routier sont principalement issues de l'étude de trafic réalisée par SETEC (version E00 du 31 mai 2023). Les données qui seront utilisées sont les suivantes :

- Le volume de trafic : il s'agit du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) il est exprimé en veh/j et inclus le nombre de PL (poids lourds) ;
- Les vitesses moyennes des véhicules ;
- Le parc automobile 2018 et 2030 et les facteurs d'émissions associés.

² Guide méthodologique du 22/02/19 visé par la note technique (NOR TRET1833075N) relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact.

³ IFSTTAR résulte de la fusion de l'INRETS – Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité - et du LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Les trafics doivent être évalués pour l'état initial et les horizons futurs 2030, année au cours de laquelle l'impact du trafic avec et sans le projet est étudié. Les tronçons ont été choisis en fonction des données disponibles et des routes susceptibles d'être impactées voire impactantes par le projet. La figure 9 ci-après présente les différents tronçons étudiés.

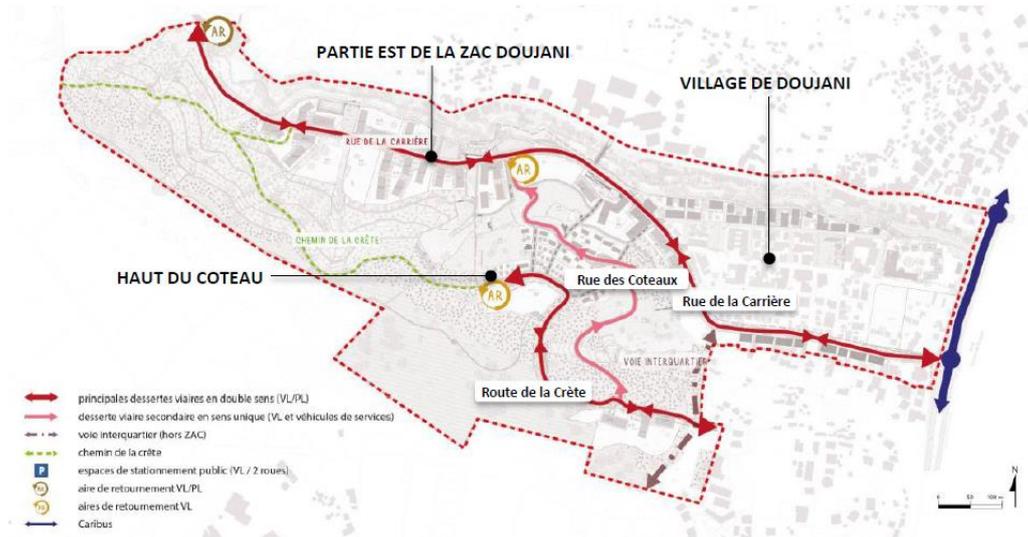


Figure 9. Schéma des tronçons étudiés (SETEC, 2023)

La figure 10 et le tableau 7 ci-après résume les hypothèses de trafics considérées (certains trafics ont été moyennés affinés afin de garder une cohérence sur le réseau considéré dans les deux sens de circulation).



Figure 10. Identification des tronçons sélectionnés

Tableau 7. Trafics (veh/j) utilisés dans le cadre de l'étude

Numéro du tronçon	Longueur considérée (m)	2018	2030 SP	2030 AP
1	139	7314	9050	8899
2	440	17589	22329	22477
3	135	24972	31453	31410
4	137	618	697	1981
5	202	548	618	1832
6	44	578	619	778
7	67	137	200	586
8	192	112	200	1317
9	130	154	273	1541
10	35	70	79	149
11	77	42	73	224
12	196	112	152	374
13	108	24719	31222	29622
14	422	12047	15269	15275
15	422	12827	16229	15909
16	348	24257	31035	30852
17	66	14189	16490	16040
18	497	14512	17063	16828
19	370	10374	12624	12395
20	201	390	469	759
21	164	1769	1880	2183
22	224	2060	2234	2805
23	303	0	0	793
24	214	0	0	793
25	405	0	0	439
26	628	0	0	449
27	595	0	0	1906
28	315	0	0	1878
29	117	0	0	1146
30	185	0	0	731

nc : trafics non connus ou négligeables (le trafic est considéré égal à 0)

Les facteurs d'émissions sont déterminés à partir d'une reconstitution prenant en compte l'évolution des normes pour chaque catégorie de véhicule et leur introduction dans le parc automobile. On appelle "facteur d'émission" les quantités de polluants en g/km rejetées par un véhicule. Pour la consommation, les données sont fournies en tep/km (Tonne Equivalent Pétrole). Les facteurs d'émission proviennent d'expérimentations sur banc d'essais ou en conditions réelles. Ils dépendent notamment :

- De la nature des polluants ;
- Du type de véhicule (essence/diesel, VL/PL...) ;
- Du "cycle" (trajet urbain, autoroute, moteur froid/chaud) ;
- De la vitesse du véhicule ;
- De la température ambiante (pour les émissions à froid).

Les facteurs d'émissions utilisés pour l'étude sont ceux recommandés par l'Union Européenne (UE) c'est-à-dire ceux du programme COPERT V (5.1). Ce modèle résulte d'un consensus européen entre les principaux centres de recherche sur les transports. Pour les scénarii étudiés, les facteurs d'émissions sont déterminés à partir d'une reconstitution prenant en compte l'évolution des normes pour chaque catégorie de véhicule et leur introduction dans le parc. Les données concernant les

véhicules sont des paramètres d'entrée liés à la répartition du parc roulant prise en compte. La vitesse a été considérée égale à 50 km/h sur les tronçons étudiés et 30 km/h au sein du projet.

6.2.2. Résultats des bilans émissifs

Le [tableau 8](#) donne les résultats totaux pour l'ensemble de la zone d'étude pour tous les polluants intégrés dans cette étude. Les émissions sont exprimées en quantité de polluants émises par jour. La consommation énergétique est également calculée.

Le dioxyde de carbone est le principal gaz à effet de serre. Dans le secteur du transport routier, ces émissions sont directement liées à la consommation du véhicule. Le CO₂ n'est pas régi par les normes Euros. Par conséquent, les évolutions suivent donc logiquement celles du trafic routier. Ainsi, entre la situation actuelle 2018 et les projections 2030, les émissions de dioxyde de carbone liées au secteur du transport routier vont significativement augmenter en lien avec un parc automobile plus impactant en matière de CO₂. En 2030, en raisonnant sur l'intégralité du réseau considéré, on peut constater que le projet aura un impact sur la production de gaz à effet de serre (augmentation de l'ordre de 7 % en lien avec un linéaire plus étendu et les reports de véhicules liés au projet).

