SAS LA SURBOISIÈRE

Projet de lotissement « La Surboisière 1 & 2 » à Haute-Goulaine (44)

Évaluation environnementale

Rapport

Réf : CICELB172047 /RICELB00628-01

PLJ / DN / MCN

31/05/2018

GINGER BURGEAP

ANNEXES

Annexe 1. Mission d'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en EnR&R

Annexe 2. Liste des espèces floristiques observées sur site

Annexe 3. Description des sondages pédologiques réalisés sur site

Annexe 4. Campagne de mesures acoustiques et comptages routiers (ALHYANGE, mars 2018)

Annexe 1. Mission d'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en EnR&R

Haute Goulaine (44)

Évaluation environnementale

Ce rapport a été rédigé avec la collaboration de :

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
01	30/05/2018	01	D.PIONA	DAPI	C.DEJARDIN	CDN	M. COHEN	MCN

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CICELB172047 /RICELB00628-01
Numéro d'affaire :	A43667
Domaine technique :	ER07
Mots clé du thésaurus	ENERGIE RENOUVELABLE

Agence Loire-Bretagne • 9, Rue du Chêne Lassé – 44800 Saint-Herblain Cedex
Tél : 02.40.38.67.06 • Fax : 02.40.85.68.50 • agence.de.nantes@burgeap.fr

1. Résumé non technique à l'attention des décideurs

La présente étude a pour objet d'étudier la faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables du projet d'aménagement d'un quartier pavillonnaire présenté par FRANCELOT dans la commune de Haute Goulaine (44). Elle répond à l'obligation réglementaire issue de l'article L300-1 du code de l'Urbanisme, qui prévoit qu'une telle étude accompagne tout projet d'aménagement soumis à étude d'impact.

Notons que l'étude ne comprend pas le poste « transports », source potentiellement importante de consommation énergétique au vu de l'emplacement et de la nature du projet.

Cette mission se déroule en deux temps :

- **Un volet diagnostic**, qui comprend :
  - L'analyse de besoins énergétiques du projet, estimés à **505 MWh/an pour le chauffage**, **510 MWh/an pour l'ECS**, **180 MWh/an pour l'électricité spécifique réglementaire** (éclairage et auxiliaires de chauffage et ventilation), et **555 MWh/an pour l'électricité spécifique non réglementaire**.
  - Une analyse du potentiel en énergies renouvelables du site, qui a permis d'identifier la pertinence de l'**aérothermie, du solaire thermique et du bois-énergie ;**

- **Un volet préfaisabilité**, qui compare trois scénarios « renouvelables » avec un scénario conventionnel, selon des critères techniques, économiques et environnementaux :

  - Scénario 1 / référence : **chaudières gaz à condensation** en pied d'immeuble pour les collectifs et individuelles pour les maisons.

  - Scénario 2 / **panneaux solaires thermiques** pour l'ECS : l'installation sera individuelle pour les maisons et mutualisée pour les collectifs et MIG (exemple : 1 quattro de MIG avec un seul ballon tampon de grand volume afin d'obtenir un gain foncier, une optimisation technique et financière). **Chaudières gaz à condensation** pour le chauffage et l'appoint ECS.

  - Scénario 3 / **chaudières automatiques à granulés de bois** en pied d'immeuble pour les collectifs et **insert à pellets individuels** avec échangeur à eau pour les logements individuels (la circulation d'eau permet d'assurer une bonne homogénéisation de la température)

  - Scénario 4 / **pompes à chaleur air/eau** (en garage/sous-sol)

L'étude économique a montré que si l'investissement des solutions ENR est plus élevé que la référence (+85% à +130%), les dépenses réduites en énergies permettent d'obtenir un coût global à 20 ans inférieur.

En particulier, le scénario 2 (panneaux solaires thermiques et appoint par chaudières au gaz) nous parait être intéressant du point de vue du rapport investissement / performance environnementale. Et les systèmes solaires installés pour les logements collectifs seraient éligibles au Fonds Chaleur de l'ADEME qui soutiendrait l'investissement à hauteur de 30%.

Tous les scénarios ENR étudiés permettent une réduction importante des émissions de gaz à effet de serre par rapport à la référence (-25% à -95%).

A court terme, et concrètement, il convient :

- De se positionner sur les différentes options énergétiques proposées, ou d'éventuelles variantes.
- En fonction des choix :
  - De se rapprocher du fournisseur de gaz de la ville de Haute Goulaine afin d'avoir confirmation de la possibilité du raccordement de la zone au réseau de gaz, ainsi que du montant de l'investissement que cela représente.
  - De se rapprocher des fournisseurs de biomasse aux alentours pour vérifier avec eux les modalités contractuelles et financières de la fourniture.

SOMMAIRE

1. Résumé non technique à l'attention des décideurs 5
2. Introduction 10
2.1 La (petite) histoire des hydrocarbures 10
2.2 Effet de serre, réchauffement planétaire et changements climatiques 11
2.3 Notre vision de la problématique énergétique 12
2.4 Contexte réglementaire 13
2.4.1 La loi Grenelle 13
2.4.2 La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte 13
3. Méthodologie 14
4. Caractéristiques du projet 16
4.1 Périmètre d'étude 16
4.2 Données collectées et scénario d'aménagement 16
4.2.1 Scénario d'aménagement 16
4.2.2 Stratégie énergétique locale 17
4.3 Caractérisation des besoins 18
4.3.1 Energie primaire, finale et utile 18
4.3.2 Choix du niveau de performance thermique 18
4.3.3 Recours au froid 19
4.3.4 Besoins du site 19
5. Analyse du potentiel en Energies Renouvelables et de Récupération 21
5.1 L'énergie hydraulique 21
5.2 L'énergie solaire 21
5.2.1 Données climatiques et gisement 22
5.2.1 Le solaire photovoltaïque 23
5.2.2 Le solaire thermique 25
5.3 L'énergie éolienne 26
5.3.1 Grand éolien (puissance > 350 kW) 26
5.3.2 Moyen et Petit éolien 26
5.4 La combustion de biomasse 26
5.4.1 Le bois énergie 27
5.4.2 Biomasse agricole 27
5.5 Le biogaz 28
5.5.1 Valorisation des déchets 28
5.5.2 Valorisation des sous-produits agro-alimentaires 28
5.6 La géothermie 28
5.6.1 Code minier 29
5.6.2 La géothermie sur nappe 30
5.6.3 La géothermie sur sonde 30
5.7 Récupération de chaleur sur eaux usées 31
5.7.1 Installation collective (à l'ilot) 31
5.7.1 Installation individuelle (au bâtiment) 31
5.7.2 Installation individuelle (au logement) 31
5.8 L'aérothermie 31
5.9 La cogénération 31
5.10 Les réseaux de chaleur ou de froid 32
5.10.1 Raccordement à un réseau existant 32
5.10.2 Création 32
5.11 Synthèse de l'analyse de potentiel en EnR 33

6. Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus 35
7. Dimensionnements techniques 37
7.1 Scénario 1.....37
7.2 Scénario 2.....37
7.3 Scénario 3.....37
8. Approche économique des scénarios ENR.....38
8.1 Investissement 38
8.2 Analyse économique en coût global 38
8.2.1 Hypothèses économiques 38
8.2.2 Analyse en coût global.....39
8.3 Analyse environnementale 40
9. Conclusion.....41

TABLEAUX

Tableau 1 : surfaces de plancher du projet 17
Tableau 2 : surface de panneaux 22
Tableau 3 : synthèse de l'analyse du potentiel du site en énergies renouvelables et de récupération 33
Tableau 4 : synthèse du comparatif des différents scénarios 41

FIGURES

Figure 1 : consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent pétrole de 1860 à nos jours (source : Schilling & al., AIE, BP statistical review et Observatoire de l'Energie) 10
Figure 2 : l'histoire très résumée du pétrole conventionnel 11
Figure 3 : évolution de la température moyenne planétaire (°C) selon émissions (source : GIEC, AR4) 11
Figure 4 : évolution de température moyenne pour le scénario A1B (Source : GIEC, AR4) 12
Figure 5 : situation géographique du projet 16
Figure 6 : plan d'aménagement du projet.....17
Figure 7 : schéma de la chaîne énergétique 18
Figure 8 : besoins surfaciques en énergie des bâtiments du projet (kWh/m²/an) 19
Figure 9 : besoin en énergie des bâtiments du projet (MWh) 20
Figure 10 : cours d'eau (Source : Géoportail).....21
Figure 11 : ensoleillement moyen annuel à Haute Goulaine en kWh/m²/an (source : PVGIS) 22
Figure 12 : toitures propices à l'installation de panneaux pour les MIG et logements collectifs 23
Figure 13 : bilan énergétique autoconsommation d'une installation PV 25
Figure 14 : répartition annuelle théorique des besoins d'un logement et des apports solaires 25
Figure 15 : Types d'installations géothermiques 29
Figure 16 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur nappe (Source : BRGM/géothermie-perspectives.fr) 29
Figure 17 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur sonde (Source : BRGM/géothermie-perspectives.fr).....30
Figure 18 : Besoins en puissance de chauffage et ECS du projet 37
Figure 19 : coût global annualisé des différents scénarios étudiés 39
Figure 20 : impacts environnementaux comparés des différents scénarios 40

2. Introduction

L'analyse préliminaire de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables est initiée avec les premières étapes d'un projet d'aménagement.

Cette analyse doit permettre :

- d'identifier les énergies renouvelables ayant un potentiel de développement à l'échelle de l'opération d'aménagement dès l'avant-projet afin de prévoir leur intégration ;
- de savoir si les projets d'approvisionnement énergétiques associés à ces énergies sont réalisables ;
- d'évaluer les conditions de leur rentabilité.

Il s'agit donc de faire émerger, selon une analyse multicritère (technologie, contraintes de mise en œuvre, investissement, coût global, coût environnemental, etc.), les projets les plus pertinents pour maximiser la part d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'approvisionnement de l'aménagement.

Le présent rapport constitue un guide à destination de l'aménageur. Pour les scénarios d'approvisionnement jugés pertinents à la suite de cette étude, le maître d'ouvrage peut alors procéder à une étude de faisabilité type avant-projet qui fournit avec plus de détails les capacités du gisement, les coûts et les bénéfices du ou des scénarios d'approvisionnement retenus.

Après un bref rappel des enjeux énergétiques et climatiques à la base des évolutions de la réglementation, nous détaillerons la méthodologie que nous avons appliquée à ce projet.

2.1 La (petite) histoire des hydrocarbures

Les hydrocarbures que nous utilisons ont été constitués à partir de matière organique sédimentée principalement lors du carbonifère (il y a 300 millions d'années). Ils sont utilisés significativement depuis la révolution industrielle, soit le XIXe siècle :

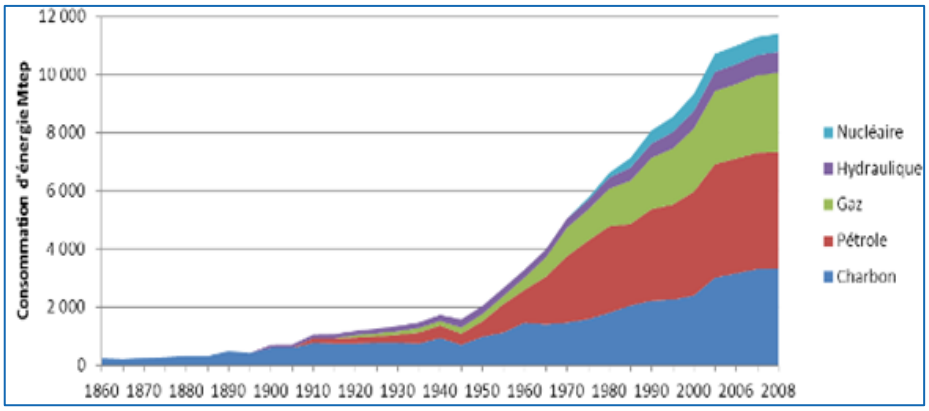


Figure 1 : consommation énergétique mondiale en million de tonnes équivalent pétrole de 1860 à nos jours (source : Schilling & al., AIE, BP statistical review et Observatoire de l'Energie)

Les réserves ultimes en pétrole conventionnel étant limitées, les découvertes de nouveaux champs ne peuvent continuer indéfiniment. L'histoire des hydrocarbures conventionnels peut se résumer ainsi :

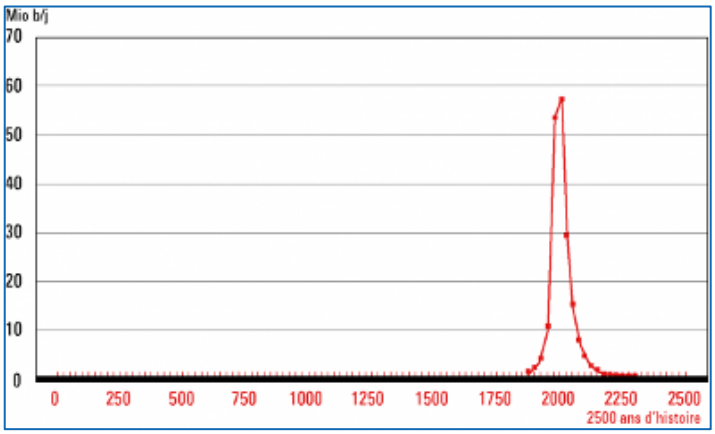


Figure 2 : l'histoire très résumée du pétrole conventionnel

La ressource du pétrole brut répond à une logique de marché : d'une part la loi offre/demande influe sur son prix à moyen terme, d'autre part les logiques spéculatives influent sur son prix à court et moyen terme. Ainsi, bien que les réserves prouvées (découvertes passées) équivalent à une quarantaine d'année de consommation actuelle, la pression du marché fait que son prix risque de restreindre son usage bien avant.

D'un autre côté, le prix de la ressource augmentant, de nouvelles technologies d'extraction de ressources, de valorisation d'énergie renouvelables ou d'efficacité énergétique deviennent compétitives. Ces technologies ne permettront cependant vraisemblablement pas de réduire les coûts d'accès à l'énergie.

2.2 Effet de serre, réchauffement planétaire et changements climatiques

La combustion des hydrocarbures génère du CO_2 dans l'atmosphère. Le CO_2, ainsi que d'autres gaz, absorbent préférentiellement les rayonnements infra-rouges. Ce type de rayonnement est le principal mode de dissipation énergétique du système terrestre. Le rayonnement ainsi absorbé par ces gaz est ensuite réémis, une part vers l'espace, l'autre part vers la planète. C'est par cette réémission en direction de la planète que se manifeste l'effet de serre.

De nombreuses modélisations de l'évolution du climat ont été menées, en prenant en compte divers scénarios de consommation d'hydrocarbures au cours des prochaines années.

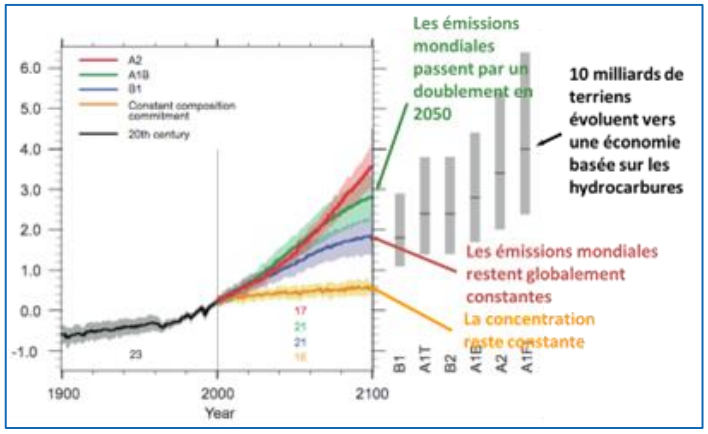


Figure 3 : évolution de la température moyenne planétaire (°C) selon émissions (source : GIEC, AR4)

Les évolutions de température terrestre connues par le passé (glaciations) et envisagées ne sont pas uniformes : on constate que les zones équatoriales conservent une température moyenne annuelle globalement constante : 26°C, y compris pendant les dernières glaciations ; les zones situées au-delà des 45èmes parallèles subissant des variations de température moyenne de l'ordre de 2 à 3 fois l'évolution de la température terrestre moyenne. Cet effet est renforcé dans l'hémisphère nord par rapport à l'hémisphère sud en raison de la répartition des terres émergées (moins d'homogénéisation thermique). On constate ci-après que pour ce scénario (évolution moyenne de +3,5°C à horizon 2100), les évolutions locales vont au-delà de +7°C :

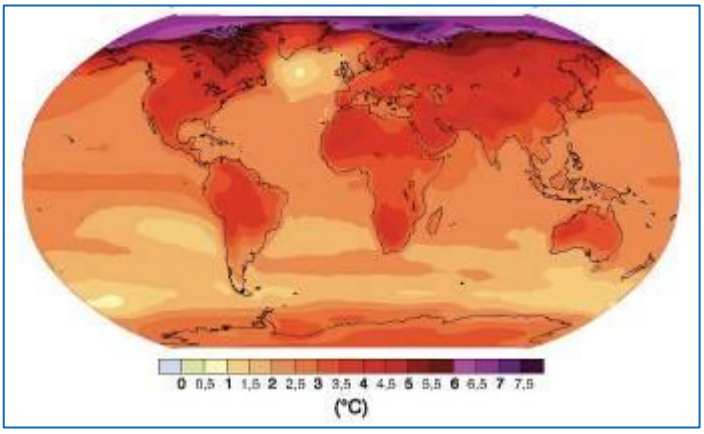


Figure 4 : évolution de température moyenne pour le scénario A1B (Source : GIEC, AR4)

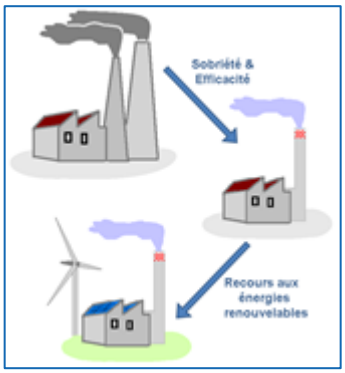
La pluviométrie s'en trouve affectée, ainsi que les climats, et les écosystèmes évoluent.

La communauté scientifique estime qu'au-delà de 2°C d'augmentation de température moyenne, des mécanismes interagissant avec le climat sont mis en œuvre de manière non réversible à nos échelles. Le niveau de concentration correspondant est de l'ordre de 550 ppm de CO_2. Le niveau actuel est de 400 ppm environ, avec une augmentation annuelle constatée de 2 à 3 ppm par an.

Pour arrêter de modifier le climat, il faudrait que l'humanité réduise à court terme par deux ses émissions de gaz à effet de serre (les écosystèmes absorbent actuellement la moitié du CO_2 émis, par photosynthèse et dissolution océanique). Soit des émissions restantes d'environ 2 tCO_2e par habitant. Les émissions territoriales de la France, ramenées à la population sont de 8,7 tCO_2e par habitant. Il nous faudrait donc diviser par 4 les émissions de GES à l'échelle de la France. Un objectif politique a été pris en 2003 par le gouvernement français de réaliser le "Facteur 4" à horizon 2050.

2.3 Notre vision de la problématique énergétique

Dans ce contexte énergétique et climatique particulier, le recours aux énergies renouvelables (EnR) doit être envisagé comme le dernier maillon d'une chaîne vertueuse visant à réduire les consommations d'énergies fossiles non renouvelables et relocaliser la production d'énergie. Il n'a de sens que si des actions prioritaires sont menées en amont sur les questions de sobriété et d'efficacité énergétique. On entend par sobriété énergétique la suppression des gaspillages par la responsabilisation de tous les acteurs, du producteur aux utilisateurs. L'efficacité énergétique quant à elle consiste à réduire le plus possible les pertes par rapport aux ressources utilisées. Ainsi les actions de sobriété et d'efficacité réduisent les besoins d'énergie à la source. Les EnR doivent alors être encouragées et favorisées pour satisfaire le solde des besoins d'énergie dans le but d'équilibrer durablement ces besoins avec les ressources disponibles et limiter le recours aux énergies non renouvelables. La présente étude s'inscrit dans cette démarche.



2.4 Contexte réglementaire

2.4.1 La loi Grenelle

La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, dite Grenelle I, établit le programme de mise en œuvre des conclusions de la consultation nationale sur la politique de l'environnement. Le texte est composé de 57 articles regroupés en 5 grands titres :

- Lutte contre le changement climatique
- Biodiversité, écosystème et milieux naturels
- Prévention des risques pour l'environnement et la santé, prévention des déchets
- Etat exemplaire
- Gouvernance, information et formation

L'article 8 de la présente loi, transcrit à l'article L300-1 du Code de l'Urbanisme stipule que «Toute action ou opération d'aménagement 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, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. ».

L'article 4 de la présente loi établit les grandes lignes de la Réglementation Thermique 2012, dont les modalités sont fixées par l'arrêté du 26 octobre 2010. Elle limite notamment à 50 kWh d'énergie primaire (modulable) la consommation maximale annuelle surfacique pour les usages suivants : chauffage et auxiliaires, eau chaude et auxiliaires, ventilation, climatisation et éclairage.

2.4.2 La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent doivent permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et de renforcer son indépendance énergétique en équilibrant mieux ses différentes sources d'approvisionnement.

Les objectifs de la loi précisent ou renforcent ceux établis par les lois Grenelle :

- Réduire nos émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 (facteur 4).
- Réduire notre consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012.
- Réduire notre consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012.
- Porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40 % de la production d'électricité.
- Diversifier la production d'électricité et baisser à 50 % la part du nucléaire à l'horizon 2025.
- Réduire de 50 % les déchets mis en décharge à l'horizon 2025.

3. Méthodologie

L'étude proposée par BURGEAP se déroule en deux phases :

- Diagnostic ;
  - Caractérisations des besoins énergétiques du projet (cahier 1),
  - Analyse du potentiel en énergies renouvelables et de récupération (cahier 1),
- Faisabilité ;
  - Pré dimensionnement (cahier 2)
  - Analyse multicritère (cahier 2).

CAHIER 1

4. Caractéristiques du projet

4.1 Périmètre d'étude

L'étude de faisabilité du potentiel de développement des EnR, notée « étude de faisabilité EnR » par la suite, concerne l'aménagement d'un terrain de 82 550 m² cessibles situé dans le secteur La Surboisière de la commune de HAUTE GOULAINE (44).

La figure ci-dessous illustre la situation du projet d'aménagement.

Figure 5 : situation géographique du projet

Le projet d'aménagement prévoit la construction de 163 logements.

4.2 Données collectées et scénario d'aménagement

4.2.1 Scénario d'aménagement

Ce projet inclut la construction d'environ 23 000 m² (SDP) de logements :

Tableau 1 : surfaces de plancher du projet

Ilot	Nombre	Total (m²)
Maisons individuelles groupées	44	3 500
Logements sociaux en collectif	56	3 500
Lots libres (logements individuels)	63	14 000

Le plan masse est présenté ici :

Figure 6 : plan d'aménagement du projet

4.2.2 Stratégie énergétique locale

Le SRCAE Pays de La Loire détermine les orientations à suivre pour préserver la qualité de l'air et lutter localement contre les changements climatiques, notamment pour réaliser le « facteur 4 » d'ici 2050 :

- Réduction des émissions de GES de 16% en 2020;
- Réduction de la consommation d'énergie de -23% en 2020 par rapport au scénario tendanciel et -47 % en 2050
- Couverture des consommations par des énergies renouvelables de 21% en 2020 et de 55% 2050.

4.3 Caractérisation des besoins

4.3.1 Energie primaire, finale et utile

Les concepts d'énergie primaire, finale et utile sont abondamment utilisés dans les problématiques énergétiques et doivent être clairement compris par le lecteur. Ils caractérisent les performances d'une filière énergétiques depuis l'amont (énergie primaire) jusqu'à l'aval (énergie utile).

On distingue ainsi :

- **énergie primaire** (en **kWh_{EP}**) : énergie brute (non transformée) puisée dans l'environnement (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, etc.). Concernant la production d'électricité à partir de combustible nucléaire, l'énergie primaire fait référence à la chaleur produite par le combustible avant transformation en électricité ;
- **énergie finale** ou disponible chez l'utilisateur (en **kWh_{EF}**) : énergie qui se présente sous sa forme livrée pour sa consommation finale (essence à la pompe, fioul ou gaz « entrée chaudière », électricité aux bornes du compteur, etc.) ;
- **énergie utile / besoin (en kWh_{EU})** : énergie qui réalise effectivement la tâche voulue pour l'utilisateur après la dernière conversion par ses propres appareils (rendement global d'exploitation). Dans le cas de la chaleur délivrée à l'usager, on parle souvent de besoins de chaleur.