Pour les autres paramètres, la comparaison de la situation actuelle avec les horizons 2030 met en avant une baisse généralisée des émissions à l'exception des PM₁₀, SO₂, CO, As et Ni. Ces derniers sont en effet davantage influencés par l'augmentation des véhicules entre 2018 et 2030 contrairement aux autres qui connaîtront une baisse plus importante au fil des ans grâce aux progrès technologiques inhérents à l'évolution du parc automobile français (même si ces derniers sont à relativiser pour le cas de Mayotte).

En 2030, comme pour le CO₂, la mise en place du projet entraîne une hausse globale des émissions entre la situation SANS et AVEC projet. Les reports de trafics liés au projet d'extension ouest de la ZAC et à l'arrivée de nouveaux occupants auront un impact sur les émissions routières. **Néanmoins, une hausse des émissions n'est pas proportionnelle à une hausse des concentrations. Il s'agit ici uniquement du bilan émissif global qui considère le trafic et surtout un linéaire parcouru plus important (donc plus d'émissions de l'ordre de 6 à 7 %).**

Tableau 8. Bilan des émissions de polluants et consommation énergétique

Emissions	Unités	SA 2018	Horizon 2030		Variation AP/SP
			SP (sans projet)	AP (avec projet)	
Consommation énergétique (carburants)	kg/j	2.28E+03	2.71E+03	2.90E+03	▲ 7,2 %
CO ₂ (dioxyde de carbone)	kg/j	7.24E+03	8.61E+03	9.23E+03	▲ 7,2 %
NO _x (oxydes d'azote)	g/j	1.05E+04	7.43E+03	7.98E+03	▲ 7,4 %
NO ₂ (dioxyde d'azote)	g/j	3.53E+03	2.26E+03	2.43E+03	▲ 7,5 %
PM10* (particules < 10 µm)	g/j	1.55E+03	1.66E+03	1.76E+03	▲ 6,6 %
PM2.5* (particules < 2,5 µm)	g/j	9.80E+02	9.48E+02	1.01E+03	▲ 6,6 %
CO (monoxyde de carbone)	g/j	6.99E+03	9.99E+03	1.06E+04	▲ 5,9 %
COVNM (composés organiques volatils non méthaniques)	g/j	3.79E+03	1.94E+03	2.06E+03	▲ 6,4 %
benzène	g/j	7.50E+01	2.94E+01	3.13E+01	▲ 6,3 %
SO ₂ (dioxyde de soufre)	g/j	1.66E+01	2.13E+01	2.29E+01	▲ 7,3 %
As* (arsenic)	g/j	4.65E-02	5.77E-02	6.13E-02	▲ 6,4 %
Ni* (nickel)	g/j	4.07E-01	4.21E-01	4.47E-01	▲ 6,2 %
B(a)P* (benzo-a-pyrène)	g/j	6.05E-02	5.02E-02	5.32E-02	▲ 5,9 %

* les usures liées à l'abrasion des garnitures de frein ou des pièces mécaniques ont été intégrées dans le calcul des émissions

Les figures suivantes traduisent de manière spatiale le résultat des émissions de NO₂, traceur principal de la pollution routière.

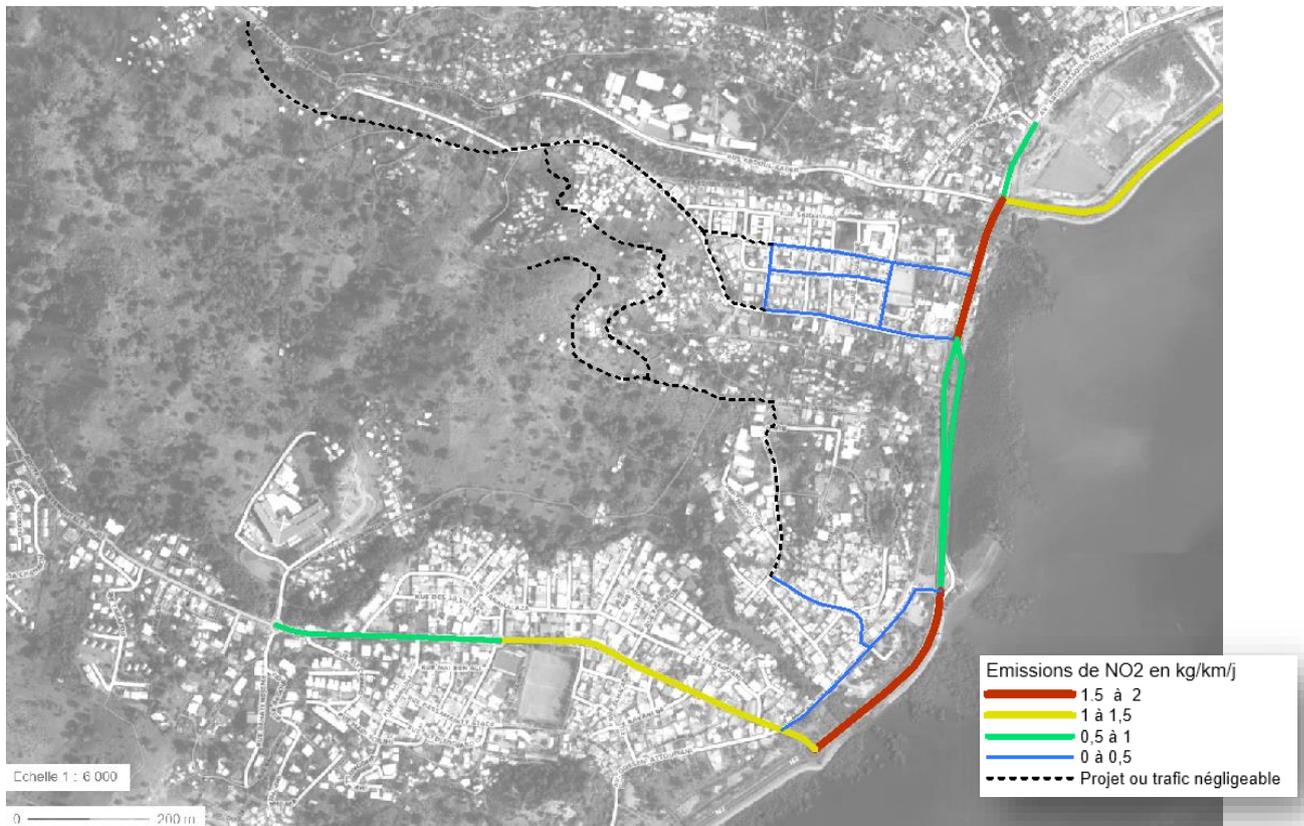


Figure 11. Répartition spatiale des émissions de NO₂ en kg/km/j en situation actuelle

En situation initiale les axes les plus émissifs sont ceux composant la RN2. A noter que les tronçons au centre de la RN2 sont séparés d'un terre-plein central et ont donc été considérés séparément dans le calcul des émissions expliquant ainsi la couleur verte à cet endroit. Les tronçons composant l'entrée dans Doujani sont quant à eux peu émissifs par rapport aux axes structurants tels que la RN2 ou la RD3.

L'évolution de la situation initiale se traduit visuellement par la baisse générale des émissions de NO₂ qui avait été évoquée entre la situation actuelle 2018 et la situation future SANS projet 2030.

Après la mise en place du projet, on constate logiquement que les tronçons composant la ZAC, ainsi que la route de la Crête et la rue des côteaux se traduisent par une augmentation des émissions. La RN2 connaît une stabilité de ces émissions lors de la situation AVEC projet.

L'augmentation linéaire des émissions est en adéquation avec des trafics globaux qui auront tendance à augmenter avec la création du projet. La mise en place du projet n'aura pas d'impact significatif sur les émissions des tronçons considérés de manière individuelle.

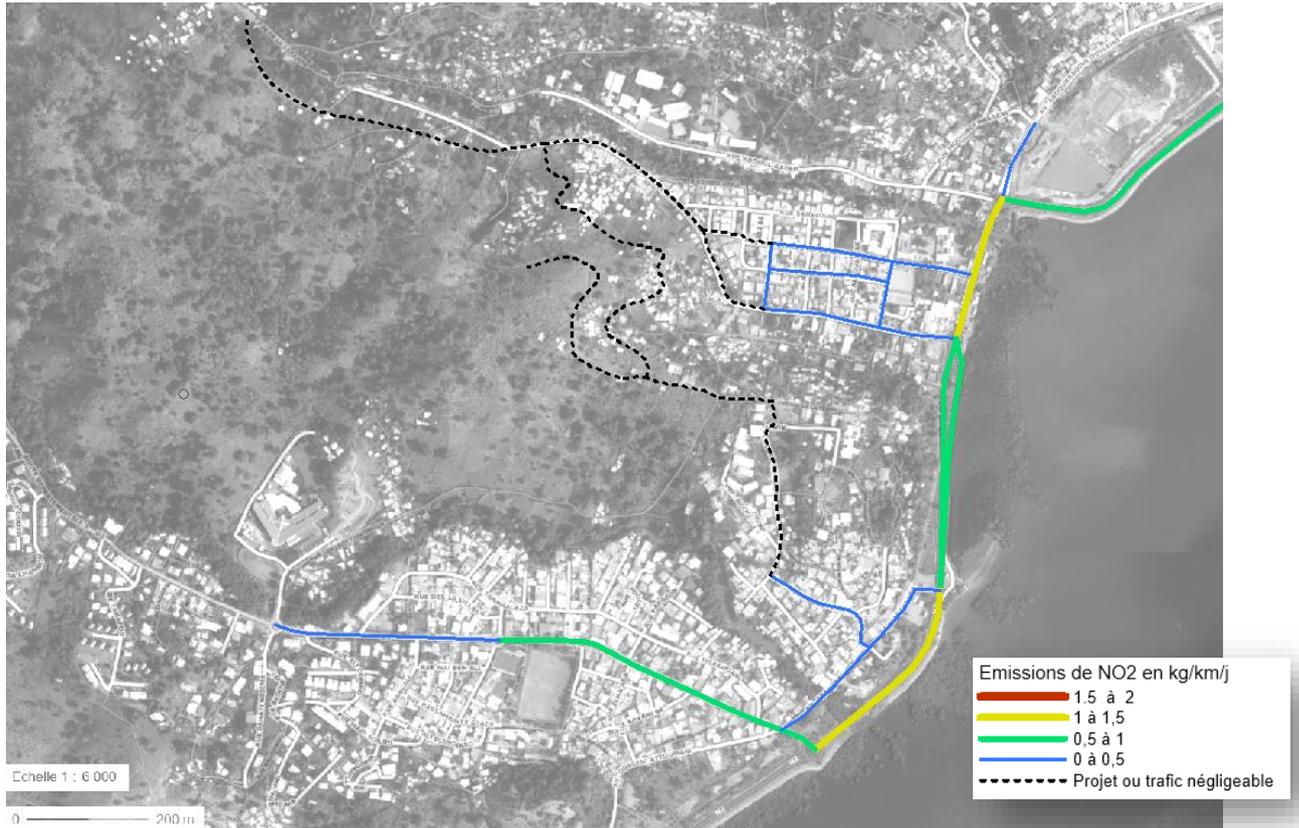


Figure 12. Répartition spatiale des émissions de NO₂ en kg/km/j en situation future SANS projet