Le schéma de la chaîne énergétique, présentant les divers jeux de conversion entre les différentes formes d'énergie, est disponible ci-dessous :

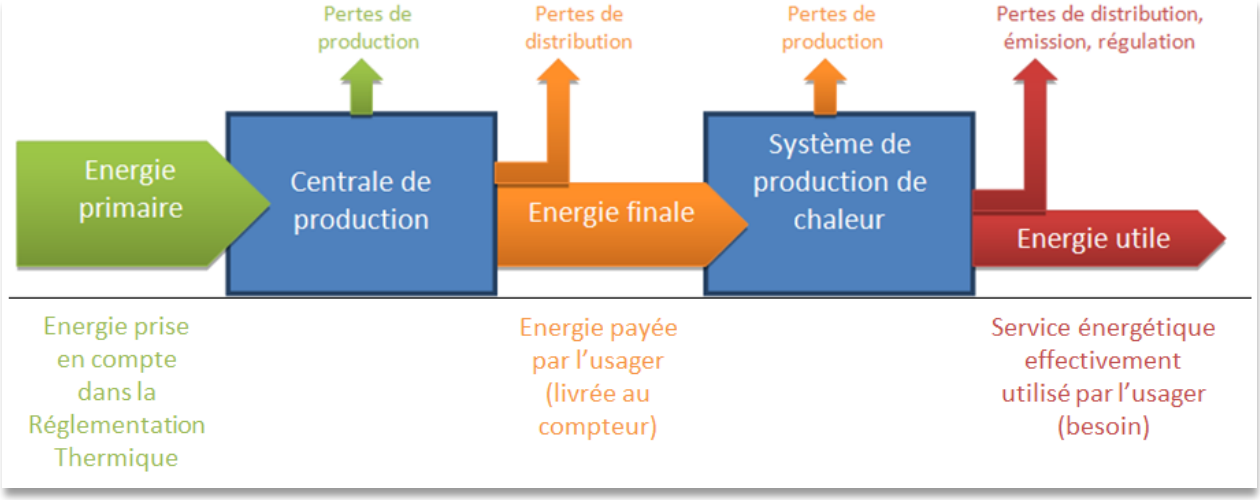


Figure 7 : schéma de la chaîne énergétique

4.3.2 Choix du niveau de performance thermique

Il a été choisi de travailler en base sur un **niveau de performance équivalent au niveau réglementaire RT 2012**.

La RT 2012 fixe une consommation maximale d'énergie primaire annuelle surfacique notée Cep_{max}, pour les usages suivants :

- la production de chaleur pour le chauffage,
- la production de chaleur pour l'Eau Chaude Sanitaire (ECS),

- la production de froid,
- l'électricité réglementaire : éclairage des locaux, auxiliaires de chauffages et de ventilation.

Ce facteur Cep_{max} est modulable en fonction du climat et de la solution d'approvisionnement énergétique retenue, etc. Cependant, la présente étude est centrée sur la production énergétique : pour que la comparaison garde un sens physique, il a été décidé ici de travailler avec des bâtiments de même performance thermique quelle que soit la solution étudiée (*i.e.* avec des besoins en énergie utile identiques).

De plus, la RT 2012 est un mode de calcul à part entière, qui vise moins à prévoir les consommations énergétiques du futur bâtiment qu'à mettre en place une méthode de calcul transposable.

Par soucis de présenter une analyse économique globale réaliste, les ratios utilisés sont des ratios qui correspondent à une conception RT 2012 (type et épaisseur d'isolant, surface vitrée, etc.) avec une consommation obtenue légèrement supérieure au seuil théorique autorisé, tendance souvent observée.

De surcroît, le respect de la RT 2012 impose le recours à une source d'énergie renouvelable pour les logements individuels.

4.3.3 Recours au froid

Aucun usage de climatisation n'est pris en compte dans les logements.

4.3.4 Besoins du site

L'estimation des besoins énergétiques est réalisée sur la base des ratios présentés ci-dessous :

	Logements individuels	Logements collectifs	Maisons individuelles groupées
Chauffage	25	18	20
ECS	20	30	25
Electricité réglementaire	8	8	8
Electricité non réglementaire	25	25	25

Figure 8 : besoins surfaciques en énergie des bâtiments du projet (kWh/m²/an)

Sur l'ensemble du projet, les besoins en MWh/an s'élèvent à environ :

- 505 MWheu/an en chauffage,
- 510 MWheu/an en ECS,
- 180 MWhef/an en électricité réglementaire (ventilation éclairage),
- 555 MWhef/an en électricité spécifique non réglementaire (électroménager, multimédia, etc.)*.

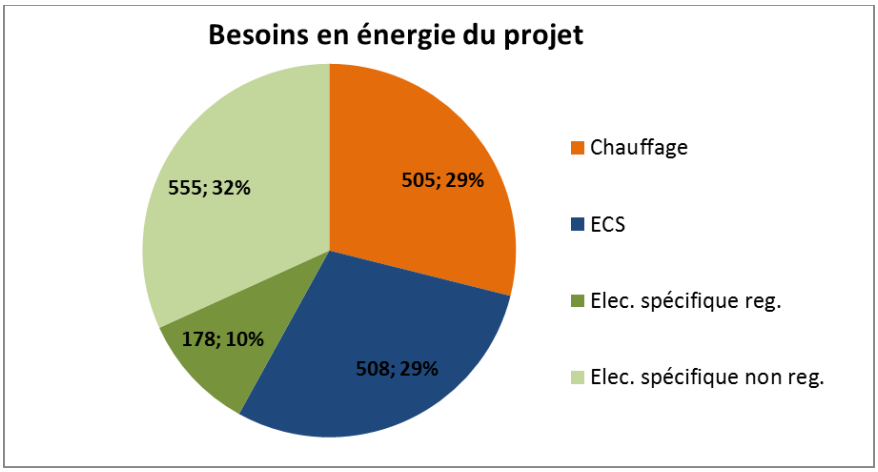


Figure 9 : besoin en énergie des bâtiments du projet (MWh)

** Ce poste est évidemment une estimation à considérer avec prudence, la consommation réelle étant très variable suivant le niveau de vie / d'équipement et le comportement des futurs usagers.*

5. Analyse du potentiel en Energies Renouvelables et de Récupération

5.1 L'énergie hydraulique

L'hydroélectricité est la première source renouvelable d'électricité en France métropolitaine en termes de production. Les installations hydroélectriques représentent en moyenne 12 à 14% de la production d'électricité (énergie) (soit 1/3 de l'énergie électrique renouvelable), et 25% de la capacité électrique installée (puissance) sur le territoire en 2015 (soit environ 25 000 MW).

Toutefois, aucun cours d'eau ne circule sur site.

Figure 10 : cours d'eau (Source : Géoportail)

5.2 L'énergie solaire

L'énergie solaire est présente partout (énergie de « flux »), intermittente (cycles journalier et saisonnier, nébulosité), disponible (pas de prix d'achat, pas d'intermédiaire, pas de réseau) et renouvelable. Cependant, elle nécessite des installations pour sa conversion en chaleur ou en électricité. Le caractère intermittent impose de se munir d'un système d'appoint pour assurer une production énergétique suffisante tout au long de la journée et de l'année.

Le présent rapport se focalise sur les technologies jugées pertinentes à l'échelle d'une opération d'aménagement : la production d'électricité par panneau solaire photovoltaïque et la production d'eau chaude sanitaire par panneau solaire thermique.

5.2.1 Données climatiques et gisement

A Haute Goulaine, le rayonnement solaire annuel reçu par une surface plane horizontale sans ombrages est d'environ 1 340 kWh/(an.m²) :

Fixed system: inclination=0°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.86	26.8	1.15	35.6
Feb	1.65	46.1	2.10	58.7
Mar	2.74	85.0	3.49	108
Apr	3.82	115	4.91	147
May	4.30	133	5.63	174
Jun	4.65	140	6.21	186
Jul	4.55	141	6.12	190
Aug	4.01	124	5.35	166
Sep	3.22	96.5	4.24	127
Oct	1.86	57.6	2.44	75.6
Nov	1.07	32.2	1.43	43.0
Dec	0.75	23.2	1.03	32.1
Yearly average	**2.79**	**85.0**	**3.68**	**112**
Total for year		**1020**		**1340**

Figure 11 : ensoleillement moyen annuel à Haute Goulaine en kWh/m²/an (source : PVGIS)

Inclinés à 35° et orientés sud-ouest, les panneaux peuvent recevoir un **rayonnement annuel atteignant 1 580 kWh/m²/an.** Ce potentiel se situe dans la moyenne nationale et permet d'étudier plus en détail l'utilisation de cette ressource. De plus l'absence de relief permet d'envisager favorablement le recours à cette technologie.

La surface de toiture disponible et l'ensoleillement sont à mettre en regard des rendements des systèmes de production énergétique afin de conclure s'il y a présence ou non d'un réel potentiel solaire.

Calcul de la toiture disponible :

Afin de tenir compte d'une compétition entre les usages de toiture (terrasses, toitures végétalisées), des orientations, de la place nécessaire à l'entretien des panneaux et pour éviter les ombres portées entre eux, **la surface disponible retenue pour les panneaux est d'environ 3 400 m²** (environ 30% de la surface de toiture), selon la répartition suivante :

	Surfaces de panneaux m²
Lots libres	1 900
MIG	1 000
Logements collectifs	500
TOTAL	**3 400**

Tableau 2 : surface de panneaux

La figure suivante permet d'avoir un aperçu des toitures propices à l'installation de panneaux pour les logements collectifs et les MIG, c'est-à-dire orientées sud sud-ouest. Ce sont les toits signalés en bleu :

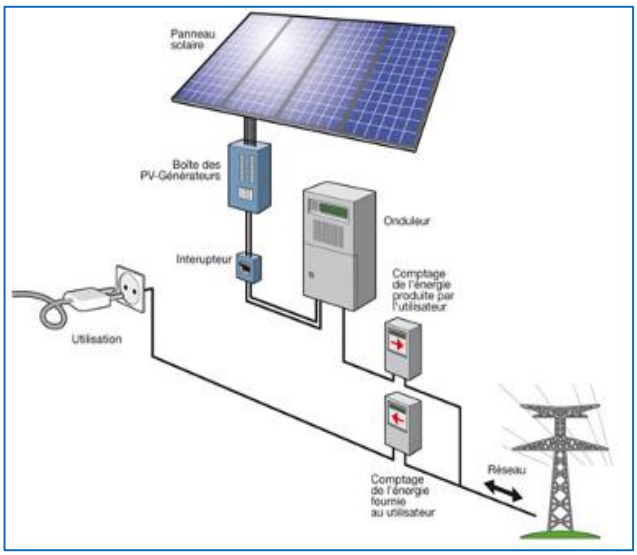
Figure 12 : toitures propices à l'installation de panneaux pour les MIG et logements collectifs

5.2.1 Le solaire photovoltaïque

La filière photovoltaïque (PV) peut être séparée en deux types d'application, à savoir les systèmes de production d'électricité autonomes et les systèmes de production d'électricité raccordés au réseau de distribution de l'électricité.

Compte tenu du contexte de la mission, et de la désynchronisation entre les périodes de besoin en électricité et les périodes de production pour les usages électriques majeurs du site, seule la filière photovoltaïque raccordée au réseau sera évoquée par la suite.

Les panneaux solaires PV produisent de l'électricité à l'aide du rayonnement solaire (énergie solaire renouvelable). La performance énergétique d'un système photovoltaïque est influencée par un certain nombre de facteurs, notamment climatiques, technologiques, de conception et de mise en œuvre.



Potentiellement les panneaux solaires photovoltaïques peuvent s'installer partout : en toiture ou en terrasse, en façade, au sol, en écran antibruit, etc. Autant d'endroits possibles tant qu'ils respectent quelques règles de mise en œuvre : orientation favorable et inclinaison optimale (le rendement maximal étant observé lorsque les panneaux sont perpendiculaires au rayonnement solaire direct), sans masques ni ombres portées.

L'électricité produite est sous forme de courant continu. Afin de pouvoir l'injecter dans le réseau, il faut la transformer en courant alternatif et changer sa tension. Des modules appelées onduleurs permettent cette transformation, mais ils représentent un investissement supplémentaire et génèrent de nouvelles pertes énergétiques.

Production approximative :

R, rendement moyen d'un capteur solaire photovoltaïque poly cristallin fixe et onduleur : 7 %

E, ensoleillement annuel : 1 580 kWh/m²

Sc, surface de capteurs solaires : Sc = 3 400 m² (cf. ci-dessus)

PA, production annuelle : PA = E x R x Sc = 376 MWh/an

A titre d'information, les besoins en électricité spécifique (réglementaires et non réglementaires) du projet sont estimés à 730 MWh/an. D'après, la surface de capteurs solaires envisagée, la production d'électricité photovoltaïque pourrait **compenser plus de 50% de cette consommation**.

Condition de raccordement des installations de PV :

L'achat de l'électricité photovoltaïque dépend fortement de la puissance installée et de la date du raccordement. Les tarifs sont également révisés régulièrement en fonction du nombre de raccords à l'échelle nationale. De surcroît, le cadre réglementaire est en pleine évolution, notamment de façon à prendre en compte la possibilité d'autoconsommer la production (consommation directe de l'énergie produite sur site) Pour ces raisons, il est difficile d'estimer précisément le gain financier de l'installation.

Si la vente de toute l'électricité produite sur le réseau (mécanisme de « vente totale » via les tarifs d'achat) était jusque-là la norme, ce système tend à s'essouffler (les tarifs d'achats baissent tous les trimestres). Inversement, l'autoconsommation (consommation prioritaire de l'électricité produite) est en plein essor car le prix de l'électricité conventionnelle augmente et des primes à l'achat sont mises en place dans ce cas de figure. Toutefois l'étude est à réaliser au cas par cas.

Pour information, voici un cas type d'une installation de 3kWc (environ 30 m²) en autoconsommation pour un logement de 100 m² :

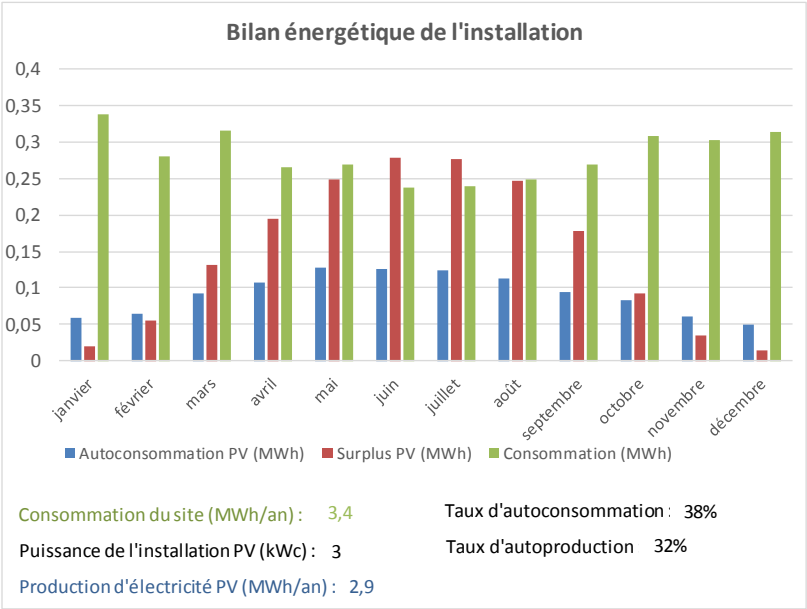


Figure 13 : bilan énergétique autoconsommation d'une installation PV

Une telle installation permettrait de couvrir environ 85% de l'électricité spécifique consommée par le logement (dont 38% consommée directement dans le cas de l'autoconsommation). Aujourd'hui les conditions tarifaires ne permettent néanmoins pas d'envisager une installation en autoconsommation équilibrée sur le plan économique (faible taux d'autoconsommation). Le choix de la vente totale au réseau s'impose, avec des temps de retour sur investissement longs (15 à 20 ans).

5.2.2 Le solaire thermique

Le solaire thermique correspond à la conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique. Traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température ; les plus répandues dans le secteur du bâtiment sont la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage de locaux.

Cependant, la productivité du solaire thermique est plus élevée en période estivale, lorsque chutent les besoins en chauffage. Pour cette raison, le solaire thermique est utilisé le plus fréquemment pour la production d'eau chaude sanitaire, dont les besoins sont pratiquement constants toute l'année.

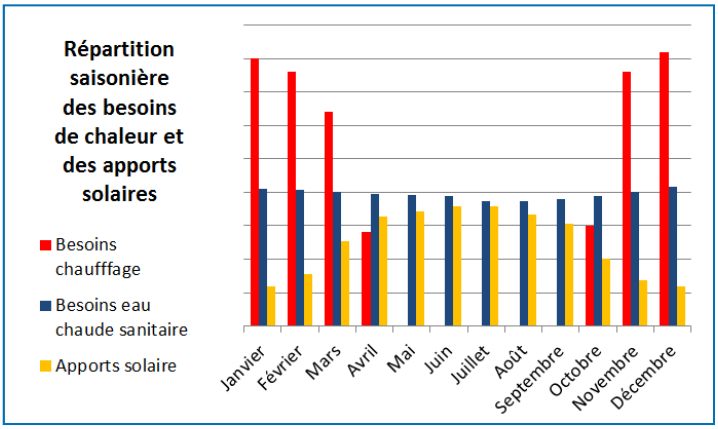


Figure 14 : répartition annuelle théorique des besoins d'un logement et des apports solaires

Production approximative en fonction de la toiture disponible :

R, rendement moyen d'un capteur solaire thermique : 30 %

E, ensoleillement annuel : 1 580 kWh/m² (capteurs orientés sud-ouest inclinés à 35°)

Sc, surface de capteurs solaires : Sc = 3 400 m² (cf ci-dessus)

PA, production annuelle : PA = E x R x Sc = 1 160 MWh/an

A titre de rappel, les besoins utiles en ECS du projet ont été estimés à 510 MWh/an. Même si la production n'est pas toujours en adéquation temporelle avec la consommation, le solaire thermique représente donc une opportunité de couvrir une grande fraction des besoins en ECS du projet.

5.3 L'énergie éolienne

L'énergie éolienne consiste à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, par l'intermédiaire d'une éolienne. Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau). L'application « connecté réseau » ou « grand éolien » représente, en termes de puissance installée, la quasi-totalité du marché éolien. De même que les systèmes solaires, les systèmes éoliens nécessitent la mise en place d'un appoint.

5.3.1 Grand éolien (puissance > 350 kW)

L'installation de grandes éoliennes n'est pas envisageable en milieu urbain à cause des nuisances et des risques générés.

5.3.2 Moyen et Petit éolien

Le moyen éolien (36 kW < P < 350 kW) est généralement composé de petites éoliennes à axe horizontal adaptées au milieu rural.

Le petit éolien (< 36 kW) en milieu urbain est peu développé. Pour répondre aux problématiques d'utilisation de l'espace, plusieurs types d'éoliennes à axe vertical se sont développés. Les retours d'expériences montrent une technologie peu fiable voire sans intérêt économique.

Dans les deux cas, il existe beaucoup trop d'incertitudes (vent réellement disponible, direction changeante, efficacité des systèmes) et de contraintes (bruit, structure, maintenance) pour proposer ces solutions à grande échelle. De plus, la faible hauteur des installations les rend très sensibles aux perturbations aérodynamiques engendrées par les bâtiments alentours.

Une note de l'ADEME parue en octobre 2013 rend compte de ces difficultés : « *Dans les conditions techniques et économiques actuelles, le petit éolien ne se justifie généralement pas en milieu urbain. Outre le fait que les éoliennes accrochées au pignon d'une habitation peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment, le vent est, en milieu urbain et péri-urbain, en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable* ». De surcroît, la loi de finance 2016 a supprimé le petit éolien des systèmes éligibles au crédit d'impôt à partir du 1er janvier.

5.4 La combustion de biomasse

L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques représente une part importante de l'objectif de la France qui, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, s'est engagée à porter à hauteur de 23% sa part EnR dans sa consommation énergétique finale d'ici 2020.

La combustion de la biomasse est « non émettrice de gaz à effet de serre » car l'intégralité du CO_2 rejeté dans l'atmosphère lors de sa combustion a été prélevée dans cette même atmosphère lors de la phase de croissance de la biomasse. Sous réserve d'une gestion responsable et durable des forêts (ou autres gisements en biomasse), le bilan CO_2 de photosynthèse-combustion est donc neutre.

Cependant la combustion de 1 kWh PCI de biomasse est pondérée de l'émission de 0,004 à 0,015 $kgCO_2e$ (source : ADEME) dus aux transformations de la récolte jusqu'à sa mise en forme combustible. Au regard des autres énergies (0,235 $kgCO_2e$ pour 1 kWh PCI de gaz produit puis brûlé), la biomasse reste une énergie peu carbonée.

5.4.1 Le bois énergie

Les Pays de la Loire disposent d'un certain potentiel de ressources mobilisables pour le bois-énergie. Bien que n'étant pas une région forestière (seuls 11% de la surface du territoire régional étant boisés), elle est la seconde en termes d'activités de transformation du bois, productrices de connexes mobilisables pour le bois-énergie. La filière bois, avec 4 400 entreprises et 30 000 emplois est le troisième secteur industriel de la région. *(source SRCAE).*

A l'échelle individuelle, plusieurs solutions peuvent être envisagées :

- La mise en place d'une chaudière automatique à pellet avec chargement en sac ou silo de stockage (garage ou cave) ;
- L'installation d'un insert à pellet avec chargement par sac (et réservoir intégré de 1 à 2 jours d'autonomie). Les systèmes les plus perfectionnés intègrent une programmation et permettent un démarrage automatique. L'homogénéisation de la température dans le logement est alors optimale dans le cas d'un couplage avec une ventilation double-flux. Les pellets peuvent être achetés en sac à l'unité ou livrés sur palette ;
- L'installation d'un insert à pellet avec chargement par sac (et réservoir intégré de 1 à 2 jours d'autonomie) et circulation hydraulique, ce qui leur permet à l'instar d'une chaudière d'alimenter des radiateurs. Les systèmes les plus perfectionnés intègrent une programmation et permettent un démarrage automatique. Les pellets peuvent être achetés en sac à l'unité ou livrés sur palette.

Quelques contraintes majeures peuvent toutefois être identifiées :

- Le foncier nécessaire pour la chaudière et le stockage (environ 8m²) ;
- L'accès pour les livraisons : avec les pellets, il est possible de recharger le silo depuis un camion souffleur sur la voirie ce qui limite les contraintes ;
- La nécessité d'une évacuation des fumées (au-dessus du bâtiment) ;
- La gêne liée au fret pour les riverains (limitée à cette échelle) ;
- La problématique qualité de l'air, qui imposera le choix d'un foyer fermé de qualité.

5.4.2 Biomasse agricole

On entend par biomasse agricole les sous-produits d'exploitation ne présentant plus de valorisation possible en termes d'alimentation ou d'utilisation comme matière première techniquement, économiquement et écologiquement viable. Le Grenelle 1 de l'environnement définit clairement cette priorité d'usage au recours de la biomasse en général :

- Priorité 1 : alimentaire,
- Priorité 2 : matériaux,
- Priorité 3 : énergie.

L'utilisation de ces sous-produits en valorisation énergétique est généralement rendue compliquée par la diversité des matériaux (générant autant de procédés différents), leur répartition géographique, leur périodicité de disponibilité et l'absence de filières dédiées. Une grande partie des sous-produits existants est d'ores et souvent déjà utilisée pour des usages agricoles (retour organique à la terre, constitution de litières pour le bétail, etc.). A l'échelle d'un quartier, il est difficile de conclure sur l'existence d'un réel potentiel. Pour mettre en œuvre l'utilisation de cette biomasse, une approche directe, spécifique à chaque producteur, serait à envisager et à mener à l'échelle d'un territoire plus vaste.

Les considérations menées sur les contraintes du bois énergie (espace, fret, filtration de particules) sont applicables au cas de la biomasse agricole.

5.5 Le biogaz

Le biogaz est un gaz issu de la fermentation de matières organiques animales ou végétales. Une fois récupéré, il peut être valorisé sous forme de chaleur et/ou d'électricité. Deux techniques de production existent : la méthanisation ou la récupération sur centre d'enfouissement technique. Seule la méthanisation dans un digesteur semble adaptée aux contraintes d'un projet d'aménagement urbain.

5.5.1 Valorisation des déchets

Les déchets organiques de cuisine peuvent produire une certaine quantité de biogaz, constitué à la fois de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4) dont les proportions peuvent varier selon la qualité des déchets et le processus de méthanisation. Dans le cas d'un digesteur moderne, la teneur en CH_4 du biogaz peut aisément atteindre 50%.

Un habitant français moyen génère chaque année environ 350 kg soit un gisement en énergie de près de 250kWh/an/personne.

Toutefois l'échelle du projet est peu compétitive pour ce type d'installation : les coûts d'investissement et les coûts de fonctionnement pour la collecte spécifique des déchets à méthaniser rendent ces opérations difficilement rentables. Cette ressource ne sera donc pas retenue dans la suite de cette étude.

5.5.2 Valorisation des sous-produits agro-alimentaires

Certaines productions ou certains résidus d'agriculture ou d'élevage ainsi que les boues de STEP peuvent également donner lieu à la production de biogaz via une unité de méthanisation mais les conclusions faites sur la méthanisation des déchets urbains sont également valables pour cette ressource qui ne sera donc pas retenue.

5.6 La géothermie

On distingue en géothermie :

- **La géothermie haute énergie** (température supérieure à 150°C) : il s'agit de réservoirs généralement localisés entre 1 500 m et 3 000 m de profondeur. Lorsqu'un tel réservoir existe, le fluide peut être capté directement sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.
- **La géothermie moyenne énergie** (température comprise entre 90°C et 150°C) : le BRGM la définit comme une zone propice à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 m. Elle est adaptée à la production d'électricité grâce à une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire.
- **La géothermie basse énergie** (température comprise entre 30°C et 90°C) : elle concerne l'extraction d'eau inférieure à 90°C dont le niveau de chaleur est insuffisant pour la production d'électricité mais adapté à une utilisation directe (sans pompe à chaleur) pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles.
- **La géothermie très basse énergie** (température inférieure à 30°C) : elle concerne les nappes d'eau souterraine et sols peu profonds dont la température est inférieure à 30°C et qui permet la production de chaleur via des équipements complémentaires (pompe à chaleur notamment).

Les trois premiers types de géothermie nécessitent des investissements importants et sont réservés à des projets d'ampleur (réseau de chaleur ou production d'électricité). Ils demandent par ailleurs des contextes géologiques bien particuliers (recours à la nappe du Dogger en région parisienne par exemple).

La géothermie très basse énergie semble être la plus pertinente en termes de potentiel et de faisabilité technique (réglementation, coûts, etc.) sur ce site. Seule cette forme de géothermie est donc détaillée dans ce rapport. Il est à noter que le recours à ce type de géothermie peut fournir de la chaleur mais aussi un

rafraîchissement direct (géocooling) ou une climatisation (via une pompe à chaleur, ou « PAC ») pendant la période estivale.

On recense deux techniques en géothermie très basse énergie :

- La géothermie sur nappe, qui consiste à pomper l'eau de la nappe souterraine pour en extraire les calories dans la pompe à chaleur, puis à la réinjecter dans la nappe,
- La géothermie sur sondes sèches, qui consiste à faire circuler un fluide caloporteur dans des sondes (circuit fermé), puis à en extraire la chaleur.

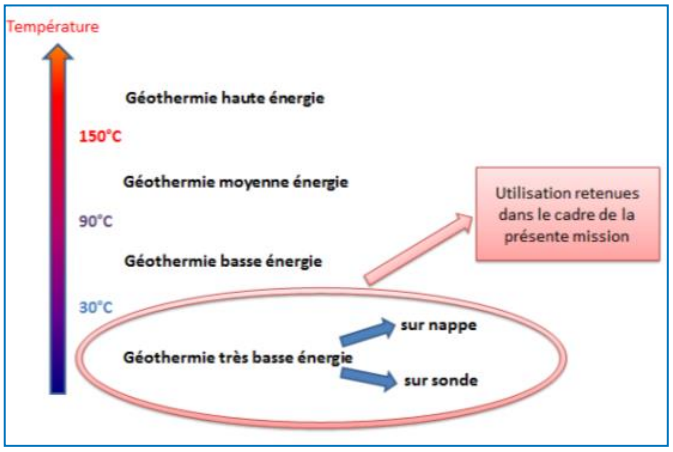


Figure 15 : Types d'installations géothermiques

Ces usages de la géothermie nécessitent l'utilisation d'une pompe à chaleur qui permet d'exploiter au mieux l'énergie d'une source de température modérée.

5.6.1 Code minier

D'un point de vue réglementaire, le nouveau code minier a instauré la notion de « gite géothermique de minime importance » de façon à alléger les démarches nécessaires à la mise en œuvre de ces « petites » installations (forage inférieur à 200 m et puissance échangée pour l'ensemble de l'installation inférieure à 500 kW).

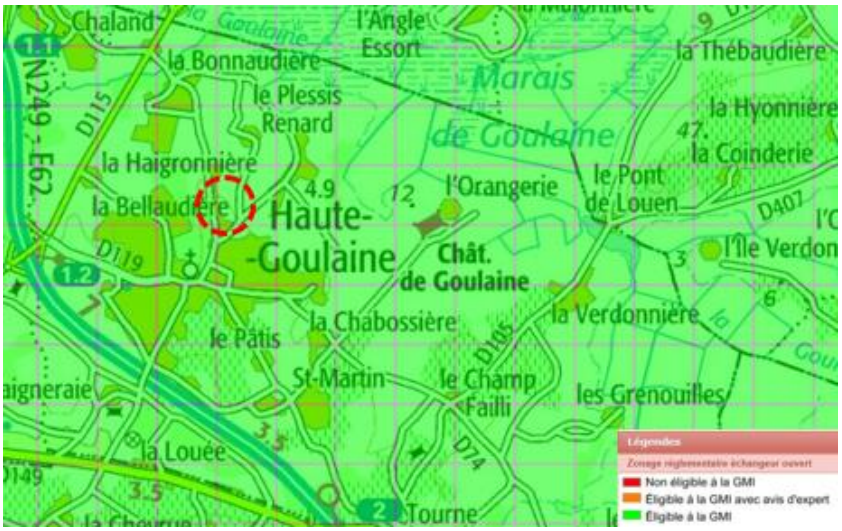


Figure 16 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur nappe (Source : BRGM/géothermie-perspectives.fr)

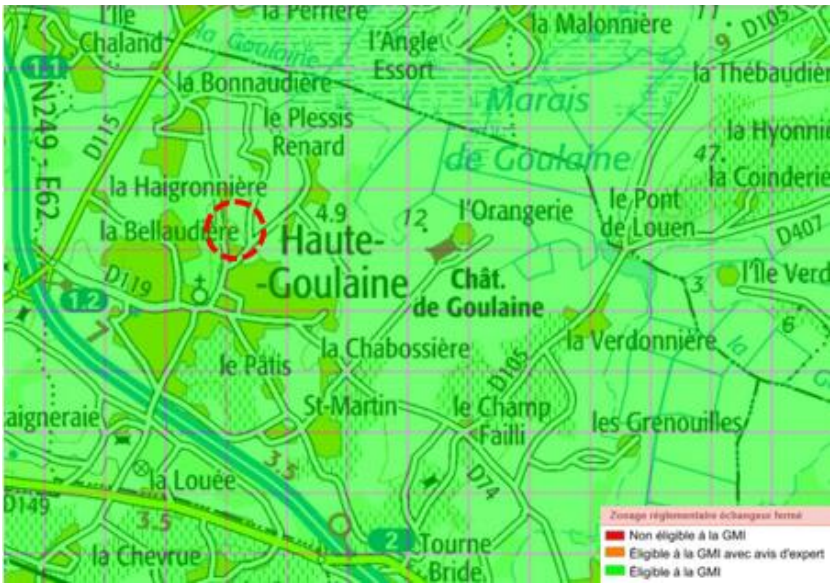


Figure 17 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur sonde (Source : BRGM/géothermie-perspectives.fr)

5.6.2 La géothermie sur nappe

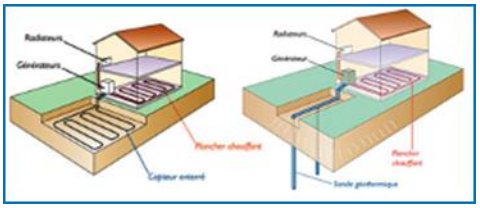
Les études géotechniques préalables et les données disponibles dans la Base du Sous-Sol (BRGM) laissent penser qu'il pourrait être possible de soutirer les débits nécessaires pour la production de chaleur sur le site mais :

- Il faudra potentiellement forer profondément (>25m) ce qui induit des coûts élevés ;
- La réinjection de l'eau en nappe nécessite de créer un forage de rejet qu'il est impératif d'éloigner du captage (pour éviter le recyclage thermique) : ceci impose un recours collectif à l'échelle de la parcelle ce qui est rendu compliqué par la faible densité thermique du projet (voir §5.10).

Quoi qu'il en soit, les investissements élevés nécessaires ne permettent pas de déployer cette solution sur des logements individuels ou des petits collectifs (et la densité de la zone ne permet pas la création d'un réseau, voir §5.10).

5.6.3 La géothermie sur sonde

Il est également possible de recourir à des sondes géothermiques verticales ou horizontales, plus coûteuses généralement, mais qui permettent d'exploiter des contextes géologiques plus perturbés.
Un fluide caloporteur les parcours et capte la chaleur du sous-sol. Dans un contexte de lotissement relativement dense, les sondes verticales semblent davantage pertinentes pour réduire l'emprise au sol.

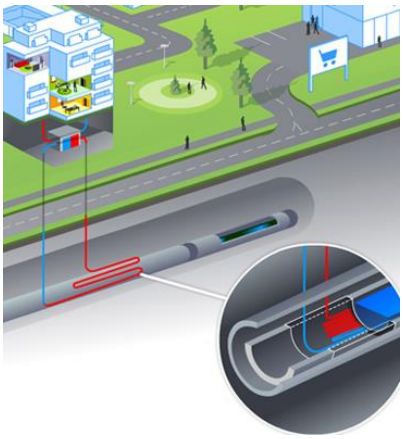


Le potentiel de la zone n'est pas limitant. Toutefois le prix du système est aujourd'hui encore très limitant à l'échelle individuelle (et la densité de la zone ne permet pas la création d'un réseau, voir §5.10).

5.7 Récupération de chaleur sur eaux usées

Les eaux usées (issues de nos cuisines, salles de bain, lave-linge etc.) ont une température moyenne comprise entre 10 et 20 °C (cette température varie bien sûr en fonction de la région et des saisons). Leur chaleur étant une énergie disponible en quantité importante dans les milieux urbains, une installation de ce type permettrait de réduire les consommations du site.

5.7.1 Installation collective (à l'ilot)



Un échangeur sur un collecteur important (environ DN 1000) associé à une pompe à chaleur réversible permet de fournir les calories/frigories aux bâtiments afin de les chauffer ou de les refroidir. Bien que l'installation collective permette une mutualisation des coûts, l'investissement reste conséquent et la faible puissance récupérée (de 1 à 1,5 kW/ml équipé) ne justifie généralement un tel investissement que pour des installations ayant une consommation régulière sur l'année (piscine, ou usages mixtes de chaud et froid).

5.7.1 Installation individuelle (au bâtiment)

Un récupérateur de chaleur permet d'utiliser les calories extraites des eaux usées et d'économiser l'énergie sur l'ECS (préchauffe de l'eau de ville). Si les performances annoncées par les constructeurs sont intéressantes (jusqu'à 60% d'économie sur l'ECS), les retours d'expériences sont faibles, tant en ce qui concerne les coûts d'investissement que sur les coûts et contraintes de fonctionnement.

Cette solution pourra toutefois s'envisager « en plus » de la solution énergétique retenue lors des phases de conception, par exemple dans l'optique d'atteindre des labels de performance supérieurs ou d'optimiser le dimensionnement en puissance des équipements de production.

5.7.2 Installation individuelle (au logement)

Un récupérateur de chaleur (échangeur) permet d'utiliser les calories évacuées par un système (douche principalement) pour préchauffer l'eau froid qui y parvient.

Les conclusions sont identiques à celles de la solution à l'échelle du bâtiment.

5.8 L'aérothermie

En chauffage, l'aérothermie consiste à utiliser une pompe à chaleur sur l'air extérieur. Si les investissements sont inférieurs à la géothermie (pas de forage), le coefficient de performance du système est globalement moins bon car la température extérieure atteint des températures plus basses (particulièrement pendant la période de chauffage). Dans les cas extrêmes, le COP (rapport de l'énergie thermique obtenue sur l'énergie électrique dépensée) tend vers 1 et le système s'approche des performances d'un radiateur électrique à convection classique. Le recours à une pompe à chaleur est donc acceptable pour des bâtiments récents et bien isolés ayant des besoins de chauffage réduits dans des zones climatiques plutôt tempérées.

Dans le cas du projet, l'aérothermie est une solution de chauffage qui pourrait donc convenir (bâtiments neufs). A noter que les pompes à chaleurs peuvent soit être utilisées pour le chauffage, soit pour le chauffage et l'ECS, soit enfin pour l'ECS seule (on parle dans ce cas de ballon thermodynamique, la pompe à chaleur étant intégrée au ballon d'eau chaude).

5.9 La cogénération

La cogénération ne représente pas en soi une source d'énergie renouvelable au sens strict du terme, mais est plutôt une variante technique d'une chaudière à gaz ou biomasse.

Un système de cogénération est conçu pour produire à la fois de la chaleur et de l'électricité. L'électricité produite permet de combler des besoins électriques locaux (autoconsommation) ou peut être revendue sur le réseau électrique. Une partie de la chaleur de combustion est récupérée pour répondre aux besoins thermiques locaux : chauffage de bâtiments ou procédés industriels. Les équipements de cogénération sont habituellement activés par la combustion de gaz naturel ou de biomasse.

La viabilité financière des systèmes de cogénération est complexe : en pratique, l'intérêt n'est vérifié que pour des installations présentant des besoins très constants en chaleur ce qui ne sera pas le cas sur le projet

5.10 Les réseaux de chaleur ou de froid

L'étude de potentialité du raccord à un réseau de chaleur ou de froid existant ou la création d'un réseau est un des axes de travail obligatoire de l'étude de faisabilité EnR. En effet, ces solutions mutualisées de production énergétique sont un moyen de développer à grande échelle les énergies renouvelables. Le réseau de chaleur permet de bénéficier de l'effet de foisonnement[1] et donc parfois de diminuer les coûts d'investissement. Par contre, ils nécessitent une prise en compte particulière en amont du projet et souvent un portage fort de la part de l'aménageur.

5.10.1 Raccordement à un réseau existant

Aucun réseau n'a été identifié sur site ou à proximité.

5.10.2 Création

Pour apprécier la pertinence du futur réseau, il faut calculer la densité énergétique de celui-ci. Elle représente la quantité d'énergie distribuée sur la longueur du réseau à installer. Plus la densité du réseau est élevée, plus l'installation est justifiée. A l'inverse, un réseau de faible densité va entrainer trop de pertes en ligne par rapport à l'énergie réellement distribuée. Une estimation de la longueur de réseau nécessaire a été faite.

La longueur du réseau estimée est de 1 800 m. L'estimation de la densité d'un réseau pour le projet d'aménagement est donnée ci-dessous :

> CAc – consommation thermique utile en chauffage et ECS annuelle du projet = 1 015 MWh/an
>
> L – longueur du réseau = 1 800 mètres linéaires
>
> Dc – densité énergétique du réseau de chaleur = CAc/L = **0,56 MWh/(ml.an)**

La densité énergétique estimée est très faible, et bien en deçà du seuil d'éligibilité de l'aide Fonds Chaleur de l'ADEME, à savoir 1,5 MWh/ml/an. La création d'un réseau de chaleur n'est pas envisageable à l'échelle de l'opération.

[1] Le phénomène de foisonnement est observé quand les usages de chaleur/froid sont désynchronisés sur la zone (usages de jour et de nuit par exemple). Dans ce cas, la mutualisation des systèmes de production énergétique permet un dimensionnement inférieur à la somme des équipements individuels.

5.11 Synthèse de l'analyse de potentiel en EnR

Tableau 3 : synthèse de l'analyse du potentiel du site en énergies renouvelables et de récupération

Ressource énergétique		Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire
Hydraulique		Nulle	Nul			Potentiel inexploitable
Solaire	Thermique	Existante (Surface de panneaux envisageable suffisante)	Productible annuel suffisant (limité par l'investissement)	- Energie « gratuite » et sans nuisances - Energie décarbonée en termes de production	- Nécessité d'un système d'appoint - Production et consommation désynchronisées	Potentiel moyen à fort
	Photovoltaïque		Productible annuel suffisant (limité par l'investissement)	- Energie « gratuite » et sans nuisances - Energie décarbonée en termes de production	- Concurrence le solaire thermique en termes d'espace - Economie du projet difficile	Potentiel moyen
Eolienne	Grand éolien	Impossible en secteur urbain				Potentiel inexploitable
	Petit éolien	Aléatoire et d'ampleur non significative				Potentiel faible à nul
Biomasse	Bois-énergie	Suffisante au niveau régional (nécessite fret)	Suffisant au vu des besoins du projet	- Source décarbonée	- Fret - Emprise foncière importante	Potentiel moyen à fort
	Biogaz	Déchets urbains	Faible			Potentiel inexploitable
Géothermie	Haute énergie					
	Moyenne énergie					

Ressource énergétique			Disponibilité de la ressource	Potentiel de la ressource	Avantages	Inconvénients	Conclusion intermédiaire
	Basse énergie						
	Très basse énergie	PAC sur nappe	Présence d'aquifères	A priori suffisant	- Source d'énergie peu chère (électricité à haut rendement) - Nuisances réduites - Etudes complémentaires nécessaires	- Investissement conséquent à l'échelle du projet	Faible potentiel
		PAC sur sonde	Oui	A priori suffisant		- Investissement conséquent à l'échelle du projet	Faible potentiel
Aérothermie			Oui (air)	Potentiel plus faible en hiver	- Investissements plus faibles que la géothermie	Moins performante que la géothermie	Potentiel moyen à fort
Réseaux de chaleur/froid	Existant		Pas de réseau à proximité				Potentiel nul
	Création		Densité thermique insuffisante				Potentiel nul
Récupération de chaleur sur eaux usées	Collectif		Pas de collecteur d'ampleur connu				Potentiel nul

6. Conclusions intermédiaires : scénarios énergétiques retenus

Au regard de l'analyse des besoins du site, et de l'analyse du potentiel en énergies renouvelables, les scénarios d'approvisionnement suivant ont été retenus :

- Scénario 1 / référence : **chaudières gaz à condensation** en pied d'immeuble pour les collectifs et individuelles pour les logements individuels.

  * *NB : les conditions de déploiement du réseau de gaz seront à préciser*

- Scénario 2 / **panneaux solaires thermiques** pour l'ECS : l'installation sera individuelle pour les maisons et mutualisée pour les collectifs et MIG (exemple : 1 quattro de MIG avec un seul ballon tampon de grand volume afin d'obtenir un gain foncier, une optimisation technique et financière). **Chaudières gaz à condensation** pour le chauffage et l'appoint ECS,

- Scénario 3 / **chaudières automatiques à granulés de bois** en pied d'immeuble pour les collectifs et **insert à pellets individuels** avec échangeur à eau pour les logements individuels (la circulation d'eau permet d'assurer une bonne homogénéisation de la température)

- Scénario 4 / **pompes à chaleur air/eau** (en garage/sous-sol)

CAHIER 2

7. Dimensionnements techniques

Nous avons utilisé des profils « type » de consommation pour mieux appréhender la saisonnalité des besoins en énergie, et les niveaux de puissance à mettre en œuvre. Cette première estimation ne remplace pas les études de dimensionnement à réaliser en phase de conception.

La puissance totale (chauffage et ECS) nécessaire est estimée à 950 kW.

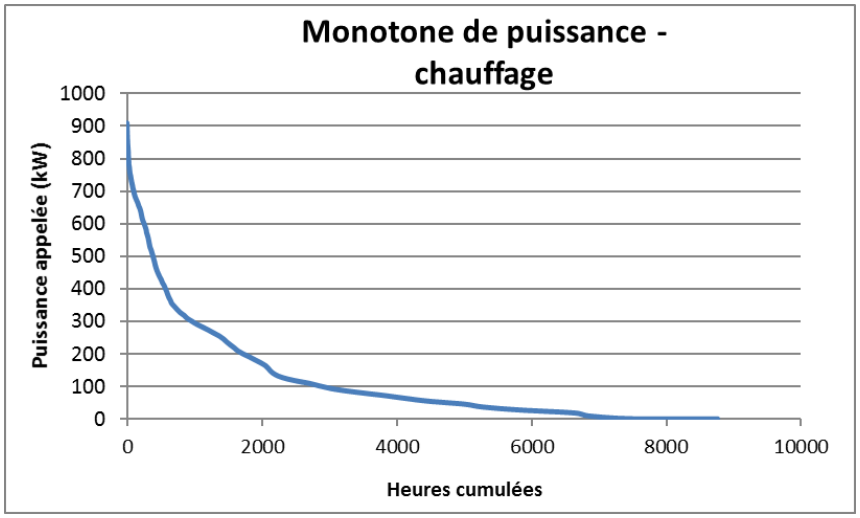


Figure 18 : besoins en puissance de chauffage et ECS du projet

7.1 Scénario 1

Rappel : le scénario 1 de référence consiste en :

- *la production de chaleur (chauffage et ECS) avec **chaudière au gaz naturel à condensation**. Pour les logements collectifs, il y a une chaudière par pied d'immeuble, et il y aura une chaudière par logement individuel.*

Il est à noter que le projet se situe dans une commune desservie par GRDF, mais n'est pas à proximité immédiate d'une canalisation existante. Le projet doit faire l'objet d'une étude de raccordement auprès de GRDF.

7.2 Scénario 2

Rappel : le scénario 2 consiste en :

- *la production d'eau chaude (ECS) par **panneaux solaires thermiques** avec ballons tampons pour le stockage de l'eau chaude. Pour les maisons individuelles groupées, on considère des installations centralisées, avec un gros ballon tampon par groupement de logements (si quattro de MIG par exemple)*

- *la production de chaleur (ECS appoint, chauffage) par **chaudières au gaz naturel à condensation**.*

La surface de panneaux utiles pour avoir un scénario intéressant est calculé en considérant 4 m² de panneaux par logement individuel, et 3 m² de panneaux par logement collectif (MIG ou logements collectifs). Cela permet d'obtenir le scénario optimum entre la couverture des besoins en ECS, et le coût. **La surface totale à installer de panneaux solaires thermiques** pour ce scénario est d'environ **550 m².** Cela permet de couvrir 50% des besoins en ECS du projet.

7.3 Scénario 3

Rappel : le scénario 3 consiste en :

- *la production de chaleur (chauffage et ECS) par **chaudières automatiques à granulés de bois** en pied d'immeuble pour les collectifs et **insert à pellets individuels** avec échangeur à eau pour les logements individuels*

7.4 Scénario 4

Rappel : le scénario 4 consiste en :

- *la production de chaleur (chauffage et ECS) par **pompes à chaleur air/eau** (bâtiment pour les logements collectifs, et individuelles pour les logements individuels)*

Approche économique des scénarios ENR

7.5 Investissement

Les investissements sont estimés de la façon suivante :

Scénario	Equipements pris en compte	Investissement en k€ HT	Investissement total en k€ HT
1. Gaz (référence)	Achat et installation des chaudières gaz à condensation	500 k€HT	**500 k€HT**
2. Solaire thermique + gaz	Achat et installation des panneaux solaires thermiques (600 m²) et des ballons tampons Achat et installation des chaudières gaz à condensation	500 k€HT 500 k€HT	**1 000 k€HT**
3. Bois pellets	Achat et installation des chaudières à pellet, et silos de stockage	1 100 k€HT	**1 100 k€HT**
4. Aérothermie	Achat et installation des PAC	950 k€HT	**950 k€HT**

Ces montants ne prennent pas en considération les coûts éventuels de raccordement au réseau de gaz existant.