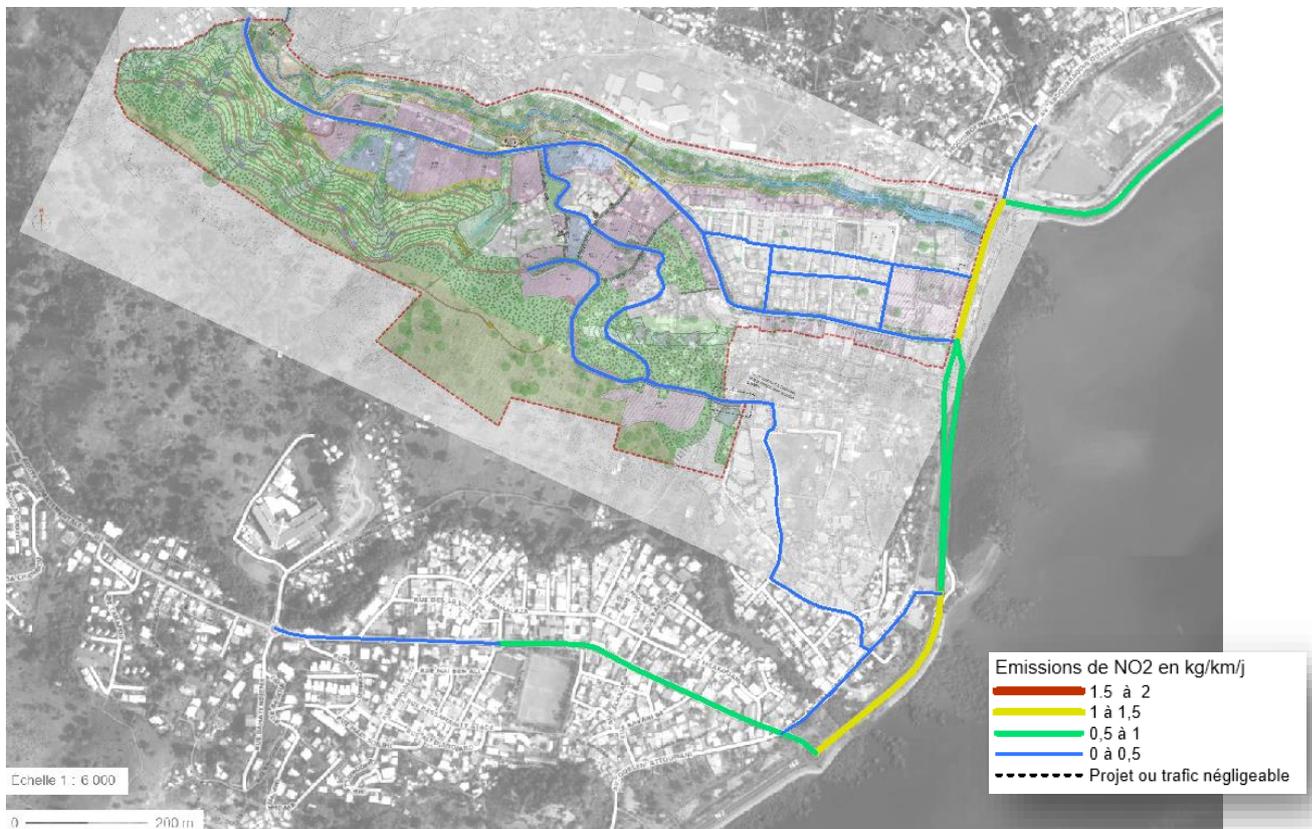


Figure 13. Répartition spatiale des émissions de NO₂ en kg/km/j en situation future AVEC projet

6.3. Evaluation des coûts collectifs des pollutions et des avantages-inconvénients induits pour la collectivité

6.3.1. Coûts collectifs des pollutions et des nuisances

Les émissions de polluants atmosphériques sont à l'origine d'effets externes très variés sur la santé, sur les bâtiments et les atteintes à la végétation. La valorisation des effets de la pollution peut être obtenue à l'aide de méthodes de monétarisation à partir des valeurs de référence de mai 2019 relatives à la valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique⁴.

Les effets sur la santé de la pollution de l'air dépendent de la concentration de polluants et de la densité de la population dans les zones polluées. Ceci conduit à retenir des valeurs différentes pour internaliser la pollution ; en milieu urbain très dense et dense, en milieu urbain et urbain diffus et en interurbain. Les données sont présentées dans le **tableau 9**. **Il est considéré que le domaine d'étude correspond à un espace interurbain.**

Tableau 9. Valeurs tutélaires pour le transport routier en €2015/100 véh.km et par jour

	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
€2010/100 véh.km	6 750 hab/km ²	2 250 hab/km ²	750 hab/km ²	250 hab/km ²	25 hab/km ²
Deux roues	6,7	1,9	0,8	0,6	0,5
Poids lourds Diesel	133,0	26,2	12,4	6,6	4,4
Véhicules particuliers	11,6	3,2	1,3	1,1	0,8
Diesel	14,2	3,9	1,6	1,3	1,0
Essence	4,4	1,3	0,6	0,4	0,3
GPL	3,7	1,0	0,4	0,3	0,1
Véhicules utilitaires	19,8	5,6	2,4	2,0	1,7
Diesel	20,2	5,7	2,5	2,0	1,8
Essence	6,3	1,8	0,7	0,5	0,3

Les évolutions suivantes sont appliquées aux valeurs tutélaires :

- -6 % par an entre 2010 et 2020 pour tenir compte de la diminution des émissions de polluants ;
- + 0,34 % entre 2010 et 2020⁵ pour tenir compte de l'évolution annuelle du PIB par tête attendue sur cette période ;
- + 2,04 % entre 2020 et 2030 pour tenir compte de l'évolution annuelle du PIB.

⁴ Fiche technique : Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique. Instruction du Gouvernement du 3 mai 2019 relative à l'évaluation des projets de transport. Elle annule et remplace l'instruction-cadre du 24 mars 2004, mise à jour le 27 mai 2005, relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport.

⁵ <https://data.oecd.org/fr/gdp/previsions-du-pib-a-long-terme.htm> : hypothèse d'une évolution constante du PIB entre 2015 et 2020 puis entre 2020 et 2030 – A noter qu'il s'agit ici de projections de l'OCDE ne prenant pas en compte les effets de la crise sanitaire liée à la COVID-19.

A partir des données présentées dans les précédents tableaux (exposant les distances parcourues dans le domaine d'étude et les données de trafics), les coûts collectifs dus au trafic automobile peuvent être évalués. Le **tableau 10** présente donc les résultats en euros par jour ainsi calculés.

Tableau 10. Coût journalier de la pollution sur les tronçons considérés

Type	Unités	SA 2018	Horizon 2030	
			SP (sans projet)	AP (avec projet)
Tous véhicules confondus	€2015/km/j	4783	6469	6784

La prise en compte des coûts liés à la pollution montre que la mise en place du projet, en 2030, entraîne une augmentation des coûts collectifs (de l'ordre de 5 %). Néanmoins, cette évolution reste cohérente avec l'augmentation du trafic automobile (accroissement du nombre de véhicules et du linéaire en lien avec la création de la ZAC). Il est à noter que la plus forte hausse est constatée entre la situation actuelle et les situations futures et non pas suite à la mise en place du projet.

6.3.2. Coûts liés à l'effet de serre

Les coûts liés à l'effet de serre sont estimés à partir du prix de la tonne de carbone⁶ donné dans la fiche technique de mai 2019 (Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique) et sont présentés dans le **tableau 11** ci-après.

Tableau 11. Coût annuel de la pollution

En 2018	En 2030	En 2040
53 €2015/tonne de CO ₂	246 €2015/tonne de CO ₂	491 €2015/tonne de CO ₂

Pour chaque scénario étudié, les émissions de CO₂ ont été calculées. Le CO₂ fait partie des principaux gaz à effet de serre et le principal en quantité⁷.

Les coûts liés à l'effet de serre peuvent donc être calculés en appliquant les coûts de la tonne de carbone aux émissions de CO₂. Le **tableau 12** présente les coûts pour les différents scénarios et les évolutions constatées.

⁶ 53 €2015 la tonne de CO₂ en 2018 / 246 €2015 la tonne de CO₂ en 2030 / 491 €2015 la tonne de CO₂ en 2040. Ces valeurs reprennent les recommandations retenues par « France Stratégie, La valeur de l'action pour le climat, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, 190p ». Son niveau reflète la valeur estimée requise à ce stade pour respecter les engagements de la France et de l'Europe. La valeur tutélaire du carbone évolue selon un rythme linéaire entre 2018 et 2030 ainsi qu'entre 2030 et 2040. Au-delà de 2040, le coût du carbone augmente au rythme de 4,5 % par an pour atteindre 763 €2015 en 2050 et 1184 €2015 en 2060. Cette valeur reste constante à 1184 €2015 au-delà de 2060.

Taux de croissance moyen annuel théorique 2018-2030 : $(((246/53)^{(1/12)})) * 100 - 100 = 13,65 \%$.

Taux de croissance moyen annuel théorique 2030-2040 : $(((491/246)^{(1/10)})) * 100 - 100 = 7,16 \%$.

⁷ Il sert aussi de référence dans l'estimation du potentiel de réchauffement global de chaque gaz (son PRG étant égal à 1).

Tableau 12. Coûts annuels liés à l'effet de serre (k€2015/an)

Type	Unités	SA 2018	Horizon 2030		Variation entre SP et AP
			SP (sans projet)	AP (avec projet)	
Tous véhicules confondus	k€2015/an	140	773	829	▲ 7,2 %

On constate une augmentation significative entre 2018 et 2030 en raison de l'augmentation du coût de la tonne de carbone (près de 14 % tous les ans jusqu'en 2030). Aux horizons futurs, la mise en place du projet aura toutefois également une incidence sur les coûts liés à l'effet de serre, en raison de l'augmentation des trafics et du linéaire liés au projet. La variation est équivalente à celle des émissions puisque les coûts liés à l'effet de serre sont basés directement sur les émissions de CO₂.

7. APPRECIATION DES IMPACTS DU PROJET EN PHASE CHANTIER

La mise en service d'un projet passe par une phase chantier plus ou moins importante. Les différentes sources de pollution atmosphériques possibles durant cette phase sont les suivantes :

- **Pollution issue des gaz d'échappement des engines** : ce sont principalement des engines diesel mobiles - tels que les engines de terrassement, compacteurs, tombereaux, etc.... - ou fixes – tels que les compresseurs, les groupes électrogènes, les centrales d'enrobage, etc.... Ces engines émettent à l'atmosphère de nombreux polluants liés à la combustion du carburant (NOx, composés organiques volatils, particules fines...). Cette source de pollution peut être limitée en utilisant des véhicules aux normes (échappement et taux de pollution).
- **Pollution liée aux procédés de travail mécaniques** : il s'agit des émissions de poussières et d'aérosols issues de sources ponctuelles ou diffuses sur les chantiers (utilisation de machines et d'appareils, transports sur les pistes, travaux de terrassement, extraction, transformation et transbordement de matériaux, vents tourbillonnants, etc.). Elles concernent les activités poussiéreuses telles que ponçage – fraisage – perçage – sablage – taille – aiguisage – extraction – concassage – broyage – jets en tas – rejets (au bout du tapis roulant) – tri – tamisage – chargement/déchargement – saisissement – nettoyage – transport. Ce type d'activité entraîne principalement des envols de poussières qui altèrent la qualité de l'air et salissent les parcelles et façades environnantes, ces poussières peuvent être très mal perçues par le voisinage. Cette source de pollution peut être limitée en arrosant les routes de chantier par temps sec et venteux, en appliquant un fond de roulage sur les routes de chantier, ou encore en bâchant les stocks et les camions.
- **Pollution liée aux procédés de travail thermiques** : il s'agit des procédés de chauffage (pose de revêtement) – découpage – enduisage à chaud – soudage – dynamitage, qui

dégagent des gaz et des fumées. Sont particulièrement concernées les opérations telles que préparation (à chaud) du bitume (revêtements routiers, étanchéités, collages à chaud), ainsi que les travaux de soudage. Le traitement de produits contenant des solvants ou l'application de processus chimiques (de prise) sur les chantiers dégage notamment des solvants (activités : recouvrir – coller – décaper – appliquer des mousses – peindre – pulvériser). Cette pollution génère également des odeurs qui peuvent gêner les populations avoisinantes.

- **Pollution liée aux modifications de circulation induites par le chantier** : il s'agit de la pollution supplémentaire engendrée indirectement par le chantier du fait des phénomènes de congestion (une vitesse de circulation des véhicules entraîne une augmentation de la consommation de carburant et donc des émissions atmosphériques), des reports de trafic sur d'autres voies (déplacement de la pollution vers d'autres voies de circulation existantes).

8. MESURES COMPENSATOIRES

La note méthodologique de février 2019 précise que dans le cadre de la thématique AIR les mesures d'évitement sont à privilégier afin de réduire l'exposition des populations présentes dans le domaine d'étude. *Cet aspect est particulièrement important pour car les connaissances et les méthodologies actuelles permettent difficilement de corriger un éventuel impact sanitaire lié à la pollution de l'air. Il n'existe pas de mesures compensatoires pour l'air connues à ce jour dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables.*

Dans le cadre de cette étude, le déroulement de la méthodologie a montré que le projet était à l'origine d'une augmentation des émissions. Le projet consistant à créer des logements en bordure de voie. Certaines actions peuvent être alors envisagées pour limiter la pollution à proximité d'une voie donnée comme :

- La réduction des émissions en phase travaux : les impacts potentiels ont été listés dans le chapitre précédent mais le choix de la période de travaux reste un moyen efficace pour limiter l'exposition (par exemple privilégier les vacances scolaires afin d'éviter la fréquentation des établissements scolaires à proximité) ;
- La réduction des émissions polluantes à la source (modification des conditions de circulation : régulation des vitesses à certaines périodes ou en continu, restrictions pour certains véhicules etc.) ;

Outre ces mesures de réductions des impacts, **il convient également de rappeler que dans le cadre de ce projet, la création de nombreux espaces végétalisés et la présence à terme de zones arborées sur le site du projet contribuera à limiter la dispersion des polluants vers les principales résidences.** Il est ainsi recommandé de privilégier ces écrans végétalisés comme interface entre les zones habitées et les zones émettrices de pollution afin de limiter la diffusion des polluants particuliers.