7.6 Analyse économique en coût global

7.6.1 Hypothèses économiques

Les paramètres suivants sont fixés pour la suite de l'étude :

- Durée d'observation économique : 20 ans
- Part de l'investissement en fond propre : 20 %
- Taux d'intérêt de l'emprunt : 3 % sur 10 ans
- Evolution du coût des énergies :
  - Électricité, gaz : +3%/an
  - Bois pellets : +2%/an

En considérant que les panneaux solaires thermiques installés pour les logements collectifs soient financés à 30% par le Fonds Chaleur de l'ADEME, le scénario 2 représente alors un investissement de 940 k€ HT. Dans ce cas, c'est le scénario ENR le moins coûteux en investissement (comparé aux scénarios 3 et 4).

7.6.2 Analyse en coût global

D'après les hypothèses listées, l'analyse en coût global peut se résumer de la façon suivante.

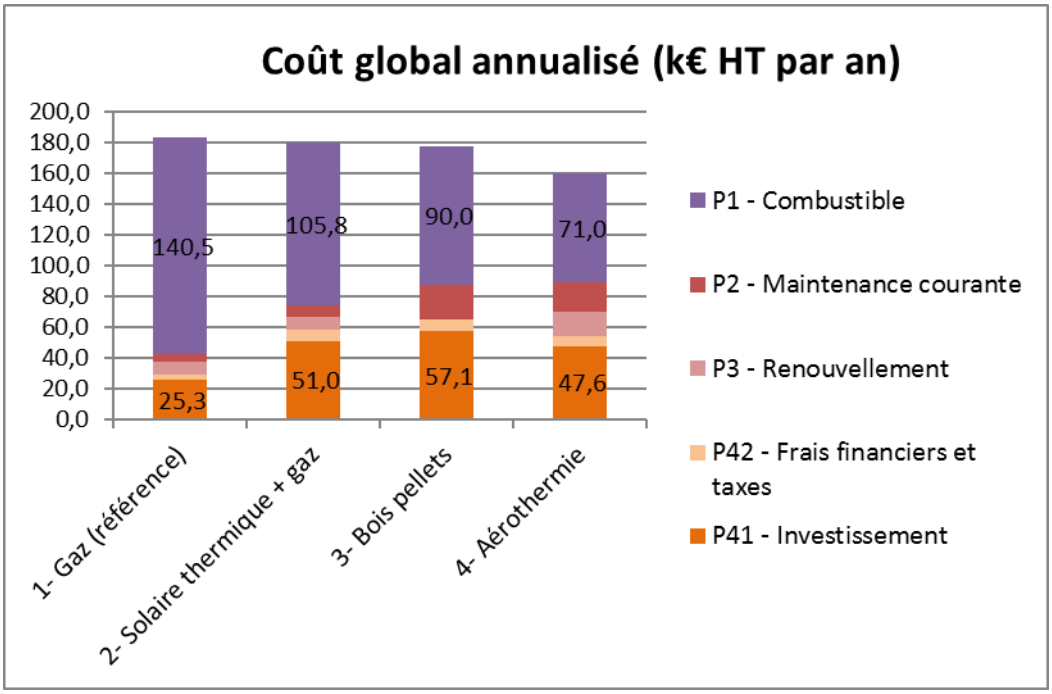


Figure 19 : coût global annualisé des différents scénarios étudiés

Par rapport au scénario de référence (scénario 1), cette analyse a permis de mettre en avant que les solutions EnR ont un coût d'investissement plus élevé (respectivement +100%, +130% et +90% pour les scénarios 2 à 4).

Le Fonds Chaleur pour le scénario 2 permettrait d'avoir un coût global de 175 k€HT/an, au lieu de 180 k€ HT/an sans aide financière.

Il faut ajouter à ce constat :

- Le contexte du prix du gaz très bas qui avantage effectivement le scénario de référence.
- Le scénario de référence ne fait appel à aucune ENR ce qui est à l'encontre de la RT2012 pour les logements individuels ou accolés. Il s'agira alors de les coupler à une installation solaire PV par exemple.

7.7 Analyse environnementale

Les impacts environnementaux des différents scénarios sont illustrés ici :

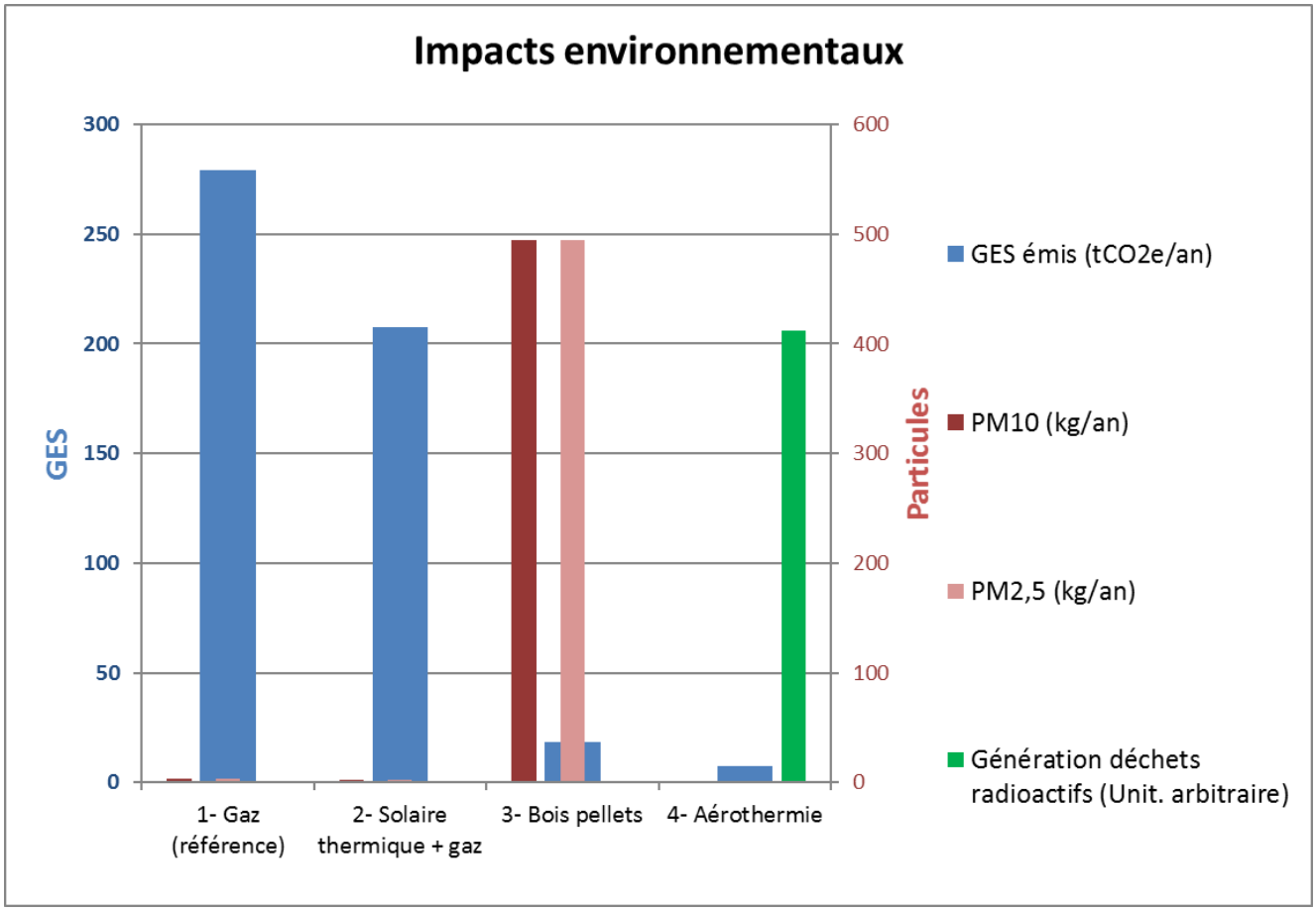


Figure 20 : impacts environnementaux comparés des différents scénarios

Par rapport au scénario de référence (le plus émissif en termes de GES), le scénario 3 (biomasse) permet une réduction de 90% des émissions. Ce gain se fait au détriment des émissions de particules (multipliées par 100 comparé au scénario de référence au gaz).

Le scénario 2 (solaire thermique + gaz) permet lui une réduction de 25% des émissions de GES. Il permet également une diminution des émissions de particules, et de la consommation d'énergie primaire (-10% par rapport à la référence).

Enfin, le scénario 4 (pompe à chaleur) permet une réduction de 98% des émissions de GES, mais cela se traduit par un recours important à l'électricité, d'origine majoritairement nucléaire en France.

8. Conclusion

L'étude de faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables s'est déroulée en trois étapes. Dans un premier temps, la **caractérisation des besoins en énergie** a permis d'estimer les apports en énergie nécessaires au fonctionnement du projet. Ainsi, sur l'ensemble de la zone, **les besoins de chaleur en énergie utile s'élèvent à près de 1 015 MWh/an, et 730 MWh/an pour l'électricité.**

Dans un deuxième temps, **l'analyse du potentiel en énergies renouvelables** de la zone a permis de dégager l'utilisation des énergies renouvelables et de récupération les plus pertinentes au regard des contraintes du projet. Le recours à l'**aérothermie, au solaire thermique et au bois-énergie** ont été identifiés comme pertinents :

- Scénario 1 / référence : **chaudières gaz à condensation** en pied d'immeuble pour les collectifs et individuelles pour les maisons.
- Scénario 2 / **panneaux solaires thermiques** pour l'ECS : l'installation sera individuelle pour les maisons et mutualisée pour les collectifs et MIG (exemple : 1 quattro de MIG avec un seul ballon tampon de grand volume afin d'obtenir un gain foncier, une optimisation technique et financière). **Chaudières gaz à condensation** pour le chauffage et l'appoint ECS.
- Scénario 3 / **chaudières automatiques à granulés de bois** en pied d'immeuble pour les collectifs et **insert à pellets individuels** avec échangeur à eau pour les logements individuels (la circulation d'eau permet d'assurer une bonne homogénéisation de la température).
- Scénario 4 / **pompes à chaleur air/eau** (en garage/sous-sol).

Enfin, une **analyse économique** a permis de comparer les différents scénarios, en prenant à la fois en compte l'investissement et son financement, mais également les coûts de fonctionnement, tout en intégrant l'évolution des prix de l'énergie. Les résultats montrent que le scénario 3 est aussi avantageux sur le long terme que le scénario de référence.

Pour compléter la comparaison, les différents **impacts environnementaux** (gaz à effet de serre, émissions de particules fines, consommation d'énergie primaire et génération de déchets radioactifs) de chaque scénario ont été évalués.

A titre de synthèse, le tableau suivant présente les résultats de la comparaison des scénarios en les classant du plus avantageux (note : 1) au moins avantageux (note : 4) sur les différents critères économiques et environnementaux :

Tableau 4 : synthèse du comparatif des différents scénarios

	Scénario 1 Gaz (réf.)	Scénario 2 Solaire thermique + gaz	Scénario 3 Biomasse	Scénario 4 Aérothermie
Coût global	3	3	2	1
Investissement	1	3	4	2
Impact GES	4	3	2	1
Impact particules	3	2	4	1
Impact « déchets radioactifs »	1	1	1	4
Impact « énergie primaire »	3	1	3	2

L'analyse multicritères a permis de mettre en avant la pertinence du choix d'une solution ENR sur ce projet. Malgré un investissement plus important lors de l'installation, les scénarios ENR sont compétitifs en termes de coût global (projection sur 20 ans), en plus d'un impact environnemental réduit de façon non négligeable.

En particulier, la solution solaire thermique avec appoint gaz nous paraît être un bon compromis technique et environnemental. Elle est la solution qui consomme le moins d'énergie primaire.

A court terme, et concrètement, il convient :

- De se positionner sur les différentes options énergétiques proposées, ou d'éventuelles variantes.
- En fonction des choix :
    - De se rapprocher du fournisseur de gaz de la ville de Haute Goulaine afin d'avoir confirmation de la possibilité du raccordement de la zone au réseau de gaz, ainsi que du montant de l'investissement que cela représente.
    - De se rapprocher des fournisseurs de biomasse aux alentours pour vérifier avec eux les modalités contractuelles et financières de la fourniture.

Annexe 2. Liste des espèces floristiques observées sur le site entre mai 2017 et mai 2018

Aménagement de la Surboisière à Haute-Goulaine : tableau récapitulatif d'inventaire des espèces végétales

Tous milieux						
Famille	**Espèce**	**Nom vernaculaire**	**Écologie**	**Localisation sur site**	**Intérêt patrimonial**	**Statut en Pays-de-la-Loire**
Aceraceae	*Acer pseudoplatanus L.*	Érable sycomore	Cultivée	Haies au sud	Non	AN
Asteraceae	*Achillea millefolium L.*	Achillée mille-feuilles	Prairies mésophiles	Prairies de fauche	Non	
Poaceae	*Agrostis capillaris L.*	Agrostide commune	Prairies mésophiles	Prairies de fauche	Non	–
Poaceae	*Alopecurus pratensis L.*	Vulpin des prés	Prairies méso-hygrophiles	Prairies de fauche	Non	–
Orchidaceae	*Anacamptis morio (L.) Bateman, Pridgeon & Chase*	Orchide bouffon	Prairies oligotrophes	Prairies de fauche	Oui	–
Asteraceae	*Anthemis nobilis L.*	Camomille romaine	Lieux piétinés oligotrophes	Prairies de fauche méso-hygrophiles et fossés	Non	–
Apiaceae	*Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.*	Cerfeuil des bois	Lisières eutrophes	Lisières et friches herbacées	Non	–
Poaceae	*Anthoxanthum odoratum L.*	Flouve odorante	Prairies oligotrophes	Prairies de fauche	Non	–
Poaceae	*Arrhenatherum elatius (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl subsp. bulbosum (Willd.) Schübler & G.Martens*	Avoine à chapelets	Lisières eutrophes	Lisières et friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Artemisia vulgaris L.*	Armoise commune	Lisières thermophiles	Lisières et friches herbacées	Non	–
Asparagaceae	*Asparagus officinalis L.*	Asperge officinale	Cultivée	Lisières et friches herbacées	Non	AN
Chenopodiaceae	*Atriplex prostrata Boucher ex DC.*	Arroche couchée	Cultures et friches	Lisières et friches herbacées	Non	–
Poaceae	*Avena barbata Pott ex Link*	Avoine barbue	Lisières thermophiles	Lisières et friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Bellis perennis L.*	Pâquerette	Prairies pâturées	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Betulaceae	*Betula pendula Roth*	Bouleau verruqueux	Boisements oligotrophes	Boulaies au nord	Non	–

Buddlejaceae	*Buddleja davidii Franch.*	Arbre-aux-papillons	Cultivée	Lisières et friches herbacées	Non	AN
Campanulaceae	*Campanula rapunculus L.*	Campanule raiponce	Lisières thermophiles	Lisières et friches herbacées	Non	–
Cyperaceae	*Carex hirta L.*	Laîche hérissée	Prairies pâturées	Prairies de fauche méso-hygrophiles	Non	–
Cyperaceae	*Carex ovalis Gooden.*	Laîche des lièvres	Prairies oligotrophes	Prairies de fauche méso-hygrophiles	Oui	–
Fagaceae	*Castanea sativa Mill.*	Châtaignier	Boisements siliceux	Haies à l'est	Non	–
Asteraceae	*Centaurea thuillieri J. Duvigneaud & J. Lambinon*	Centaurée des prés	Prairies mésophiles	Prairies de fauche	Non	–
Gentianaceae	*Centaurium erythraea Raf.*	Petite érythrée	Lisières thermophiles	Prairies de fauche	Non	–
Chenopodiaceae	*Chenopodium album L.*	Chénopode blanc	Cultures et friches	Friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Cichorium intybus L.*	Chicorée	Lisières thermophiles	Friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Cirsium arvense (L.) Scop.*	Cirse des champs	Prairies pâturées	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Asteraceae	*Cirsium vulgare (Savi) Ten.*	Cirse commun	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Apiaceae	*Conopodium majus (Gouan) Loret*	Conopode dénudé	Lisières siliceuses	Prairies de fauche	Oui	–
Convolvulaceae	*Convolvulus arvensis L.*	Liseron des champs	Cultures et friches	Friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Conyza sp.*	Vergerette	Cultures et friches	Friches herbacées	Non	
Poaceae	*Cortaderia selloana (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn.*	Herbe de la Pampa	Cultivée	Friches herbacées	Non	AN
Corylaceae	*Corylus avellana L.*	Noisetier	Boisements mésophiles	Frênaies et haies à l'est	Non	–
Rosaceae	*Cotoneaster franchetii Bois*	Cotonéaster de Franquet	Cultivée	Frênaies et haies à l'est	Non	Cultivée
Asteraceae	*Crepis capillaris (L.) Wallr.*	Crépide verdâtre	Prairies pâturées	Prairies de fauche	Non	–
Asteraceae	*Crepis setosa Haller f.*	Crépide hérissée	Friches	Friches herbacées	Non	–
Poaceae	*Dactylis glomerata L.*	Dactyle aggloméré	Lisières eutrophes	Ensemble du site	Non	–

Apiaceae	*Daucus carota L.*	Carotte	Prairies mésophiles	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Dipsacaceae	*Dipsacus fullonum L.*	Cardère à foulon	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Dryopteridaceae	*Dryopteris filix-mas (L.) Schott*	Fougère mâle	Boisements mésophiles	Haies et lisières	Non	–
Elaeagnaceae	*Elaeagnus x sp.*	Chalef	Cultivée	Haies au sud	Non	Cultivée
Poaceae	*Elytrigia repens (L.) Desv. ex Nevski*	Chiendent rampant	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Euphorbiaceae	*Euphorbia amygdaloides L.*	Euphorbe des bois	Boisements mésophiles	Haies et lisières	Non	–
Poaceae	*Festuca arundinacea Schreb.*	Fétuque roseau	Prairies pâturées	Tous secteurs méso-hygrophiles, semée au nord	Non	–
Poaceae	*Festuca rubra L.*	Fétuque rouge	Prairies oligotrophes	Prairies de fauche	Non	–
Oleaceae	*Fraxinus excelsior L.*	Frêne élevé	Boisements frais	Frênaies et haies à l'est	Non	–
Rubiaceae	*Galium mollugo L.*	Gaillet mollugine	Lisières thermophiles	Prairies secondaires	Non	–
Poaceae	*Gaudinia fragilis (L.) P.Beauv.*	Gaudinie	Prairies mésophiles	Prairies de fauche	Oui	–
Geraniaceae	*Geranium dissectum L.*	Géranium découpé	Prairies mésophiles	Prairies de fauche	Non	–
Geraniaceae	*Geranium molle L.*	Géranium mou	Prairies mésophiles	Prairies de fauche	Non	–
Lamiaceae	*Glechoma hederacea L.*	Lierre terrestre	Lisières eutrophes	Frênaies et haies à l'est	Non	–
Araliaceae	*Hedera helix L.*	Lierre	Boisements mésophiles	Tous boisements	Non	–
Apiaceae	*Heracleum sphondylium L.*	Berce commune	Lisières eutrophes	Lisières et friches herbacées	Non	–
Poaceae	*Holcus lanatus L.*	Houlque laineuse	Prairies mésophiles	Toutes prairies et friches	Non	–
Poaceae	*Holcus mollis L.*	Houlque molle	Lisières siliceuses	Haies	Non	–
Hypericaceae	*Hypericum perforatum L.*	Millepertuis commun	Lisières thermophiles	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–

Asteraceae	*Hypochaeris radicata L.*	Porcelle enracinée	Prairies pâturées	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Fabaceae	*Lathyrus nissolia L.*	Gesse de Nissole	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Oui	DT ZNIEFF
Fabaceae	*Lathyrus pratensis L.*	Gesse des prés	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Oleaceae	*Ligustrum vulgare L.*	Troëne commun	Boisements thermophiles	Haies	Non	–
Scrophulariaceae	*Linaria vulgaris Mill.*	Linaire commune	Lisières thermophiles	Lisières	Non	–
Linaceae	*Linum bienne Mill.*	Lin à feuilles étroites	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Oui	DT ZNIEFF
Caprifoliaceae	*Lonicera nitida E.H.Wilson*	Chèvrefeuille arbustif	Cultivée	Frênaies et haies à l'est	Non	Cultivée
Caprifoliaceae	*Lonicera periclymenum L.*	Chèvrefeuille des bois	Boisements mésophiles	Tous boisements	Non	–
Fabaceae	*Lotus corniculatus L.*	Lotier corniculé	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Juncaceae	*Luzula campestris (L.) DC.*	Luzule des champs	Prairies oligotrophes	Prairies de fauche	Non	–
Rosaceae	*Malus domestica Borkh.*	Pommier cultivé	Cultivée	Haies au sud	Non	Cultivée
Malvaceae	*Malva neglecta Wallr.*	Mauve négligée	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Fabaceae	*Medicago lupulina L.*	Luzerne lupuline	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Fabaceae	*Medicago sativa L.*	Luzerne cultivée	Friches	Friches herbacées	Non	AN
Boraginaceae	*Myosotis arvensis Hill*	Myosotide des champs	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Asteraceae	*Picris echioides L.*	Picride fausse vipérine	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Picris hieracioides L.*	Picride fausse épervière	Friches	Friches herbacées	Non	–
Plantaginaceae	*Plantago coronopus L.*	Plantain corne-de-cerf	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Plantaginaceae	*Plantago lanceolata L.*	Plantain lancéolé	Prairies mésophiles	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Plantaginaceae	*Plantago major L.*	Grand plantain	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–

Polygonaceae	*Polygonum persicaria L.*	Renouée persicaire	Friches et cultures humides	Friches herbacées	Non	–
Portulacaceae	*Portulaca oleracea L.*	Pourpier maraîcher	Cultures	Friches herbacées	Non	–
Rosaceae	*Potentilla reptans L.*	Potentille rampante	Lisières thermophiles	Friches herbacées	Non	–
Lamiaceae	*Prunella vulgaris L.*	Brunelle commune	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Rosaceae	*Prunus cerasus L.*	Cerisier	Cultivée	Haies	Non	AN
Rosaceae	*Prunus laurocerasus L.*	Laurier-palme	Cultivée	Haies	Non	AN
Rosaceae	*Prunus spinosa L.*	Prunellier	Boisements eutrophes	Haies	Non	–
Fagaceae	*Quercus ilex L.*	Chêne vert	Cultivée	Haies	Non	DT ZNIEFF
Fagaceae	*Quercus robur L.*	Chêne pédonculé	Boisements mésophiles	Haies et boisements	Non	–
Fagaceae	*Quercus rubra L.*	Chêne rouge	Cultivée	Haies	Non	AN
Ranunculaceae	*Ranunculus acris L.*	Renoncule âcre	Prairies méso-hygrophiles	Prairies de fauche méso-hygrophiles	Non	–
Rosaceae	*Rosa canina L.*	Églantier	Boisements mésophiles	Haies	Non	–
Rosaceae	*Rubus fruticosus L.*	Ronce commune	Lisières eutrophes	Haies	Non	–
Polygonaceae	*Rumex crispus L.*	Oseille crépue	Prairies pâturées	Friches herbacées	Non	–
Ruscaceae	*Ruscus aculeatus L.*	Fragon petit-houx	Lisières thermophiles	Haies	Oui	PE
Scrophulariaceae	*Scrophularia nodosa L.*	Scrophulaire noueuse	Lisières eutrophes	Fossés	Non	–
Asteraceae	*Senecio jacobaea L.*	Bâton-de-Jacob	Lisières eutrophes	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Asteraceae	*Sonchus asper (L.) Hill*	Laiteron rude	Cultures et friches	Friches herbacées	Non	–
Asteraceae	*Sonchus oleraceus L.*	Laiteron maraîcher	Cultures et friches	Friches herbacées	Non	–
Caryophyllaceae	*Stellaria holostea L.*	Stellaire holostée	Lisières siliceuses	Haies et boisements	Non	–
Oleaceae	*Syringa vulgaris L.*	Lilas	Cultivée	Haies au sud	Non	AN
Asteraceae	*Taraxacum officinale Weber*	Pissenlit	Prairies pâturées	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–

Lamiaceae	*Teucrium scorodonia L.*	Germandrée des haies	Lisières siliceuses	Haies et boisements	Non	–
Fabaceae	*Trifolium dubium Sibth.*	Trèfle douteux	Prairies méso-hygrophiles	Prairies de fauche méso-hygrophiles	Non	–
Fabaceae	*Trifolium pratense L.*	Trèfle des prés	Prairies mésophiles	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Fabaceae	*Trifolium repens L.*	Trèfle rampant	Prairies pâturées	Friches herbacées et prairies de fauche	Non	–
Fabaceae	*Ulex europaeus L.*	Ajonc d'Europe	Boisements siliceux	Boulaies et prairies secondaires	Non	–
Ulmaceae	*Ulmus minor Mill.*	Orme champêtre	Boisements thermophiles	Haies	Non	–
Urticaceae	*Urtica dioica L.*	Grande ortie	Lisières eutrophes	Friches herbacées	Non	–
Scrophulariaceae	*Veronica arvensis L.*	Véronique des champs	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Scrophulariaceae	*Veronica chamaedrys L.*	Véronique petit-chêne	Lisières thermophiles	Haies et prairies	Non	–
Scrophulariaceae	*Veronica serpyllifolia L.*	Véronique à feuilles de serpolet	Prairies mésophiles	Toutes prairies mésophiles	Non	–
Verbenaceae	*Verbena bonariensis L.*	Verveine de Buenos-Aires	Cultivée	Friches herbacées	Non	AN
Verbenaceae	*Verbena officinalis L.*	Verveine officinale	Lisières thermophiles	Friches herbacées	Non	–
Adoxaceae	*Viburnum tinus L.*	Viorne tin	Cultivée	Haies au sud	Non	AN
Fabaceae	*Vicia cracca L.*	Jarosse	Prairies méso-hygrophiles	Prairie au sud-ouest	Oui	–

PE : Protection européenne, PN : Protection nationale, PR : Protection régionale, DT ZNIEFF : Déterminante ZNIEFF, LR MA : Listes rouges Massif armoricain, AN : Adventice naturalisée

Annexe 3. Etudes zones humides

A.H.E

HERIAULT Nicolas

EXPERTISE ZONE HUMIDE

FRANCELOT

N° : 14-083

La Surboisière

HAUTE GOULAINE - 44

EURL HERIAULT Nicolas
7 rue Camille Saint Saëns
85500Les Herbiers

Tel : 09 81 62 52 47
Mobile : 06 79 60 73 87
heriault.eurl@bbox.fr

PRESENTATION

- Maitre d'ouvrage

Nom : FRANCELOT

Adresse : Rue Marcelin Berthelot
44822 Saint Herblain cedex

- Lieu du projet

Adresse : La Surboisière
44115 Haute Goulaine

Références cadastrales : section BC ; N° 40, 41,54, 55, 56, 57, 58 et 59p

- Contexte de l'étude

Faisabilité de la réalisation d'un lotissement à usage d'habitation.

- L'objet de l'étude

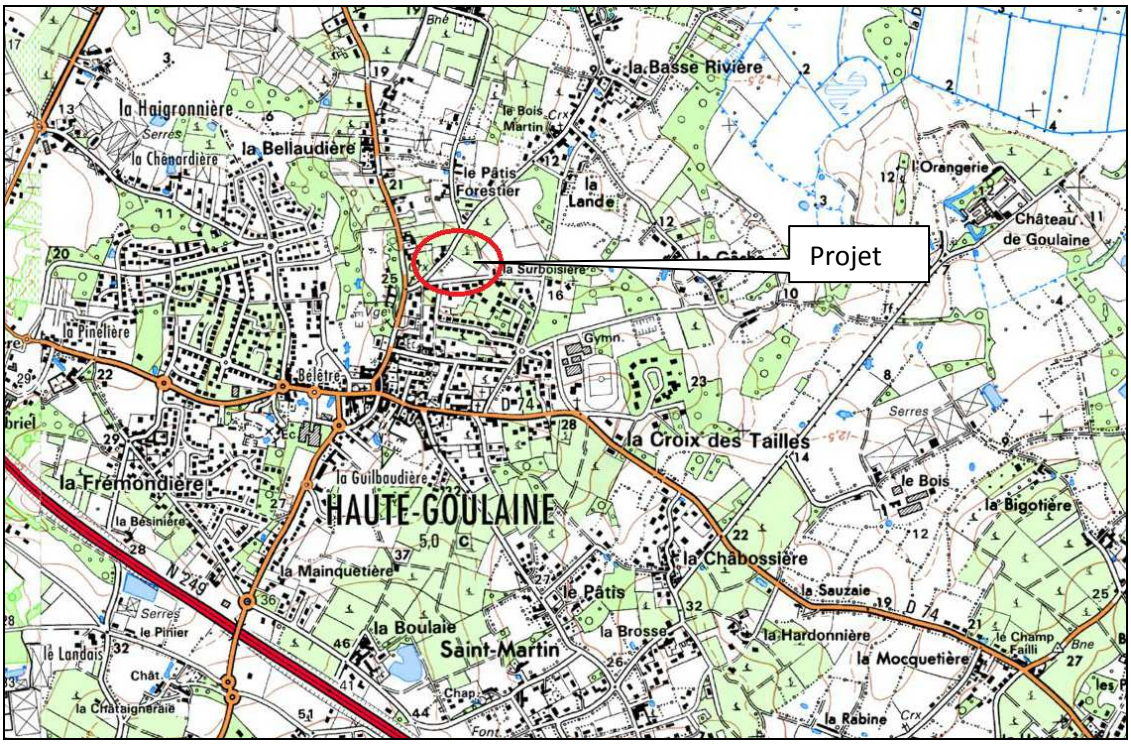
Le programme a comporté :

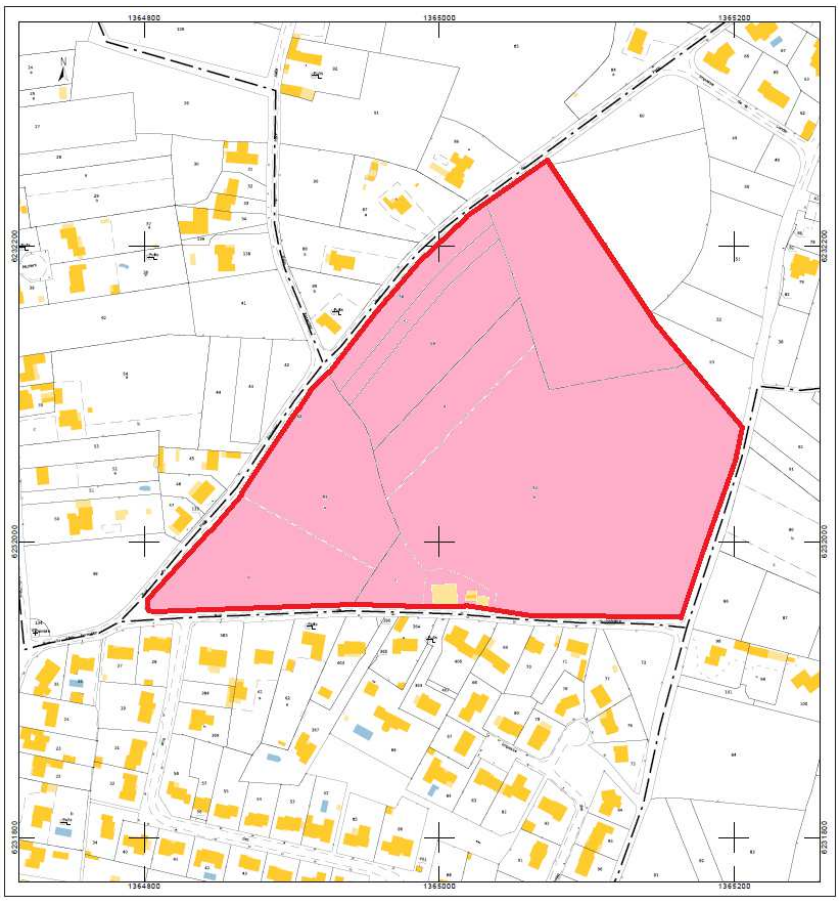
- Expertise floristique
- Expertise pédologique
- La rédaction du rapport d'étude

CARACTERISTIQUE DU TERRAIN

- <u>Situation géographique</u>

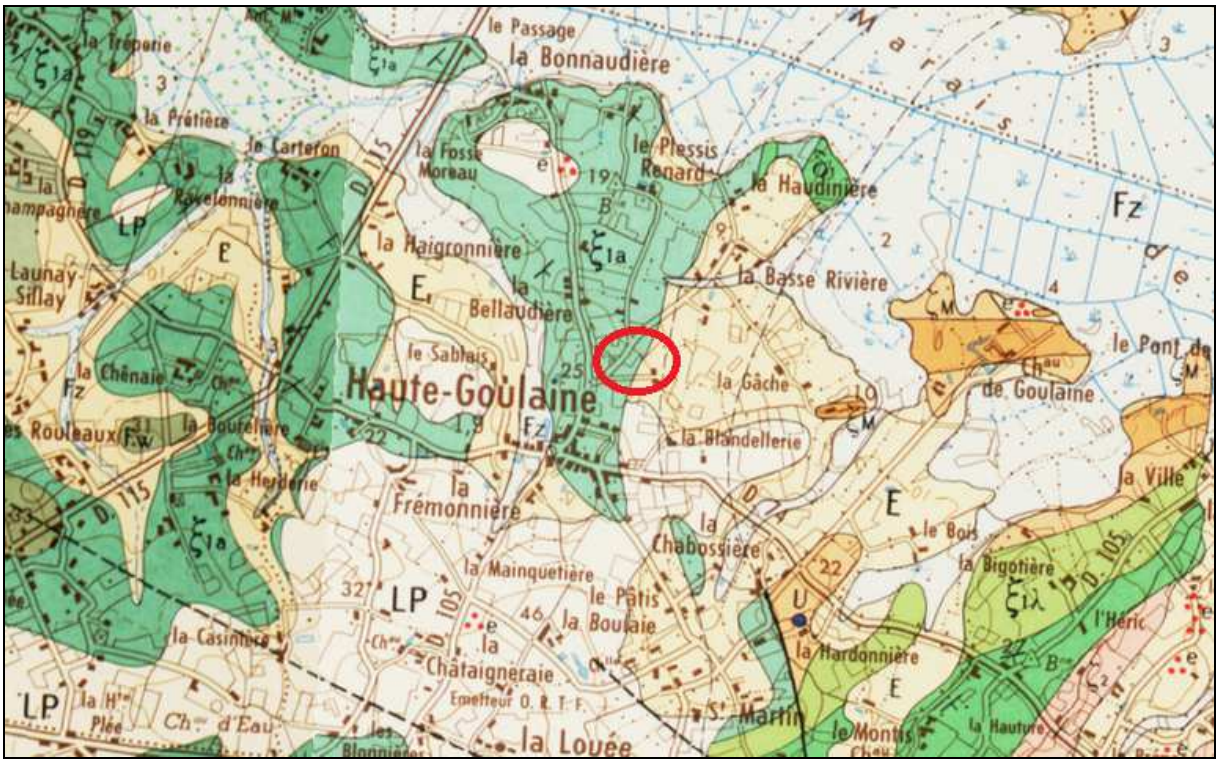
Le lieu d'étude se situe au Nord du bourg de Le Bignon





• <u>Géologie</u>

Selon la carte géologique n°482 au 1/50000 (Vallet), le secteur est constitué par des formations schisteuses.



EXPERTISE FLORISTIQUE

• Résultat de l'expertise

Les espèces présentes sont les suivantes :

- Ronce – Rubus sp
- Ray-grass anglais - Lolium perenne
- Trèfle –Trifolium
- Fétuque – Festuca
- Dactile – Dactylis

Une espèce caractéristique des zones humides a été observée sur une partie de la parcelle n°55 (cuvette) et à l'Est de la parcelle n°58, il s'agit de :

- Jonc épars – Juncus effusus

• Vue aérienne du terrain

EXPERTISE PEDOLOGIQUE

• Méthode d'investigation

L'arrêté du 1er octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides détermine la méthode d'investigation des sondages pédologiques.

L'investigation pédologique vise à vérifier la présence :

⇒ D'horizons histiques (ou tourbeux) débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol et d'une épaisseur d'au moins 50 centimètres

⇒ Ou de traits réductiques débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol

⇒ Ou de traits rédoxiques débutant à moins de 25 centimètres de la surface du sol et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur

⇒ Ou de traits rédoxiques débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol, se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur, et de traits réductiques apparaissant entre 80 et 120 centimètres de profondeur

Si ces caractéristiques sont présentes, le sol peut être considéré comme sol humide.

• Résultats de l'expertise

L'expertise pédologique a été réalisée en juin 2014, par 29 sondages à la tarière manuelle jusqu'à 1 mètre ou au refus.

Les excavations montrent une classification en luvisol et redoxisol.

Le plan d'implantation est annexé.

La coupe des sondages est la suivante :

T1 : 0,00 – 0,50 m : Limons marron
0,50 m : Refus
0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T2 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T3 : 0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron
0,60 m : Refus
0,25 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T4 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,25 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T5 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T6 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,00 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe Va)

T7 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T8 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T9 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T10 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T11 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T12 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T13 : 0,00 – 0,50 m : Limons marron
0,50 m : Refus
0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T14 : 0,00 – 0,70 m : Limons argileux marron
0,70 m : Refus
0,40 – 0,70 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T15 : 0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron
0,60 m : Refus
0,30 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T16 : 0,00 – 0,70 m : Limons argileux marron
0,70 m : Refus
0,30 – 0,70 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T17 : 0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron
0,60 m : Refus
0,30 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T18 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T19 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T20 : 0,00 – 0,80 m : Limons argileux marron
0,80 m : Refus
0,30 – 0,80 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T21 : 0,00 – 1,00 m : Limons argileux marron
0,30 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T22 : 0,00 – 1,00 m : Limons argileux marron
0,30 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T23 : 0,00 – 1,00 m : Limons argileux marron
0,30 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T24 : 0,00 – 0,80 m : Limons argileux marron
0,80 m : Refus
0,25 – 0,80 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T25 : 0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T26 : 0,00 – 0,60 m : Limons marron
0,60 m : Refus
0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T27 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T28 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T29 : 0,00 – 0,50 m : Limons marron
0,50 – 1,00 m : Limons argileux marron
0,40 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVc)

T30 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T31 : 0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron
0,50 m : Refus
0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T32 : 0,00 – 0,70 m : Limons argileux marron
0,70 m : Refus
0,40 – 0,70 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

CONCLUSION

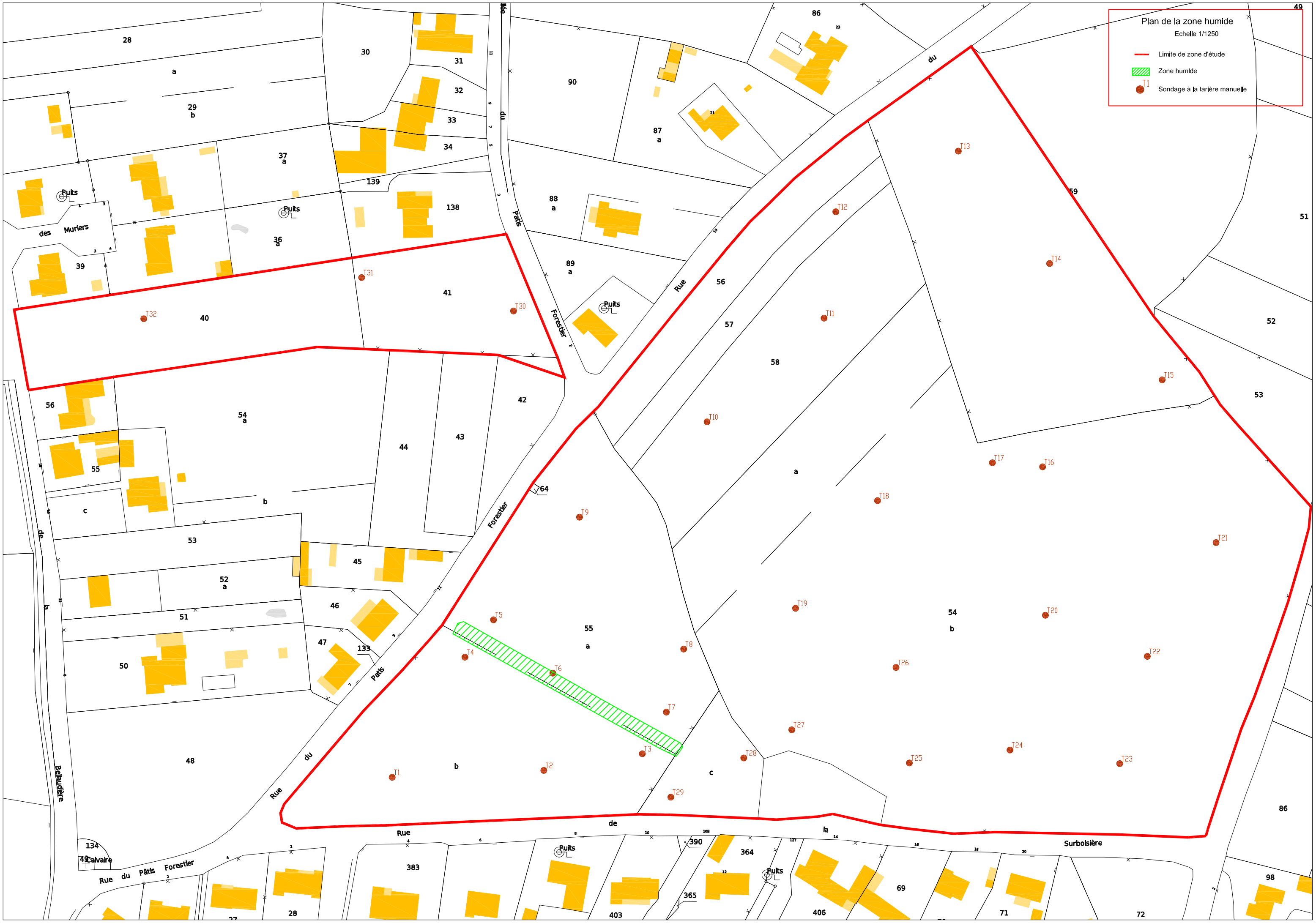
La surface d'emprise des zones humides est estimée à 590 m².

Pour la création du lotissement, une attention particulière sera effectuée sur cette zone, par rapport à la rubrique 3.3.1.0 « Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais » du régime de déclaration des installations, ouvrages, travaux et activités au titre de la loi sur l'eau (articles L.214-1 et les suivants et R.214-1 du code de l'environnement).

Fait le 9 juillet 2016 N. HERIAULT
Aux Herbiers

DOCUMENTS ANNEXES

- Plan d'implantation des sondages et de la zone humide au 1/1000


Plan de la zone humide
Echelle 1/1250
Limite de zone d'étude
Zone humide
Sondage à la tarière manuelle
T1
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
T11
T12
T13
T14
T15
T16
T17
T18
T19
T20
T21
T22
T23
T24
T25
T26
T27
T28
T29
T30
T31
T32
Rue du Pâtis Forestier
Rue de la Bellaudière
Rue de la Surbolsière
Rue du Calvaire
Rue des Murlers
Puits

Description des sondages réalisés par AHE en juillet 2016

T1 :

0,00 – 0,50 m : Limons marron

0,50 m : Refus

0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T2 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T3 :

0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron

0,60 m : Refus

0,25 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T4 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,25 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T5 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T6 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,00 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe Va)

T7 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,30 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T8 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T9 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T10 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T11 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T12 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T13 :

0,00 – 0,50 m : Limons marron

0,50 m : Refus

0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T14 :

0,00 – 0,70 m : Limons argileux marron

0,70 m : Refus

0,40 – 0,70 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T15 :

0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron

0,60 m : Refus

0,30 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T16 :

0,00 – 0,70 m : Limons argileux marron

0,70 m : Refus

0,30 – 0,70 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T17 :

0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron

0,60 m : Refus

0,30 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T18 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T19 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T20 :

0,00 – 0,80 m : Limons argileux marron

0,80 m : Refus

0,30 – 0,80 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T21 :

0,00 – 1,00 m : Limons argileux marron

0,30 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T22 :

0,00 – 1,00 m : Limons argileux marron

0,30 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T23 :

0,00 – 1,00 m : Limons argileux marron

0,30 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T24 :

0,00 – 0,80 m : Limons argileux marron

0,80 m : Refus

0,25 – 0,80 m : Traces d'hydromorphie (classe IVb)

T25 :

0,00 – 0,60 m : Limons argileux marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T26 :

0,00 – 0,60 m : Limons marron

0,60 m : Refus

0,40 – 0,60 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T27 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T28 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T29 :

0,00 – 0,50 m : Limons marron

0,50 – 1,00 m : Limons argileux marron

0,40 – 1,00 m : Traces d'hydromorphie (classe IVc)

T30 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T31 :

0,00 – 0,50 m : Limons argileux marron

0,50 m : Refus

0,40 – 0,50 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

T32 :

0,00 – 0,70 m : Limons argileux marron

0,70 m : Refus

0,40 – 0,70 m : Traces d'hydromorphie (classe IVa)

Description des sondages réalisés par BURGEAP en janvier 2018

S1 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa à IVb

S2 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,80 m : Traits rédoxiques

0,80 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S3 :

0,00 – 0,40 m : Absence de traits rédoxiques

0,40 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,70 m : Traits rédoxiques

0,70 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb voire inférieure

S4 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,80 m : Traits rédoxiques

0,80 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe IVc/Va**

S5 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,70 m : Traits rédoxiques

0,70 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S6 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,80 m : Traits rédoxiques

0,80 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S7 :

0,00 – 0,10 m : Absence de traits rédoxiques

0,10 – 0,35 m : Traits rédoxiques

0,35 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

S8 :

0,00 – 0,30 m : Traits < 5%

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques + eau

0,50 – 0,80 m : Traits rédoxiques + eau

0,80 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S9 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,70 m : Traits rédoxiques peu visibles (sables)

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S10 :

0,00 – 0,20 m : Traits rédoxiques

0,20 – 0,30 m : Traits rédoxiques

0,30 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S11 :

0,00 – 0,25 m : Traits rédoxiques

0,25 – 0,70 m : Traits rédoxiques

0,70 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S12 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,70 m : Traits rédoxiques peu visibles (sables)

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S13 :

0,00 – 0,25 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,25 – 0,80 m : Traits rédoxiques sur refus

➔ Classe IVb/IVc

S14 :

0,00 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,90 m : Traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S15 :

0,00 – 0,30 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,30 – 0,80 m : Traits rédoxiques

0,80 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S16 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe ou IVa**

S17 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,70 m : Traits rédoxiques peu visibles (sables)

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVc

S18 :

0,00 – 0,30 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,30 – 0,60 m : Traits rédoxiques sur refus

➔ Classe IVb/IVc

S19 :

0,00 – 0,10 m : Absence de traits rédoxiques

0,10 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,90 m : Traits rédoxiques

➔ **Classe V**

S20 :

0,00 – 0,10 m : Absence de traits rédoxiques

0,10 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,90 m : Traits rédoxiques peu visibles (sables)

➔ **Classe V**

S21 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,40 m : Traits rédoxiques diffus

0,40 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques (sables)

0,60 – 0,85 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S22 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,60 m : Traits rédoxiques diffus

0,60 – 0,80 m : Traits rédoxiques + eau + résidus végétaux

0,80 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb

S23 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,30 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus

0,50 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S24 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus

0,50 – 0,80 m : Traits rédoxiques

0,80 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S25 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,70 m : Traits rédoxiques

0,70 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S26 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,35 m : Traits rédoxiques +eau

0,35 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S27 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,40 m : Traits rédoxiques + eau

0,40 – 0,50 m : Traits rédoxiques + eau

0,50 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe ou IVa**

S28 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,70 m : Traits rédoxiques