Suite à l'aménagement du projet, afin d'informer les populations, le suivi ponctuel des concentrations (en NO₂ mais également des autres polluants réglementés) dans l'air sur les habitations les plus proches du projet fait partie intégrante de la démarche de mise en œuvre de mesures compensatoires. L'information sur la qualité de l'air peut ainsi être réalisée dans le cadre des missions de l'AASQA locale sans revêtir de caractère obligatoire. A titre d'exemple, HAWA mettra prochainement à disposition sur son site internet des simulations de la qualité de l'air sur Mayotte qui pourront être consultées sur leur site internet (<https://www.hawa-mayotte.fr/page/catographie>).

9. BILAN GENERAL

Dans le cadre du dossier d'étude d'impact du projet de création de la ZAC de Doujani sur la commune de Mamoudzou (Mayotte), une étude « Air » est réalisée selon les orientations données dans le guide technique de 2019. L'étude a été décomposée en deux phases distinctes :

- Phase 1 : Diagnostic de l'état initial du site ;
- Phase 2 : Qualification de l'état futur, des effets des infrastructures routières les plus proches du projet sur les émissions.

L'étude a été réalisée dans un domaine constitué par les tronçons traversant le village de Doujani, de la RN2 à l'est, et de la rue de la carrière dans le cadre du projet d'extension de la ZAC à l'ouest du village. **La ZAC de Doujani, conformément aux orientations données dans la notice AVP de 2023, intègre de nouvelles voies telles que la route de la Crête et la rue des Coteaux permettant une meilleure desserte du projet tout en augmentant le linéaire parcouru.**

Diagnostic de l'état initial

Une première étape dans la description de l'environnement du projet consistait à évaluer la sensibilité du site d'étude en matière d'exposition à la qualité de l'air. Les « sites sensibles » les plus proches sont constitués par les écoles situées dans la rue Boura-Daho. Le secteur d'étude reste relativement peu dense notamment sur sa partie ouest (au-delà du village de Doujani) puisqu'il s'agit essentiellement d'urbaniser une zone encore non exploitée.

La seconde étape a permis de mettre en avant l'absence de sources de pollution industrielle potentielle. Outre les sources ponctuelles participant au bruit de fond urbain (brulis locaux, exploitation forestière, etc.), l'accent s'est porté principalement sur les infrastructures de transports qui sont situées à proximité immédiate du site. Ainsi la source linéique de polluants la plus proche est constituée par la RN2 bordant Doujani à l'est.

Une analyse bibliographique des concentrations mesurées par HAWA Mayotte, a permis de qualifier de manière préliminaire l'état initial de la qualité de l'air. Au vu du contexte émissif précédemment évoqué, les concentrations en dioxyde d'azote, traceur de l'activité routière, sont en moyenne annuelle inférieures aux objectifs de qualité relatifs à l'air. La qualité de l'air de zone d'étude, au niveau

de la future ZAC de Doujani, pourrait être appréciée à travers la lecture des résultats obtenus sur la station de Vahibé (station de fond rural) mais également de ceux de la station Cavani (station trafic) située au sud de la ville de Mamoudzou. Dans les deux cas, les concentrations (bien que plus élevées sur Cavani) respectent de manière indicative les valeurs réglementaires en vigueur pour les polluants traceurs de l'activité automobile. Ce constat est confirmé par des mesures effectuées par CYATHEA et EVADIES en 2021 au droit d'un projet similaire situé à Tsararano. Le projet de ZAC à Doujani s'inscrirait donc dans un milieu non dégradé pour le NO₂, traceur de l'activité routière.

Bilan des émissions

Entre la situation actuelle et les situations futures 2030, le trafic subit une augmentation du trafic routier. Certaines émissions de polluants bénéficient toutefois positivement des limites toujours plus contraignantes des normes EURO en termes d'émissions. Cela impacterait principalement les polluants gazeux tels que le dioxyde d'azote, le benzène, les composés organiques volatils ainsi que les particules les plus fines telles que les PM_{2.5}.

En 2030, la création de la ZAC, génère du trafic supplémentaire. Cette augmentation génère *de facto* une hausse des émissions routières de l'ordre de 6 à 7 % selon le polluant considéré. En matière de bilan émissif global, la mise en place du projet aura donc une incidence défavorable mais qui demeure non significative. Cet impact est notamment mis en évidence en examinant les différents tronçons de manière individuelle qui ne soulignent pas de variations significatives aussi bien pour des axes principaux comme la RN2 que pour des axes secondaires tels que la rue de la Carrière qui constituera la desserte de l'extension de la ZAC à l'ouest.

Il faut également retenir que cette hausse des émissions ne sera pas forcément pas corrélée à une augmentation significative des concentrations.

Limites de l'étude

Le niveau d'étude ne met pas en œuvre la réalisation de modélisation atmosphérique. L'impact de l'augmentation des émissions sur les concentrations ne peut donc être quantifié. Toutefois, une étude analogue a été réalisée en 2021 sur le projet de ZAC à Tsararano-Dembéni et a montré qu'une augmentation des émissions n'entraînait pas de dépassements des objectifs de qualité de l'air sur la base de modélisations. Le projet de Doujani étant relativement similaire en termes de trafics et d'émissions à l'état actuel (par la présence de la RN2), ce retour d'expérience permet de s'attendre à des conclusions équivalentes.

Impact du projet

L'ensemble des paramètres étudiés au regard des critères de la qualité de l'air et de la santé montrent que le projet d'écoquartier de Doujani et les trafics qui en résultent seront à mettre en relation avec une hausse des émissions polluantes. Cette hausse reste toutefois faible (< 10 %) et à relativiser puisque le bilan émissif global AVEC projet demeure toujours plus favorable que celui effectué en situation actuelle (notamment pour le NO₂, traceur de l'activité routière).