0,70 – 0,80 m : Traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S29 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques + résidus végétaux

0,30 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,80 m : Traits rédoxiques sur altération du micaschiste

0,80 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S30 :

0,00 – 0,30 m : Traits rédoxiques

0,30 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques + résidus végétaux

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

S31 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques + eau

0,20 – 0,40 m : Absence de traits rédoxiques + eau

0,40 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques + eau + résidus végétaux

0,60 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe < III

S32 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,30 m : Traits rédoxiques

0,30 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques + résidus végétaux

0,70 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

S33 :

0,00 – 0,30 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques + résidus végétaux

0,80 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S34 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,80 m : Traits rédoxiques + résidus végétaux

0,80 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S35 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,80 m : Traits rédoxiques

0,80 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb

S36 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Absence de traits rédoxiques

0,50 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ Classe < III

S37 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,45 m : Absence de traits rédoxiques + eau

0,45 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus +eau

➔ Classe < III

S38 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques + eau

0,60 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus +eau

➔ Classe < III

S39 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques + éclats briques

0,25 – 0,50 m : Absence de traits rédoxiques + résidus végétaux

0,50 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus +eau

➔ Classe < III

S40 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,70 m : Traits rédoxiques

0,70 – 1,00 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus +eau

➔ **Classe Va**

S41 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques + éclats de schistes + eau

0,50 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S42 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques + racines

0,20 – 0,35 m : Traits rédoxiques diffus

0,35 – 0,60 m : Traits rédoxiques + éclats de quartz

0,60 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S43 :

0,00 – 0,25 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,25 – 0,40 m : Traits rédoxiques diffus

0,40 – 0,60 m : Traits rédoxiques + résidus végétaux

0,60 – 0,85 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S44 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,60 m : Traits rédoxiques diffus + éclats de schistes

0,60 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb/IVc

S45 :

0,00 – 0,40 m : Absence de traits rédoxiques

0,40 – 0,60 m : Traits rédoxiques diffus + éclats de schistes

0,60 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa/IVb

S46 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus

0,50 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S47 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus + résidus végétaux

0,50 – 0,70 m : Altération du micaschiste à refus + eau

➔ Classe IVa

S48 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus à disparaition

0,50 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S49 :

0,00 – 0,30 m : Absence de traits rédoxiques + racines

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus + résidus végétaux

0,50 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques

0,60 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S50 :

0,00 – 0,20 m : Traits rédoxiques diffus

0,20 – 0,50 m : Absence de traits rédoxiques

0,50 – 0,70 m : Traits rédoxiques diffus

0,70 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

S51 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques + racines

0,20 – 0,50 m : Traits rédoxiques + résidus végétaux

0,50 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques

0,60 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S52 :

0,00 – 0,20 m : Traits rédoxiques

0,20 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques + éclats de schistes

0,60 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques

0,80 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Hors classe

S53 :

0,00 – 0,20 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,20 – 0,40 m : Traits rédoxiques diffus < 5% + eau

0,40 – 0,60 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ Classe < III

S54 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques + racines

0,25 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques + débris végétaux

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S55 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Absence de traits rédoxiques (diffus entre 0,40 et 0,50 m)

0,50 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques sur altération du micaschiste à refus

➔ Classe < III

S56 :

0,00 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,60 m : Traits rédoxiques diffus à disparition

0,60 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S57 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques + résidus végétaux

0,50 – 0,65 m : Traits rédoxiques diffus

0,65 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVb

S58 :

0,00 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va (mal caractérisé)**

S59 :

0,00 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va (mal caractérisé)**

S60 :

0,00 – 0,60 m : Traits rédoxiques

0,60 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques

0,80 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S61 :

0,00 – 0,50 m : Traits rédoxiques + éclats de quartz

0,50 – 0,65 m : Traits rédoxiques sur altération

0,65 – 0,90 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S62 :

0,00 – 0,25 m : Traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus

0,50 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va (mal caractérisé)**

S63 :

0,00 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,80 m : Traits rédoxiques diffus

0,80 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S64 :

0,00 – 0,25 m : Absence de traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus

0,50 – 0,70 m : Traits rédoxiques diffus

0,70 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va**

S65 :

0,00 – 0,30 m : Traits rédoxiques

0,30 – 0,70 m : Traits rédoxiques diffus

0,70 – 0,90 m : Traits rédoxiques à réductiques

➔ **Classe Va/b**

S66 :

0,00 – 0,30 m : Traits rédoxiques

0,30 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,50 – 0,80 m : Absence de traits rédoxiques

0,80 – 0,95 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

S67 :

0,00 – 0,25 m : Traits rédoxiques

0,25 – 0,50 m : Traits rédoxiques diffus

0,50 – 0,70 m : Traits rédoxiques diffus < 5%

0,70 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Classe Va (mal caractérisé)**

S68 :

0,00 – 0,20 m : Absence de traits rédoxiques

0,20 – 0,50 m : Traits rédoxiques

0,50 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ Classe IVa

S69 :

0,00 – 0,20 m : Traits rédoxiques

0,20 – 0,40 m : Traits rédoxiques diffus à disparition

0,50 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 1,00 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

S70 :

0,00 – 0,20 m : Traits rédoxiques

0,20 – 0,40 m : Traits rédoxiques

0,40 – 0,70 m : Absence de traits rédoxiques

0,70 – 0,80 m : Altération du micaschiste à refus

➔ **Hors classe**

Annexe 4. Mission d'étude de faisabilité sur le potentiel de développement en EnR&R

ALHYANGE
Bretagne Sud
INGENIERIE ACOUSTIQUE ET VIBRATOIRE

Alhyange Bretagne Sud

BRETAGNE
14 rue du Rouz
29900 CONCARNEAU
02.98.90.48.15
bzh@alhyange.com

7 impasse de la Petite Garenne
56000 VANNES
02.97.47.48.05
bzh@alhyange.com

PAYS DE LOIRE
1 Boulevard Paul CHABAS
44100 NANTES
02.85.67.00.80
grandouest@alhyange.com

Alhyange Acoustique

ILE DE FRANCE
192 rue du Faubourg Saint-Martin
75010 PARIS
01.43.14.29.01
info@alhyange.com

SUD-EST
102 rue Masséna
69006 LYON
04.82.53.89.69
sud-est@alhyange.com

CENTRE LOIRE
12 rue du Docteur Fournier
37000 TOURS
02.45.47.10.40
touraine@alhyange.com

www.acoustique.eu

AMENAGEMENT DU QUARTIER LA SURBOISIERE HAUTE GOULAINE (44)

DIAGNOSTIC ACOUSTIQUE
Caractérisation de la situation initiale

Destinataire

BURGEAP
Agence Loire-Bretagne
9, rue du Chêne Lassé
44806 Saint-Herblain Cedex

REDACTION	:	Renan LE GOAZIOU
APPROBATION	:	Yohan LEDUC

REFERENCE	:	ABS 17/20670
INDICE	:	Ind0
DATE	:	19/04/2018

CINOV GIAc

BRETAGNE ÉCO-ENTREPRISES

Sommaire

1. OBJET DE LA MISSION 3

2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE 4
2.1. Textes réglementaires 4
2.2. Normes 4
2.3. Résumé - Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières 5
2.4. Résumé - Arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'Arrêté du 30 mai 1996 relatif au classement des infrastructures de transports 7
2.5. Résumé - Décret n°2006-1099 du 31 Août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage 8

3. BIBLIOGRAPHIE – CLASSEMENT SONORE DES VOIES 9

4. CAMPAGNE DE MESURES ACOUSTIQUES 10
4.1. Emplacement des points de mesures acoustiques 10
4.2. Comptages routiers 11
4.3. Recalage des niveaux sonores mesurés par rapport à un trafic long terme 11
4.4. Résultats des relevés de trafics 13
4.5. Conditions de mesures acoustiques 14
4.6. Résultats des mesures acoustiques 15
4.7. Recalage des mesures par rapport au trafic long terme 16

5. ANALYSES ET INTERPRÉTATIONS RÈGLEMENTAIRES 17
5.1. Bruit routier : arrêté du 5 mai 1995 17
5.2. Seuils de bruit maxi et isolement de façade 18
5.3. Bruit de voisinage : Décret du 31 août 2006 19

6. PRÉCONISATIONS GÉNÉRALES D'AMÉNAGEMENT 20
6.1. Préconisations relatives au trafic routier (à la source) 20
6.2. Préconisations relatives à la protection des bâtiments 21
6.3. Préconisations relatives à l'architecture des bâtiments 23
6.4. Application à l'aménagement du quartier 24

7. CONCLUSION 25

8. ANNEXES 26
8.1. Fiches de mesure dans l'environnement 27
8.2. Corrélations mesures acoustiques / trafics routiers 33
8.3. Niveaux et critères de bruit résiduel 35
8.4. Conditions météorologiques 37
8.5. Matériel et logiciels utilisés 39
8.6. Notions Acoustiques 40

1. OBJET DE LA MISSION

Dans le cadre des études d'impact du projet d'aménagement du quartier La Surboisière à Haute Goulaine (44), l'objet de l'audit acoustique est de permettre à l'aménageur d'avoir une connaissance des nuisances sonores existantes et futures et des critères de bruit réglementaires en découlant.

La figure suivante présente l'emplacement du projet.

Ce rapport présente la caractérisation de l'état sonore initial dans cette zone.

2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

2.1. Textes réglementaires

La réglementation acoustique applicable dans le cadre du projet d'aménagement est la suivante :

- **Code de l'environnement** par l'article L 571-92 complété par ses textes d'application soit les articles R571-44 à R571-523 relatifs à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres ;
- **Décret n°95-21 et 95-22 du 9 janvier 1995** relatif au classement des infrastructures de transports terrestres et modifiant le Code de l'urbanisme et le Code de la construction et de l'habitation ;
- **Arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'Arrêté du 30 mai 1996** relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit ;
- **Arrêté du 5 mai 1995** relatif au bruit des infrastructures routières ;
- **Décret n°2006-1099 du 31 août 2006** relatif à la lutte contre les bruits de voisinage ;
- **Arrêté préfectoral du 30 avril 2002** relatif aux bruits de voisinage pour le département de la Loire Atlantique (44).

Les principaux textes sont résumés aux pages suivantes.

2.2. Normes

Les normes applicables sont les suivantes :

- **Norme NF S 31-110** « Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits dans l'environnement – Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation » de novembre 2005 ;
- **Norme NF S 31-085** « Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier - Spécifications générales de mesurage » de novembre 2002 ;
- **Norme NF S 31-010** « Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dans l'environnement - Méthodes particulières de mesurage » de décembre 1996.

2.3. Résumé - Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières

Les niveaux maximaux admissibles pour la contribution sonore d'une infrastructure nouvelle sont fixés aux valeurs suivantes :

Infrastructure nouvelle

L'article 2 de l'arrêté du 5 mai 1995 fixe les niveaux admissibles en façade de bâtiment pour la contribution sonore d'une infrastructure nouvelle, telle que mentionnée à l'article 4 du décret 95-22 du 09-01-95, aux valeurs précisées dans le tableau ci-dessous.

Usage et nature des locaux	LAeq (2) Diurne (6h-22h)	LAeq (2) Nocturne (22h-6h)
Etablissements de santé, de soins et d'action sociale	60 dB(A) (1)	55 dB(A)
Etablissement d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	60 dB(A)	-
Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	60 dB(A)	55 dB(A)
Autres logements	65 dB(A)	60 dB(A)
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	65 dB(A)	-

Nota :

(1) Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour de malades, ce niveau est abaissé à **57 dB(A)**.

(2) Les niveaux sonores LAeq indiqués sont les niveaux à 2 mètres en avant de la façade des bâtiments, fenêtres fermées.

Une zone est d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant mesuré avant la construction de la voie nouvelle est inférieur à 65 dB(A) en période diurne et inférieur à 60 dB(A) en période nocturne.

Dans le cas où une zone respecte le critère d'ambiance modérée seulement pour la période nocturne, c'est le niveau sonore maximal de 55 dB(A) qui s'applique à cette période.

Voie existante

Lors d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante, le niveau sonore résultant devra respecter les prescriptions suivantes :

- Si la contribution sonore avant travaux est inférieure aux valeurs fixées dans le tableau précédent, elle ne pourra excéder ces valeurs après travaux ;
- Dans le cas contraire, la contribution sonore après travaux ne doit pas dépasser la valeur existant avant travaux, sans pouvoir excéder 65 dB(A) en période diurne et 60 dB(A) en période nocturne.

L'article 3 de l'arrêté du 5 mai 1995 définit les objectifs suivants pour le cas de transformation d'une route (pour une augmentation de la contribution sonore de l'infrastructure d'au moins 2 dB(A) à terme) en période diurne (6h - 22h), aux valeurs suivantes (pour la période nocturne, les valeurs sont diminuées de 5 dB(A)) :

Nature de locaux	Contribution actuelle de la route existante	Niveau sonore ambiant initial de jour (avant transformation) (1)	Seuil à respecter pour la seule route après transformation
Logements	≤ 60 dB(A)	< 65 dB(A)	60 dB(A)
		≥ 65 dB(A)	65 dB(A)
	> 60 et ≤ 65 dB(A)	< 65 dB(A)	Valeur de la contribution actuelle de la route
		≥ 65 dB(A)	65 dB(A)
	> 65 dB(A)	≥ 65 dB(A)	65 dB(A)
Bureaux	Indifférent	< 65 dB(A)	65 dB(A)
		≥ 65 dB(A)	Aucune obligation
Etablissements de santé, de soins et d'action sociale : salle de soins et de repos des malades	≤ 60 dB(A)	Indifférent	60 dB(A)
	> 60 et ≤ 65 dB(A)		Valeur de la contribution actuelle de la route
	> 65 dB(A)		65 dB(A)
Etablissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	≤ 60 dB(A)	Indifférent	60 dB(A)
	> 60 et ≤ 65 dB(A)		Valeur de la contribution actuelle de la route
	> 65 dB(A)		65 dB(A)

Nota :

(1) Le niveau sonore ambiant initial est le niveau existant sur le site **toutes sources sonores confondues**, y compris la route dans son état initial.

Isolement de façade

« Article 4 - Dans les cas nécessitant un traitement du bâti mentionnés à l'article 5 du décret relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres, l'isolement acoustique contre les bruits extérieurs DnAt vis-à-vis du spectre routier défini dans les normes en vigueur [exprimé par l'indice DnT,A,tr depuis la NRA], exprimé en dB(A), sera tel que :

$$DnT,A,tr \geq LAeq - Obj + 25$$

LAeq : Contribution sonore de l'infrastructure définie à l'article 1er
Obj : contribution sonore maximale admissible

[…] l'isolement résultant ne devra pas être inférieur à 30 dB(A). »

2.4. Résumé - Arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'Arrêté du 30 mai 1996 relatif au classement des infrastructures de transports

Arrêté relatif aux modalités d'application de classement des infrastructures de transports terrestres et isolement acoustique des bâtiments d'habitations dans les secteurs affectés par le bruit.

Les isolements de façade sont en particulier conditionnés par la catégorie des voies à proximité et l'éloignement du bâtiment par rapport à celles-ci, dans le cas d'un tissu urbain ouvert :

Distance (en mètres)	**0 à 10**	**10 à 15**	**15 à 20**	**20 à 25**	**25 à 30**	**30 à 40**	**40 à 50**	**50 à 65**	**65 à 80**	**80 à 100**	**100 à 125**	**125 à 160**	**160 à 200**	**200 à 250**	**250 à 300**
Catégorie 1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32
Catégorie 2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	
Catégorie 3	38	38	37	36	35	34	33	32	31	30					
Catégorie 4	35	33	32	31	30										
Catégorie 5	30														

Nota :

- A diminuer selon la valeur de l'angle α sous lequel est vue l'infrastructure depuis le milieu de la façade de l'angle considéré (orientation du bâtiment et présence d'obstacles entre l'infrastructure et la façade ; voir tableau ci-dessous) ;
- A diminuer si présence d'une protection acoustique le long de l'infrastructure (écran acoustique ou merlon) ;
- Les valeurs du tableau tiennent compte de l'influence de conditions météorologiques standards.

Protection des façades du bâtiment considéré par des bâtiments

Angle de vue α	Correction
α > 135 °	0 dB
110° < α ≤ 135°	-1 dB
90° < α ≤ 110°	-2 dB
60° < α ≤ 90°	-3 dB
30° < α ≤ 60°	-4 dB
15° < α ≤ 30°	-5 dB
0° < α ≤ 15°	-6 dB
α = 0° (façade arrière)	-9 dB

L'article 7 précise que « l'application de la règlementation consiste […] à respecter la valeur d'isolement acoustique minimal […] de telle sorte que le niveau de bruit à l'intérieur des pièces principales et cuisines soit égal ou inférieur à 35 dB(A) en période diurne et 30 dB(A) en période nocturne, ces valeurs étant exprimées en niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A LAeq, de 6h à 22h pour la période diurne et de 22h à 6h pour la période nocturne. Cette valeur doit être supérieure ou égale à 30 dB. »

2.5. Résumé - Décret n°2006-1099 du 31 Août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage

Ce texte limite l'émergence admissible du niveau sonore ambiant (comprenant le bruit perturbateur) sur le niveau sonore résiduel, en période diurne (7h – 22h) et nocturne (22h – 7h).

Émergence globale

Période considérée	Période diurne (7h-22h)	Période nocturne (22h-7h)
Emergence maximale autorisée	+5 dB(A)	+3 dB(A)

Les valeurs maximales de l'émergence globale sont à pondérer en fonction de la durée d'apparition du bruit perturbateur :

Durée cumulée d'apparition du bruit particulier	Terme correctif en dB(A)
T ≤ 1 minute	+6
1 minute < T ≤ 5 minutes	+5
5 minutes < T ≤ 20 minutes	+4
20 minutes < T ≤ 2 heures	+3
2 heures < T ≤ 4 heures	+2
4 heures < T ≤ 8 heures	+1
8 heures > T	+0

Émergence spectrale

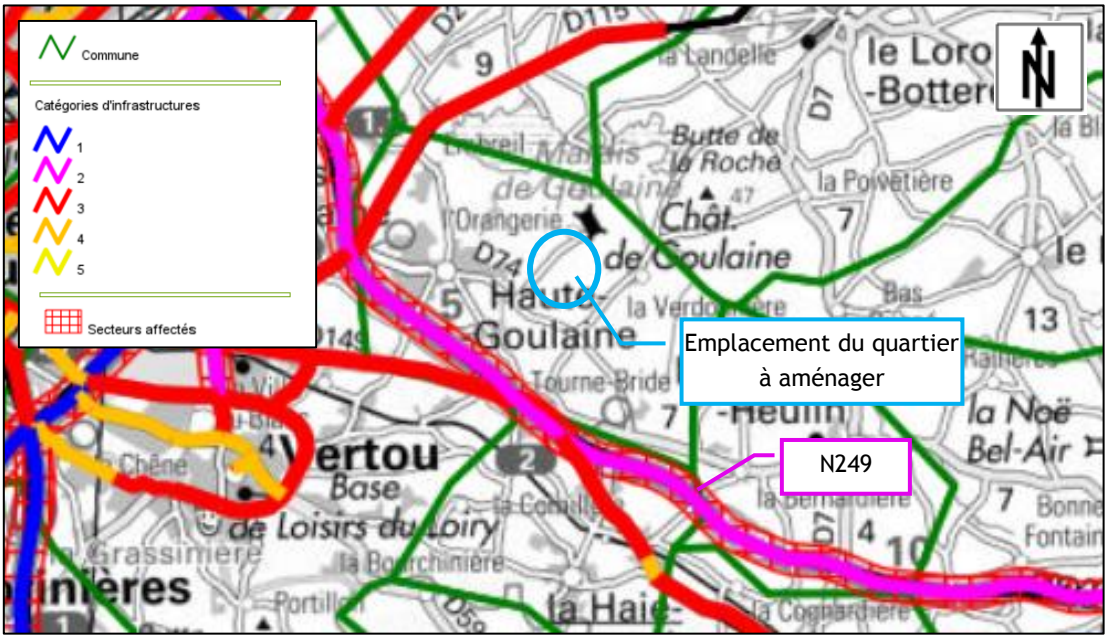
L'émergence spectrale est définie comme la différence entre le niveau sonore ambiant (comprenant le bruit perturbateur) et le niveau sonore résiduel dans chaque bande d'octave.

Bande d'octave	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Emergence maximale autorisée	+7 dB	+7 dB	+5 dB	+5 dB	+5 dB	+5 dB

L'arrêté préfectoral du 30 avril 2002, relatif aux bruits de voisinage pour le département de la Loire Atlantique (44), stipule à l'article 19 que « *L'émergence, en référence aux dispositions de l'article R.48-4 du Code de la Santé Publique (décret n° 95-408 du 18 avril 1995) sera prise en compte pour l'appréciation d'une gêne* ***lorsque le niveau de bruit*** **ambiant mesuré comportant le bruit particulier sera égal ou supérieur à 25 dB(A) ».**

3. BIBLIOGRAPHIE – CLASSEMENT SONORE DES VOIES

Les classements sonores des voies bruyantes dans la zone d'étude sont visibles sur la carte suivante.



Commentaires :

- La N249 est une infrastructure de catégorie 2. Elle est située à plus de 1200 mètres du quartier à aménager ;
- Les différentes infrastructures de transports terrestres classées sont suffisamment éloignées du quartier objet de l'étude ; leurs impacts acoustiques sont donc négligeables.

Il est également à noter que la commune de Haute Goulaine n'est pas située dans le Plan d'Exposition au Bruit (PEB) de l'aérodrome de Nantes-Atlantique.

4. CAMPAGNE DE MESURES ACOUSTIQUES

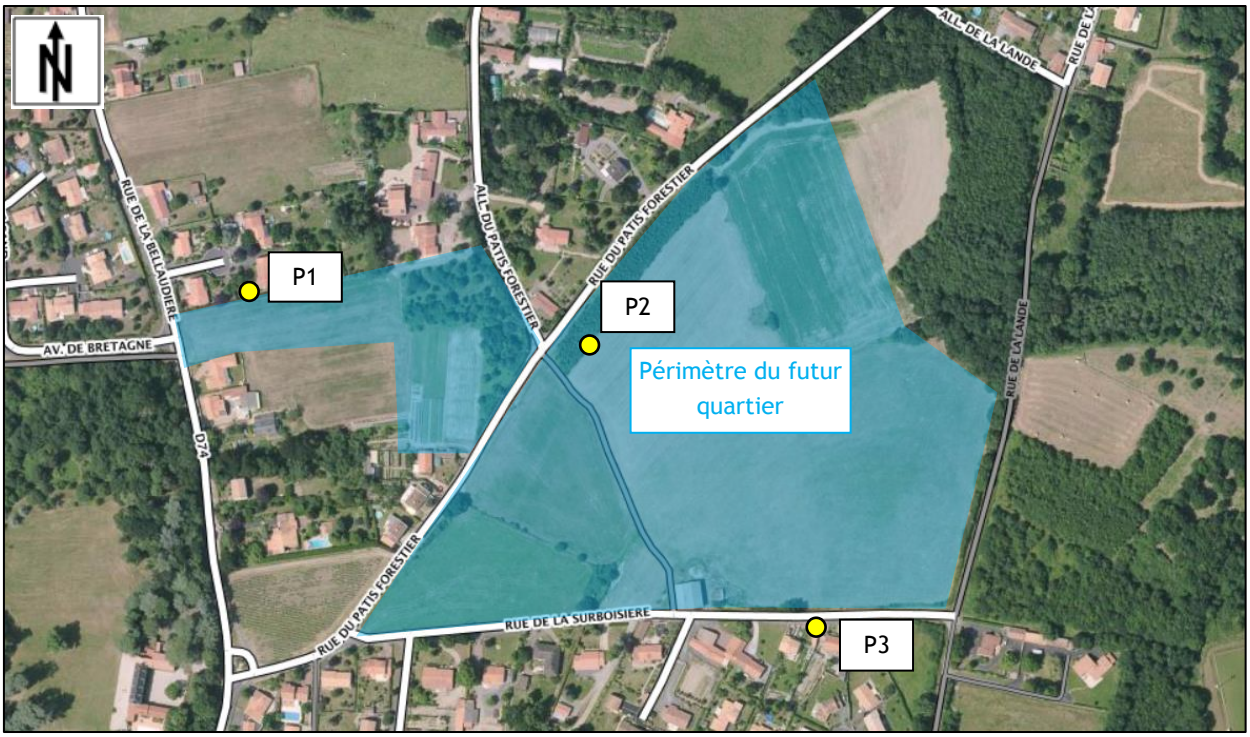
Afin de caractériser l'ambiance sonore existante, une campagne de mesures acoustiques a été réalisée en 3 points autour du futur quartier. Les mesures ont été réalisées sur une durée de 24 heures afin d'intégrer l'ensemble des périodes réglementaires nocturne et diurne.