LE BUREAU D'EXPERTISE EVADIES
VOUS REMERCIE DE VOTRE
COLLABORATION

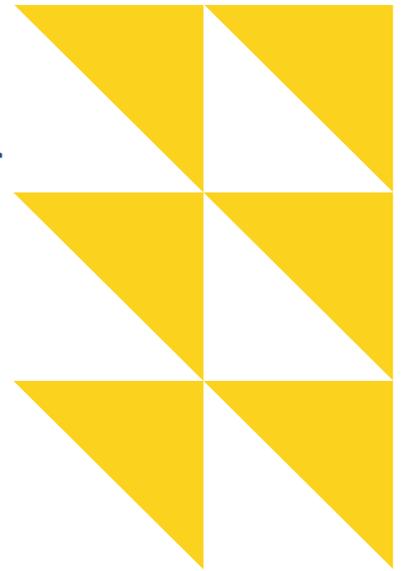
*Ensemble préservons
l'environnement de
demain !*



Evaluation & Diagnostic
Impact / Environnement / Santé

Annexe 9 : Management environnemental de chantier

Réalisation : Cyathea





Management environnemental d'un chantier



Cyathea – Juin 2019

SOMMAIRE

Généralités sur l'organisation	3
Marché de Travaux : Consultation des entreprises.....	3
Marché complémentaire : AMO Mission de coordination et de suivi environnemental du chantier.....	3
Saisonnalité du chantier.....	4
Formation et sensibilisation du personnel de chantier.....	4
Pièces environnementales	5
1. Phase de consultation des Entreprises	5
Notice environnementale et Charte « Chantier Vert »	5
2. Phase de dépôt et d'analyse des offres	5
Schéma Organisation du Plan Assurance Environnement (SOPAE)	5
Schéma Organisationnel de Gestion et d'Élimination des Déchets (SOGED)	6
3. Phase de préparation et d'exécution du chantier.....	6
Plan Assurance Environnement (PAE)	6
Plan de Gestion et d'Élimination des Déchets (PGED)	8
Plan Installation de Chantier (PIC).....	8
Journal de l'Environnement (JE).....	9
Les acteurs du chantier	10
Le Maître d'Ouvrage (MO)	11
Le Maître d'Œuvre (MOE)	11
L'entreprise (ENT)	12
Le Coordinateur Environnemental (CE)	13

Prescriptions environnementalesErreur ! Signet non défini.

Généralités sur l'organisation

Pièces environnementales

Acteurs du chantier



Généralités sur l'organisation

Marché de Travaux : Consultation des entreprises

Constitution du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)

La notice environnementale (ou sous la forme d'une charte de « chantier vert ») peut être jointe au Dossier de Consultation des Entreprises. Le résumé non technique peut l'être également optionnellement.

Par ailleurs, les engagements du Maître d'Ouvrage (MO) en matière d'environnement via les prescriptions des dossiers de DUP et Loi sur l'eau sont retranscrites dans les pièces contractuelles du marché de travaux, notamment le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP).

Des pénalités spécifiques sont prévues en cas de non-respect des clauses environnementales, traduites dans le Cahier des Clauses Administratives Particulières (CCAP).

Dépôt de l'offre

L'engagement des entreprises candidates sur le plan environnemental est formalisé lors du dépôt de leur offre au travers :

- d'un Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Environnement (SOPAE) ;
- d'un Schéma Organisationnel de Gestion et d'Élimination des Déchets (SOGED).

En effet, les dispositions proposées par l'entreprise pour le respect de l'environnement participent aux critères de notation des candidats, pour le choix de l'attribution du marché.

Attribution du marché : obligations de l'entreprise

L'entreprise titulaire du marché de travaux est tenue de désigner un responsable environnement. Il est chargé de rédiger le Plan d'Assurance Environnement (PAE) et d'en assurer la bonne application. Il est l'interlocuteur privilégié du Maître d'Œuvre et du contrôle extérieur sur les sujets à teneur environnementale.

Marché complémentaire : AMO Mission de coordination et de suivi environnemental du chantier

Le suivi environnemental du chantier, sous la forme d'une Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) est une mission confiée par la MO indépendamment du marché de travaux.

Il est également chargé de réaliser une notice environnementale pour la constitution des pièces pour le marché de travaux.

Plus précisément, les missions par cette AMO sont :

- **L'examen et l'analyse des offres des entreprises candidates :**

Le PAE et SOGED sont analysés en les confrontant aux attentes environnementales, communiquées dans les pièces du marché.

- **L'examen et l'analyse des pièces environnementales de l'entreprise retenue**

Durant la période de préparation du chantier, l'entreprise titulaire du marché de travaux est tenue de compléter et de détailler les pièces environnementales fournies au stade de l'offre, en précisant les moyens et procédés qu'elle met en place concrètement.

- **Le contrôle de l'application des exigences environnementales dans le cadre d'un suivi de chantier**

Un suivi environnemental est réalisé pour s'assurer de la bonne application des mesures d'intégration environnementale, notamment pour la gestion des déchets de chantier et la maîtrise des pollutions et nuisances inhérentes au chantier.

- **L'assistance dans le cadre de la réception et bilan**



Saisonnalité du chantier

La période des travaux est calée en tenant compte de différents paramètres :

- La saison des pluies (& phénomènes cycloniques) ;
- Le cycle de reproduction des espèces patrimoniales présentes sur le site.

Les risques de vents violents et de fortes pluies peuvent avoir des conséquences néfastes sur les terrassements, les renforcements de talus qui seraient en cours de réalisation (lessivage des sols...).