Ces points de mesures sont répartis sur l'ensemble du secteur d'étude afin d'appréhender les différentes ambiances sonores dans cette zone.

En parallèle, un comptage du trafic routier a été réalisé sur les principaux axes de la zone afin de vérifier la corrélation entre les niveaux sonores mesurés et le trafic routier.

4.1. Emplacement des points de mesures acoustiques

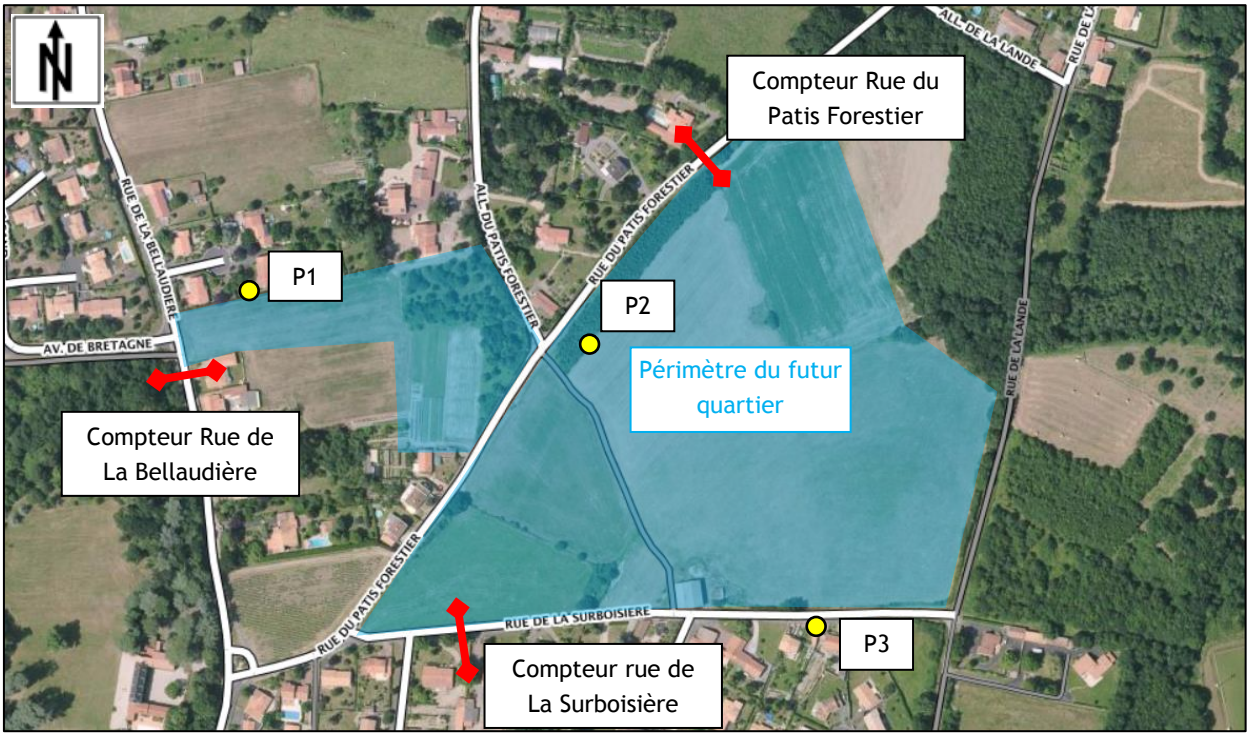
La vue aérienne ci-dessous précise l'implantation des points de mesures :



4.2. Comptages routiers

En parallèle des mesures acoustiques, un comptage du trafic routier a été réalisé par CPEV.

Pour cela, des boucles de comptages temporaires ont été installées au niveau des principaux axes routiers à proximité des différents points de mesure considérés :



4.3. Recalage des niveaux sonores mesurés par rapport à un trafic long terme

Sur base des estimations de trafics long-terme (1 semaine), et des trafics mesurés simultanément à la campagne de mesures acoustiques, les niveaux de pression acoustique de constat mesurés peuvent être réajustés conformément à la norme NFS 31-085 « Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier » pour obtenir les niveaux de pression acoustique représentatif du Long Terme.

Conformément à la norme NFS 31-085, le niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme *L*Aeq,LT (incluant les corrections suivant les conditions météorologiques) peut être assimilé au niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme Trafic *L*Aeq,LT,t.

Le niveau de pression acoustique représentatif du Long Terme Trafic *L*Aeq,LT,t est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$L_{Aeq,LT,t} = L_{Aeq,Constat} + 10 \lg \left(\frac{Q_{eq,LT}}{Q_{eq,mes}} \right) + 20 \lg \left(\frac{V_{m,LT}}{V_{m,mes}} \right)$$

Où :

- LAeq,LT,t est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A considéré comme représentatif du long terme trafic, sur l'intervalle de référence considéré ;
- LAeq,Constat est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A de constat, sur l'intervalle de référence considéré ;
- Qeq,LT est le débit moyen horaire équivalent, considéré comme représentatif du long terme trafic sur l'intervalle de référence considéré ;
- Qeq,mes est le débit moyen horaire équivalent compté lors du mesurage sur l'intervalle de référence considéré ;
- Vm,LT est la vitesse moyenne du flot de véhicules, considérée comme représentative de la vitesse de long terme sur l'intervalle de référence considéré ;
- Vm,mes est la vitesse moyenne du flot de véhicules, estimée ou constatée lors du mesurage sur l'intervalle de référence considéré.

Par ailleurs, le débit équivalent Qeq se calcule selon la formule :

Qeq = QVL + E QPL

Où :

- Qeq est le débit équivalent ;
- QVL est le débit "véhicules légers" ;
- QPL est le débit "poids lourds" ;
- E est un facteur d'équivalence qui dépend de la vitesse pratiquée sur la voie et de sa rampe au niveau du point de mesure longue durée considéré.

Nous considérerons que la vitesse moyenne "long terme" Vm,LT est similaire à la vitesse moyenne réglementaire pendant les mesures Vm,mes.

4.4. Résultats des relevés de trafics

Le tableau ci-dessous présente les trafics relevés durant la période de mesurage du comptage routier, par boucle de comptage.

Boucle de comptage	Types de mesure	Période de mesure			
		Du mercredi 21/03 - 13h Au jeudi 22/03 -13h		Trafic de long terme (1 semaine) équivalent par hypothèse au TMJA 2017	
		Diurne (6h - 22h)	Nocturne (22h - 6h)	Diurne (6h - 22h)	Nocturne (22h - 6h)
Rue de la Bellaudière	Trafic horaire TV	57.6	6.4	53.1	7.1
	% Poids Lourd	1.5%	0.0%	1.6%	2.0%
Rue du Patis Forestier	Trafic horaire TV	39.0	1.4	36.6	1.5
	% Poids Lourd	3.5%	0.0%	3.5%	0.0%
Rue de La Surboisière	Trafic horaire TV	8.6	0.3	8.0	0.7
	% Poids Lourd	4.4%	0.0%	5.1%	2.6%

Commentaires :

- Les trafics routiers mesurés sont relativement faibles ;
- Le plus fort trafic est constaté sur la Rue de la Bellaudière ;
- Le trafic de long terme pour les 3 voies (mesuré pendant une semaine complète et assimilé par hypothèse au TMJA 2017) révèle un trafic nocturne un peu plus élevé que celui caractérisé du mercredi 21 au jeudi 22 mars lors des mesures acoustiques. En effet, la prise en compte du trafic routier nocturne du vendredi et samedi soir tend à augmenter la moyenne du trafic diurne observé les autres jours ;
- Le trafic de long terme en période diurne est quant à lui sensiblement inférieur à celui relevé du mercredi 21 au jeudi 22 mars. En effet, la prise en compte du trafic routier diurne du dimanche tend à diminuer la moyenne du trafic diurne observé les jours ouvrés ;
- A partir de ces mesures de trafic routier, les niveaux sonores mesurés sont recalés par rapport au trafic routier de long terme afin de simuler des mesures acoustiques de long terme. Ces valeurs sont présentées dans le paragraphe 4.7.

4.5. Conditions de mesures acoustiques

Normes de mesures

Les mesures ont été effectuées suivant les normes :

- NF S 31-010 « Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement » ;
- NF-S 31-085 « Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier - Spécifications générales de mesurage »

Matériel utilisé et paramètres de réglage

Les sonomètres utilisés ont été étalonnés en laboratoire depuis moins d'un an, calibrés avant chaque campagne de mesures et étaient conformes à la norme NFS 31-009 (NF EN 60804) relative aux sonomètres intégrateurs.

La liste du matériel utilisé est détaillée en annexe.

Les réglages des sonomètres étaient les suivants :

- Niveau sonore moyen Leq ;
- Durée d'intégration d'1 seconde ;
- Mesures par bande de tiers d'octave de 20 Hz à 20 kHz.

Dates des mesures

Les mesures ont été réalisées par Renan LE GOAZIOU du mercredi 21 au jeudi 22 mars 2018 (de 13h00 à 13h00).

Les mesures ont eu lieu en dehors des périodes de vacances scolaires, on considère donc que le trafic routier et l'activité urbaine étaient donc représentatifs de la situation habituelle.

Conditions météorologiques

Lors des mesures, les conditions météorologies étaient conformes aux conditions de la norme de mesures. Elles sont détaillées en annexes.

4.6. Résultats des mesures acoustiques

Les résultats des niveaux sonores LAeq, L90 et L50 (indices statistiques représentant le niveau sonore mesuré dépassé pendant 90 ou 50% du temps de mesure) mesurés pour les périodes nocturne et diurne en chaque point de mesure sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Période	Emplacement	Niveaux sonores (dB(A))		
		LAeq	L50	L90
Diurne (6h - 22h)	P1	47.5	43.0	34.0
	P2	46.5	39.0	32.5
	P3	48.5	39.7	32.5
Nocturne (22h - 6h)	P1	35.0	28.5	24.5
	P2	36.0	28.0	24.0
	P3	32.0	27.0	23.0

Nota :

- Toutes les valeurs de niveaux sonores présentées sont arrondies au ½ dB(A) près ;
- Les résultats détaillés sont présentés en annexes.

Commentaires sur l'ambiance sonore générale :

- Les niveaux sonores mesurés aux 3 emplacements sont faibles et représentatifs d'un quartier avec un trafic routier faible ;
- Les principales sources de bruits sont :
  - P1 : Le trafic routier (en bruit de fond) sur la RD74 et sur la rue du Patis Forestier ;
  - P2 : Le trafic routier sur la RD74 ;
  - P3 : Le trafic routier sur la rue de La Surboisière et, en bruit de fond, sur la rue du Patis Forestier.
- Hormis le bruit lié aux passages de véhicules ou activités humaines ponctuelles à proximité, l'environnement sonore est principalement d'ordre naturel (bruissement des arbres, oiseaux).
- Les données de trafic ont permis de vérifier la cohérence des niveaux de bruit mesurés par rapport à l'évolution du trafic routier. L'indice R^2 permet de vérifier la bonne corrélation mesures de bruit / trafic. Cet indice R^2 est compris entre 0.43 et 0.80 pour les 3 points de mesures acoustiques ce qui est faible (les courbes des corrélations sont données en annexe). Cela se justifie par le trafic routier très faible dans cette zone, il en résulte que les niveaux sonores mesurés sont également influencés par d'autres sources de bruit (bruit d'ordre naturel principalement).

Les niveaux sonores mesurés les 21 et 22 mars 2018 sont ensuite recalés par rapport aux trafics moyens journaliers de long terme.

4.7. Recalage des mesures par rapport au trafic long terme

Les résultats des niveaux sonores mesurés LAeq,Constat et recalculés sur le long terme LAeq,LT,t (d'après les données assimilées au TMJA) pour les périodes diurne et nocturne sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Nota : Toutes les valeurs de niveaux sonores présentées sont arrondies au ½ dB(A) près.

Points de mesure	LAeq,Constat en dB(A)		LAeq,LT,t en dB(A)	
	Jour (6h-22h)	Nuit (22h-6h)	Jour (6h-22h)	Nuit (22h-6h)
P1	47.5	35.0	47.0	36.0
P2	46.5	36.0	46.5	36.0
P3	48.5	32.0	32.0	37.5

Nota :

- Les cases en vert indiquent les niveaux sonores en « zone modérée » ;
- Les cases en rouge indiquent les niveaux sonores supérieurs au critère « zone modérée » pour la période considérée.

Rappel : Une zone est d'ambiance sonore modérée si le niveau de bruit ambiant mesuré avant la construction de la voie nouvelle est inférieur à 65 dB(A) en période diurne et inférieur à 60 dB(A) en période nocturne. Dans le cas où une zone respecte le critère d'ambiance modérée seulement pour la période nocturne, c'est le niveau sonore maximal de 55 dB(A) qui s'applique à cette période.

Commentaires sur les calculs effectués :

- Les niveaux sonores recalculés aux 3 points ont légèrement diminué en période diurne (diminution de 0.5 dB(A)) ;
- Les niveaux sonores recalculés aux points P1 et P2 ont légèrement augmenté en période nocturne (augmentation de 0.5 dB(A)) ;
- Le niveau sonore en période nocturne au point P3 a augmenté de 6 dB(A) ce qui est significatif. Cela est dû à un trafic TMJA plus de 2 fois supérieur au trafic relevé lors des mesures acoustiques et par le fait que le TMJA nocturne possède un léger pourcentage de circulation de poids-lourds, alors qu'il n'y a pas eu de poids lourds à circuler lors des mesures acoustiques. Cependant, il s'agit ici de constatations purement mathématiques puisque le trafic routier sur cette voie est très faible (TJMA VL nocturne : 0.7 véhicule/heure avec 2.6 % de PL).
- Les niveaux sonores dans l'ensemble de la zone d'étude sont toujours « modérés » au sens de l'arrêté du 5 mai 1995, après recalage.

5. ANALYSES ET INTERPRÉTATIONS RÈGLEMENTAIRES

Sur base des résultats de mesure et du recalage sur le trafic de long terme, les seuils de bruit associés aux principaux textes règlementaires sont précisés ci-après.

5.1. Bruit routier : arrêté du 5 mai 1995

Le tableau suivant présente les résultats des niveaux sonores LAeq,LT,t (en dB(A)) en période jour (6h-22h) et nuit (22h-6h) et la caractérisation de ces zones selon l'arrêté du 5 mai 1995.

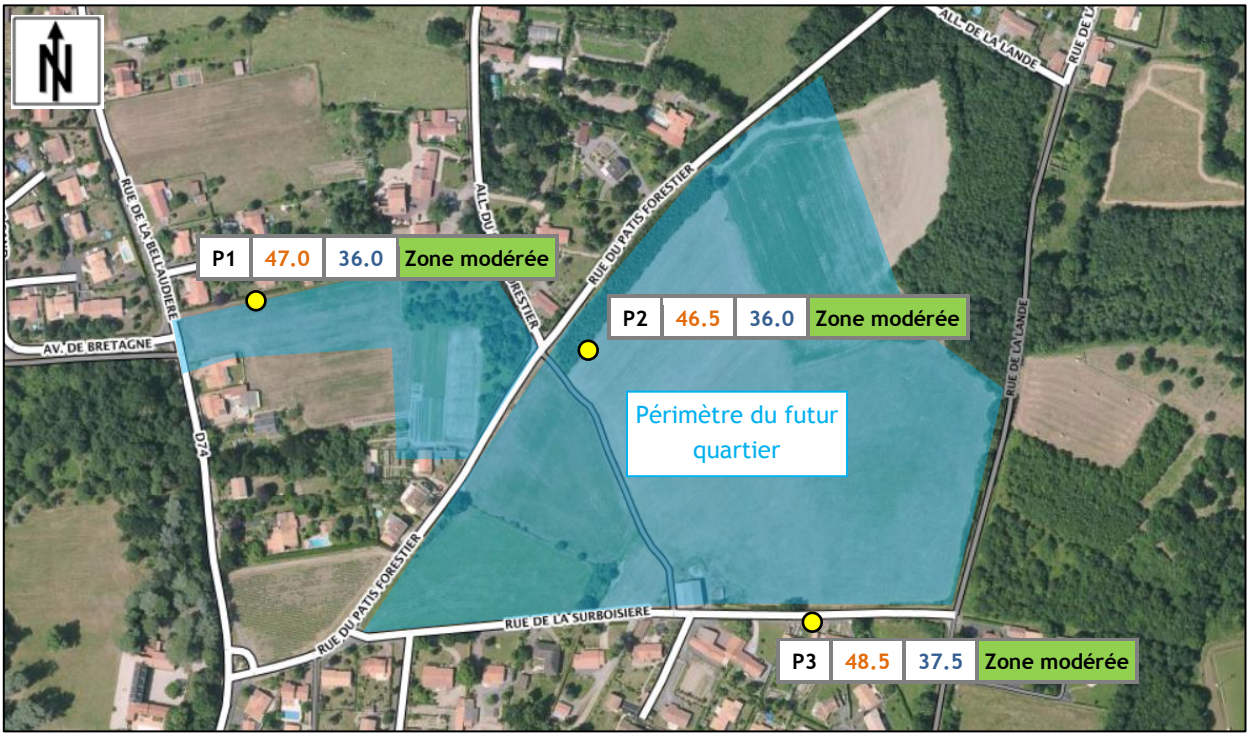
Compte tenu du trafic routier lors des mesures, représentatif du trafic routier habituel, le recalage des niveaux sonores par rapport à un trafic routier de long terme ne fera pas varier significativement les valeurs du tableau ci-dessous.

Emplacement	LAeq,LT,t diurne (6h - 22h)	LAeq,LT,t nocturne (22h - 6h)	Critère de zone (Arrêté 5 mai 1995)
P1	47.0	36.0	Zone modérée
P2	46.5	36.0	Zone modérée
P3	48.5	37.5	Zone modérée

Rappel critères : LAeq jour < 65 dB(A) et LAeq nuit < 60 dB(A) = Zone modérée.

Commentaire : L'ensemble du futur quartier est en zone d'ambiance sonore préexistante modérée.

La carte suivante présente la répartition de ces zones d'ambiance sonore sur la zone d'étude.



5.2. Seuils de bruit maxi et isolement de façade

Voie nouvelle

Les seuils de bruit maxi pour les voies nouvelles sont précisés ci-dessous.

Usage et nature des locaux initialement	Contribution maximale de l'infrastructure après travaux en dB(A)	
	LAeq 6h-22h	LAeq 22h-6h
Logements Zone modérée	60	55
Locaux à usage de bureaux	65	-
Etablissement de santé, de soins et d'action sociale	60[(1)]	55
Etablissement d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	60	-

(1) Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour de malades, ce niveau est abaissé à **57 dB(A)**.

Voie existante

Lors d'une modification ou transformation significative d'une infrastructure existante (augmentation de la contribution sonore de l'infrastructure d'au moins 2 dB(A) à terme), le niveau sonore résultant devra respecter les prescriptions suivantes :

- Si la contribution sonore avant travaux est inférieure aux valeurs fixées dans le tableau précédent, elle ne pourra excéder ces valeurs après travaux.
- Dans le cas contraire, la contribution sonore après travaux ne doit pas dépasser la valeur existant avant travaux, sans pouvoir excéder 65 dB(A) en période diurne et 60 dB(A) en période nocturne.

Isolement de façade logements existants uniquement

En cas de dépassement des contributions maximales, une précaution à mettre en œuvre peut être de s'assurer que les isolements de façades des logements existants respectent la contrainte suivante :

$$D_{nT,A,tr} \geq L_{Aeq} - Obj + 25$$

LAeq : Contribution sonore de l'infrastructure définie à l'article 1er

Obj : contribution sonore maximale admissible

5.3. Bruit de voisinage : Décret du 31 août 2006

Les niveaux de bruit résiduel sont définis en se basant sur les heures les plus calmes identifiés à chaque point de mesures pour les périodes diurne et nocturne, et selon l'indicateur L50 (indicateur supprimant les pics sonores ponctuels non-représentatifs de l'environnement sonore stable).

Des résultats plus complets sont présentés en annexes (résultats par bande d'octave).

Les niveaux sonores résiduels présentés ci-dessous pourront être utilisés par la MO et les MOE dans le cadre du respect du décret du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage (lors d'installations d'équipements techniques au sein du projet).

Nota : Les niveaux sonores indiqués dans le tableau ci-dessous correspondent aux heures les plus calmes identifiés pour chaque point en période diurne (7h-22h) et nocturne (22h-7h).

Emplacement	Niveau sonore résiduel global L50 en dB(A)	
	Période diurne (21h-22h)	Période nocturne (2h-3h)
Point 1	32.5	25.0
Point 2	32.5	24.5
Point 3	32.0	23.5

Commentaire : Les niveaux de bruit résiduel mesurés sont faibles et principalement influencés par les bruits de la nature.

Les niveaux résiduels par bande d'octave sont présentés en annexes.

6. PRÉCONISATIONS GÉNÉRALES D'AMÉNAGEMENT

A ce stade de l'étude, avant finalisation du scénario d'aménagement, quelques préconisations générales sont indiquées pour limiter l'impact des voies routières sur les bâtiments sensibles.

En effet, afin de limiter l'impact sonore au niveau d'un quartier, il est possible d'agir à différents niveaux :

- Action à la source – préconisations relatives au trafic ou sur les équipements techniques ;
- Action sur l'espace entre sources et espaces à protéger – préconisations relatives à la protection des bâtiments ;
- Action relative à l'aménagement intérieur – préconisations relatives à l'architecture des bâtiments.

6.1. Préconisations relatives au trafic routier (à la source)

Afin de réduire le niveau sonore sur un site, la méthode la plus efficace est de réduire la puissance sonore des sources.
On rappelle que les nuisances sonores causées par un véhicule sont de plusieurs types :

- Le bruit du moteur ;
- Le bruit des transmissions, essentiellement pour les poids lourds ;
- Le bruit de roulement.

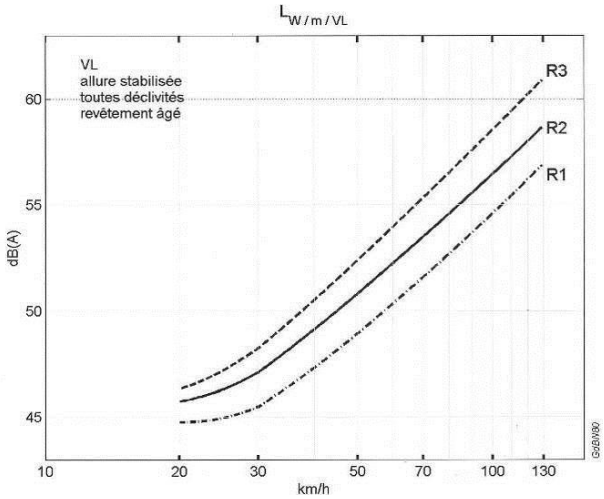
En termes de trafic routier, les préconisations seront de plusieurs types.

Types de véhicule circulant

Il n'est pas possible dans le cas présent de fixer des contraintes relatives aux puissances sonores des moteurs. Toutefois, la puissance sonore est souvent liée au gabarit et au poids des véhicules et les bruits de transmissions sont nettement réduits sur les véhicules légers. Il est donc possible de réduire l'accès à certaines zones pour les poids lourds. Ceci permettra également de réduire le trafic.

Vitesse des véhicules circulant

Les bruits de roulement peuvent être diminués en limitant la vitesse : une réduction de vitesse effective de 60 à 40 km/h permet d'abaisser le niveau sonore de 3 dB



Courbe d'évolution de la puissance sonore en fonction de la vitesse (ici fournie pour des revêtements d'âges variés) - extrait du guide du SETRA « Prévision du bruit routier - 1 - calcul des émissions sonores dues au trafic routier ».