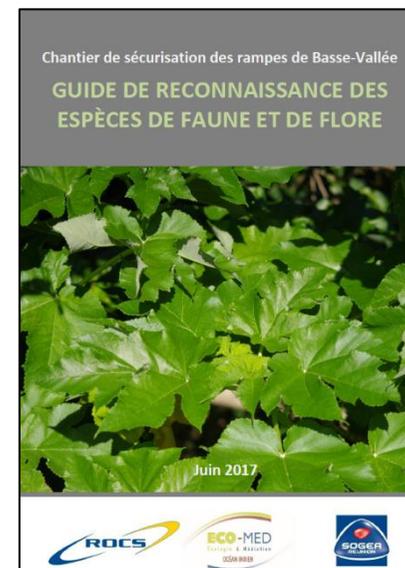
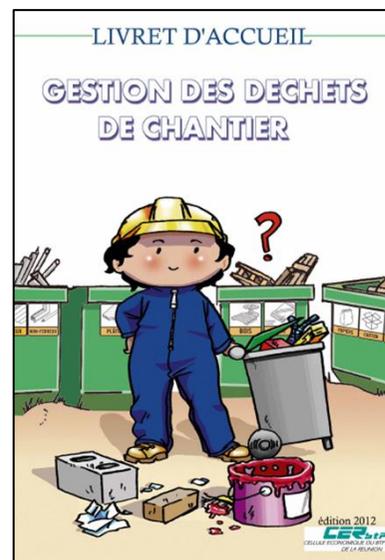
Formation et sensibilisation du personnel de chantier

L'entrepreneur doit organiser des séances d'information et de formation de son personnel et de celui de ses sous-traitants. Celles-ci ont lieu au démarrage des travaux et tout au long du chantier.



Les principaux points à aborder sont décrits dans l'Annexe « Zoom sur les bonnes pratiques environnementales sur un chantier ».

Des guides et supports spécifiques peuvent être également élaborés à destination des intervenants pour une meilleure compréhension et garantir l'application efficace des prescriptions.



Pièces environnementales

1. Phase de consultation des Entreprises

Notice environnementale et Charte « Chantier Vert »

Objectif

La **notice environnementale ou la charte de « chantier vert » est réalisée** à destination des entreprises de travaux, dans le Dossier de Consultation des Entreprises. En effet, afin de garantir le respect des engagements du Maître d'Ouvrage en matière d'environnement, les prescriptions des dossiers « Etude d'impact », « Loi sur l'eau », « DUP » et autres « Dérogation espèces protégées » sont retranscrites dans les pièces contractuelles du marché de travaux. Des pénalités spécifiques sont notamment prévues en cas de non-respect des clauses environnementales.

Contenu

Celui-ci doit contenir :

- Le contexte réglementaire et bibliographique
- La description du site et présentation des enjeux environnementaux
- La présentation de la mission de coordination environnementale
- Le rôle de l'entreprise
- Les mesures de réduction des nuisances à mettre en œuvre dans le cadre du chantier
- La gestion et l'élimination des déchets
- les pénalités en cas de non-respect de l'environnement



2. Phase de dépôt et d'analyse des offres

Schéma Organisationnel du Plan Assurance Environnement (SOPAE)

Objectif

Le Schéma Organisationnel du Plan Assurance Environnement (SOPAE) est un engagement de l'entreprise à mettre en œuvre, si elle devient titulaire du marché.

L'engagement et les informations contenus dans le SOPAE doivent être en cohérence avec les exigences du marché et sont des éléments de décision pour le choix de l'offre, attributaire du marché.

Contenu

Celui-ci doit contenir :

- Les installations de chantier et l'organisation de la base de vie ;
- La filière de traitement des eaux de ruissellement ;
- La filière de traitement des eaux usées propres aux installations de chantier ;
- Les modes de stockage des produits non-polluants et polluants ;
- L'entretien, le ravitaillement et le stationnement des véhicules travaillant sur le chantier ;
- Les mesures de protections de l'environnement dans les différents domaines (emprises, cadre de vie, pollutions, circulation, patrimoine naturel, patrimoine...)
- Le chiffrage du coût des mesures environnementales prévues par l'entreprise.

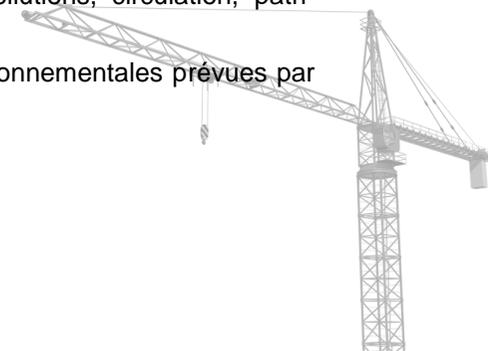


Schéma Organisationnel de Gestion et d'Élimination des Déchets (SOGED)

Objectif

Le SOGED constitue le document de référence pour tous les intervenants (Maître d'ouvrage, Entreprises, Maître d'Œuvre , ...) traitant spécifiquement la gestion des déchets du chantier.

Contenu

Au travers du SOGED, l'entreprise expose et s'engage sur :

- Le tri sur le site des différents déchets de chantier ;
- Les méthodes employées pour ne pas mélanger les différents déchets (bennes, stockage, localisation sur le chantier des installations, ...) ;
- Les centres de stockage et/ou centres de regroupement et/ou unités de recyclage vers lesquels sont acheminés les différents déchets, en fonction de leur typologie et en accord avec le gestionnaire devant les recevoir ;
- L'information, en phase travaux, du Maître d'Œuvre et du Coordinateur Environnemental quant à la nature et à la constitution des déchets et aux conditions de dépôt envisagées sur le chantier ;
- Les modalités retenues pour assurer le contrôle, le suivi et la traçabilité (remise de bordereaux de déchets);
- Les moyens matériels et humains mis en œuvre pour assurer ces différents éléments de gestion des déchets.

3. Phase de préparation et d'exécution du chantier

Les PAE/PGED peuvent être mis à jour autant que nécessaire pendant toute la durée des travaux.

Plan Assurance Environnement (PAE)

Objectif

Le Plan d'Assurance Environnement (PAE) est une pièce contractuelle élaborée par l'entreprise pendant la préparation du chantier. Il concrétise les engagements exposés dans le SOPAE.

Le PAE permet d'expliciter la démarche environnementale mise en œuvre par l'entreprise et doit notamment comprendre toutes les propositions que l'entrepreneur doit faire après la signature du marché, en dehors des études d'exécution, du programme d'exécution des travaux et du projet des installations de chantier, ainsi que des annexes à ces documents

Contenu

Son contenu est adapté en fonction des enjeux environnementaux du site, des risques de nuisances induites et des recommandations du Maître d'Ouvrage, Maître d'œuvre et Coordinateur Environnemental.

Spécifique au chantier, il répond à une obligation contractuelle. Il doit sous la forme de procédures d'exécution, préciser les moyens et procédés que l'entreprise met en place pour prévenir les risques vis-à-vis de l'environnement, pour intervenir en cas d'accident et pour remédier aux impacts éventuellement générés par le non-respect des prescriptions environnementales.