On note toutefois que la mise en œuvre d'obstacles de type ralentisseurs peut avoir des effets inverses en augmentant les accélérations et freinages. Les accélérations rapides et freinages génèrent des niveaux sonores plus importants que lorsque la circulation est stabilisée.

6.2. Préconisations relatives à la protection des bâtiments

Mise en œuvre d'écrans

La mise en œuvre d'écrans acoustiques permet de limiter les niveaux sonores en façade. Toutefois, leur efficacité est fortement liée à leur hauteur, à leur longueur, ainsi qu'à leur position relative par rapport aux bâtiments protégés vis-à-vis de l'infrastructure source de bruit.
L'efficacité d'un écran est réduite par le phénomène de diffraction. Son dimensionnement doit prendre en compte ce paramètre essentiel.

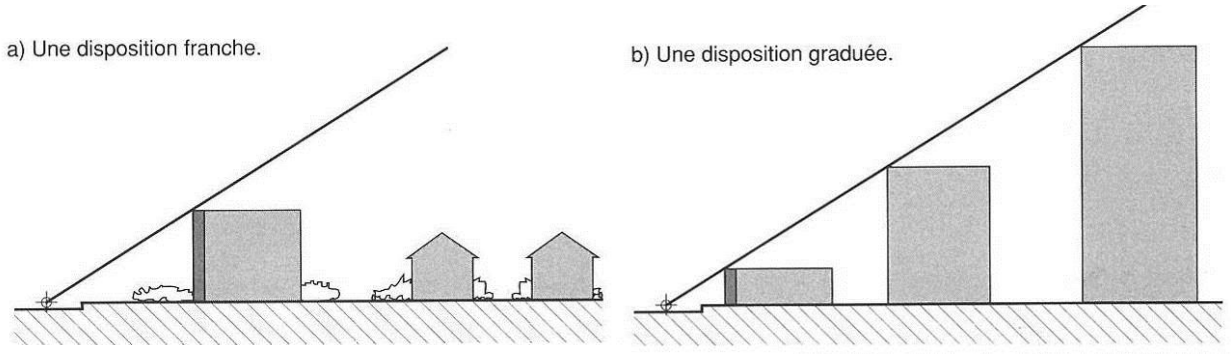
A noter : la végétation n'est généralement pas assez dense pour assurer le rôle d'écran acoustique.

Dans le cas d'un quartier, le tissu urbain est peu adapté à la mise en œuvre d'écrans.

Disposition des bâtiments

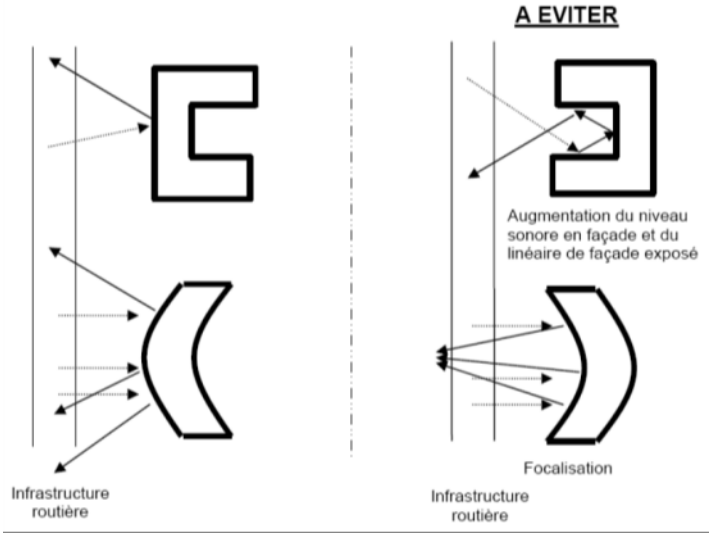
A défaut de mettre en œuvre des écrans, il est possible d'utiliser les bâtiments comme écrans acoustiques. Les cours intérieures des immeubles sont généralement protégées des bruits de la rue par le bâtiment lui-même.
Deux solutions sont envisageables :

- Disposition franche : le bâtiment le plus proche de la rue protège les bâtiments en arrière
- Disposition graduée : l'augmentation progressive des hauteurs de bâtiments conduit à protéger une surface plus importante de façades. De plus, l'effet rue en U est limité et favorise une meilleure propagation sonore.

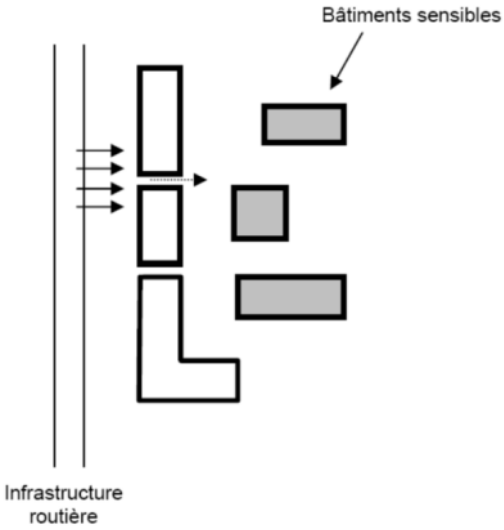


A noter : Il est nécessaire de prendre en compte les réflexions multiples : si un bâtiment peut faire écran pour ceux situés en arrière, il peut également réfléchir les ondes sonores sur les bâtiments situés en face.

La forme des bâtiments et leur disposition jouent également un rôle important. Les formes convexes favorisent la diffusion du bruit tandis que les formes concaves vont le concentrer. Dans le cas d'un bâtiment en U, l'orientation vers la route favorisera les diverses réflexions du son qui prolongeront et augmenteront le niveau sonore arrivant sur les façades intérieures.



La densification des bâtiments écrans permet également de limiter les espaces des « trouées » et favorise ainsi la protection de bâtiments sensibles implantés derrière les bâtiments écrans.



Recul des façades

Comme indiqué au travers de l'évaluation acoustique des bâtiments, le recul des façades permet de diminuer les niveaux sonores perçus et de limiter l'effet rue en U.

6.3. Préconisations relatives à l'architecture des bâtiments

Exposition au bruit des pièces de vie

Si un bâtiment est fortement exposé au bruit, il est nécessaire de favoriser une protection des pièces de vie, et en particulier des pièces de nuit, en les disposant sur les façades les moins exposées au bruit.

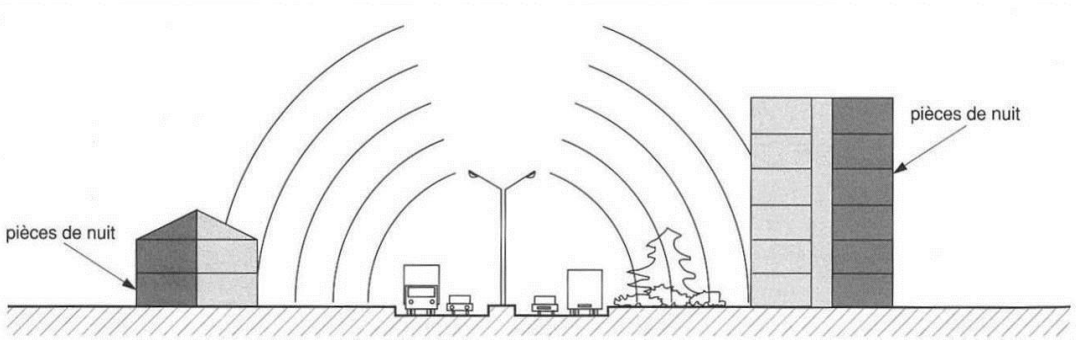


Schéma extrait du guide édité par LE MONITEUR « Réussir l'acoustique d'un bâtiment »

Ces pièces pourront de plus être ouvertes sur des cours intérieurs ou terrasses plus calmes car protégées par le bâtiment.

Création d'espaces tampons

De manière générale, il est préférable de mettre des espaces tampons, tels que les circulations, les loggias, les cages d'escalier ou d'ascenseur au niveau des façades les plus bruyantes. Les balcons, s'ils sont conçus avec attention, peuvent également favoriser une diminution de l'impact sonore des infrastructures routières, en particulier si leurs sous-faces sont absorbantes.

On placera également les pièces de service sur les façades exposées.

Composition de la façade

L'isolement au bruit aérien des façades est fortement lié à la composition de ces dernières. Ainsi, de grandes surfaces vitrées, des entrées d'air en façade, des coffres de volet roulant sont autant de faiblesses acoustiques qui peuvent être corrigées par la mise en œuvre de produits performants mais qui entraineront un surcoût.
Il est donc préférable de prévoir initialement pour les façades exposées des surfaces vitrées de dimensions faibles et d'éviter les éléments cités.
On veillera également à la qualité des isolants thermiques extérieurs, qui peuvent dégrader fortement les performances d'un mur en béton. La mise en œuvre des menuiseries par rapport à cet isolant sera aussi à prendre en considération.

Composition de la toiture

Les remarques applicables à la toiture sont les mêmes que pour les façades, mais dans ce cas, le matériau principal n'étant généralement pas du béton, la performance acoustique, caractérisée par son indice d'affaiblissement Rw+Ctr, doit être suffisante pour protéger l'espace intérieur.

6.4. Application à l'aménagement du quartier

Le projet d'aménagement du quartier comporte uniquement des logements.

Les voies créées dans le quartier seront principalement des voies de desserte des logements. Le trafic routier y sera faible ce qui permettra de conserver une ambiance sonore calme au cœur de ce quartier. Les isolements acoustiques des façades des logements qui y seront implantés pourront donc se limiter à l'objectif réglementaire minimal, c'est-à-dire un isolement DnT,A,tr ≥ 30 dB pour l'ensemble des façades.

Concernant les voies actuelles, si le trafic rapporté par l'aménagement du quartier engendre une augmentation significative du trafic routier (augmentation > 50%), une étude d'impact acoustique sera nécessaire afin de protéger les habitations riveraines existantes.

Une vigilance devra être portée sur la voie créée entre la rue de La Bellaudière et la rue du Patis Forestier.

Le niveau sonore à termes dans la zone d'étude ne devra pas être supérieur à 60 dB(A) en période de jour et 55 dB(A) en période de nuit.

Concernant les équipements techniques implantés dans le quartier, ceux-ci devront respecter les critères d'émergences (bruit de voisinage).

7. CONCLUSION

Dans le cadre des études d'impact du projet d'aménagement du quartier La Surboisière à Haute Goulaine (44), le BE **ALHYANGE** est en charge du diagnostic acoustique de cette zone afin de permettre à l'aménageur d'avoir une connaissance des nuisances sonores existantes et de déterminer les seuils de bruit réglementaire associés.

Une campagne de mesures acoustiques en 3 points a été réalisée en mars 2018 et a permis de caractériser le paysage sonore préexistant.

Les conclusions de ce diagnostic sont les suivantes :

- Les niveaux sonores mesurés aux 3 emplacements sont faibles et représentatifs d'un quartier avec un trafic routier relativement faible ;

- Les points de mesures de mesures révèlent une ambiance sonore modérée selon l'arrêté du 5 mai 1995 sur l'ensemble de la zone d'étude ;

- Les niveaux sonores résiduels L50 mesurés pourront être utilisés par la MO et les MOE, dans le cadre du respect du décret du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinages (voir le tableau au chapitre 5.3) ;

- Les voies créées dans le quartier seront princiapelemnent des voies de desserte des logements. Le trafic routier y sera faible ce qui permettra de conserver une ambiance sonore calme au cœur de ce quartier. Les isolements acoustiques des façades des logements qui y seront implantés pourront donc se limiter à l'objectif réglementaire minimal, c'est-à-dire un isolement DnT,A,tr ≥ 30 dB pour l'ensemble des façades ;

- Concernant les voies actuelles, si le trafic rapporté par l'aménagement du quartier engendre une augmentation significative du trafic routier (augmentation > 50%), une étude d'impact acoustique sera nécessaire afin de protéger les habitations riveraines existantes.

- Une vigilance devra être portée sur la voie créée entre la rue de La Bellaudière et la rue du Patis Forestier ;

- **Le niveau sonore à termes dans la zone d'étude ne devra pas être supérieur à 60 dB(A) en période de jour et 55 dB(A) en période de nuit.**

8. ANNEXES

- **FICHES DE MESURE DANS L'ENVIRONNEMENT**
- **CORRELATIONS MESURES ACOUSTIQUES / TRAFICS ROUTIERS**
- **RESULTATS BRUITS RESIDUELS**
- **RELEVES METEOROLOGIQUES**
- **MATERIEL UTILISE**
- **NOTIONS ACOUSTIQUES**

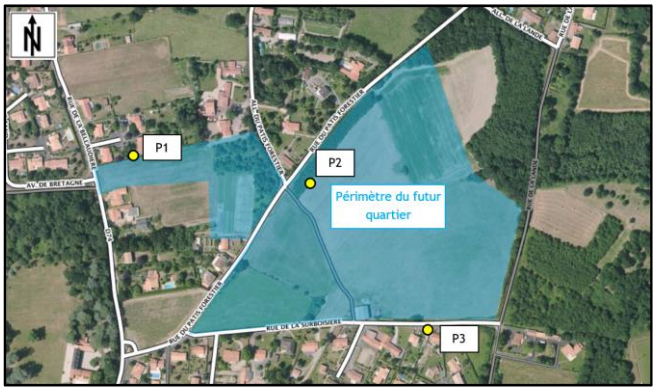
8.1. Fiches de mesure dans l'environnement

Point 1

Date : 21-22/03/2018

Hauteur : 1.5 m

Localisation :



Photographie :

Evolution du niveau sonore du 21-22 mars 2018

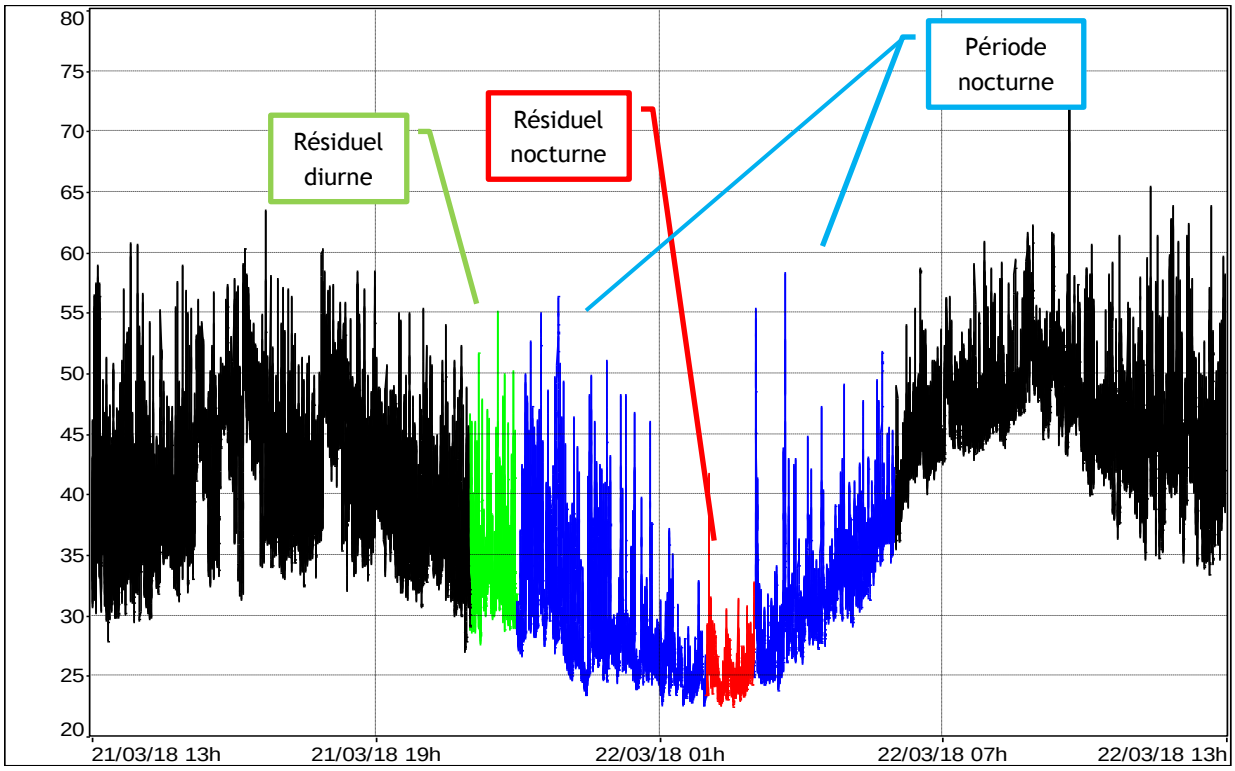


Tableau des résultats :

Période	Niveaux sonores (dB(A))		
	LAeq	L50	L90
Diurne (6h - 22h)	47.4	43.1	34.1
Nocturne (22h - 6h)	34.9	28.4	24.4

Principales sources sonores :

- Trafic routier (bruit de fond) sur la RD74 et sur la rue du Patis Forestier ;
- Faune et végétation.

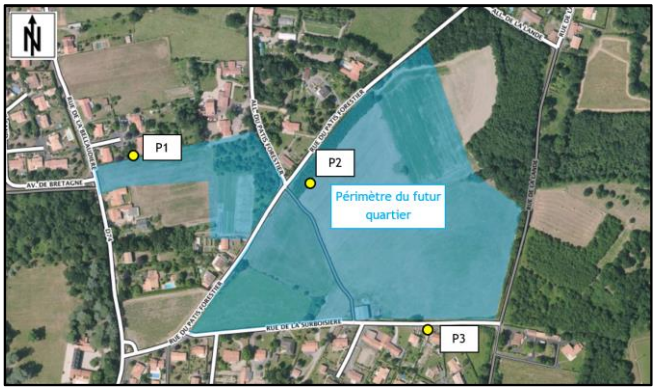
Niveau sonore horaire (dB(A) - P1				
Date de début	Date de fin	LAeq	L50	L90
21/03/2018 13:00	21/03/2018 14:00	44.8	36.6	32
21/03/2018 14:00	21/03/2018 15:00	41.6	37.1	33.2
21/03/2018 15:00	21/03/2018 16:00	46.3	43.9	36.2
21/03/2018 16:00	21/03/2018 17:00	48.6	45.8	36.7
21/03/2018 17:00	21/03/2018 18:00	45.4	39.8	35.7
21/03/2018 18:00	21/03/2018 19:00	47.1	44.1	37.2
21/03/2018 19:00	21/03/2018 20:00	41.7	39.1	33.6
21/03/2018 20:00	21/03/2018 21:00	39.9	36.3	31.6
21/03/2018 21:00	**21/03/2018 22:00**	**36.2**	**32.6**	**29.9**
21/03/2018 22:00	21/03/2018 23:00	39.5	32.0	28.3
21/03/2018 23:00	22/03/2018 00:00	33.2	27.5	24.9
22/03/2018 00:00	22/03/2018 01:00	30.2	27.0	25.1
22/03/2018 01:00	22/03/2018 02:00	26.1	25.0	23.3
22/03/2018 02:00	**22/03/2018 03:00**	**25.9**	**24.8**	**23.4**
22/03/2018 03:00	22/03/2018 04:00	35.3	27.8	25.1
22/03/2018 04:00	22/03/2018 05:00	33.4	31.6	28.7
22/03/2018 05:00	22/03/2018 06:00	37.9	36.1	32.4
22/03/2018 06:00	22/03/2018 07:00	45.8	43.7	39.2
22/03/2018 07:00	22/03/2018 08:00	48.4	46.8	44.3
22/03/2018 08:00	22/03/2018 09:00	51.2	48.6	46.0
22/03/2018 09:00	22/03/2018 10:00	52.9	49.5	45.7
22/03/2018 10:00	22/03/2018 11:00	48.0	44.7	40.9
22/03/2018 11:00	22/03/2018 12:00	48.2	43.5	39.2
22/03/2018 12:00	22/03/2018 13:00	46.3	42.9	36.7

Point 2

Date : 21-22/03/2018

Hauteur : 1.5 m

Localisation :



Photographie :

Evolution du niveau sonore du 21-22 mars 2018

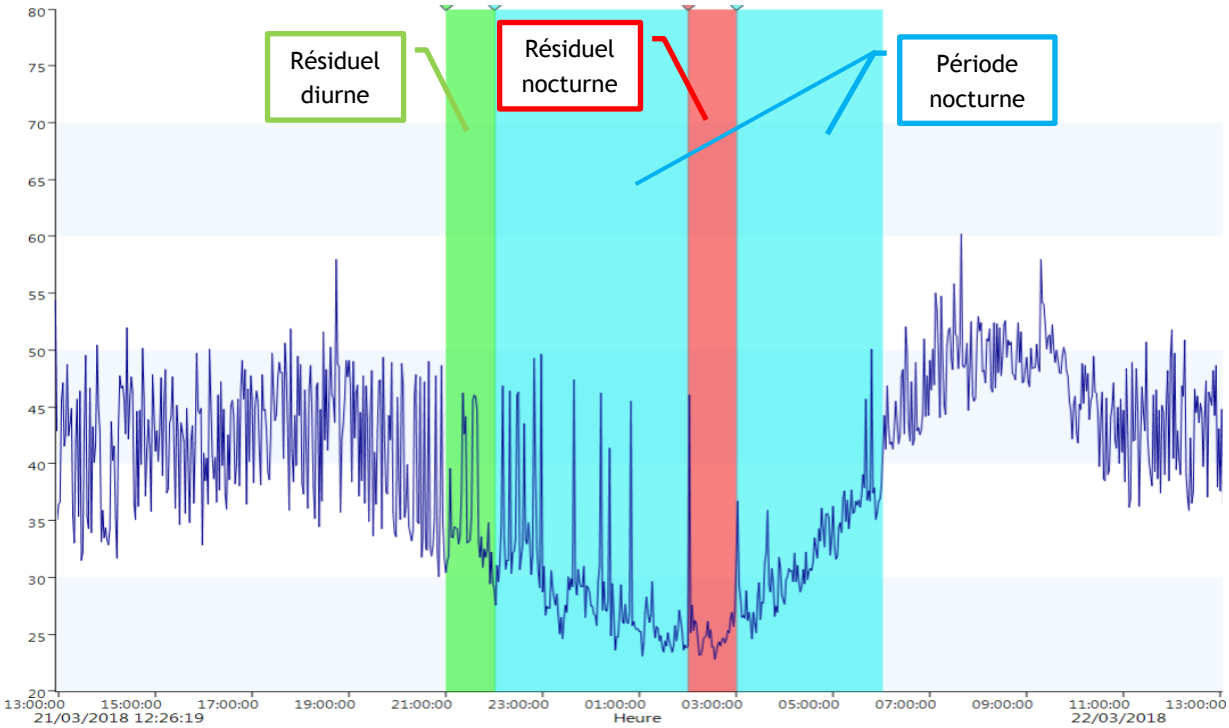


Tableau des résultats :

Période	Niveaux sonores (dB(A))		
	LAeq	L50	L90
Diurne (6h - 22h)	46.6	38.8	32.6
Nocturne (22h - 6h)	35.8	28.0	24.0

Principales sources sonores :

- Trafic routier sur la rue du Patis Forestier ;
- Faune et végétation.

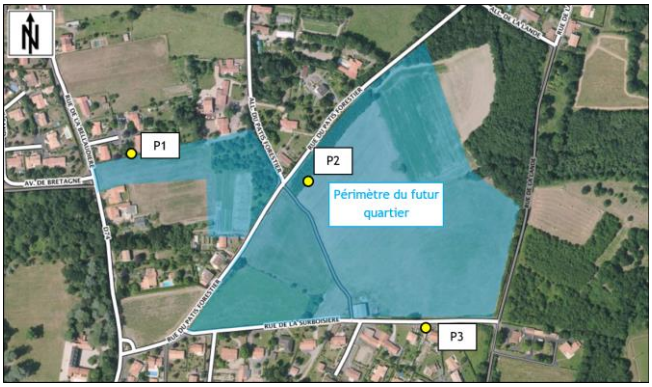
Niveau sonore horaire (dB(A) - P2				
Date de début	Date de fin	LAeq	L50	L90
21/03/2018 13:00	21/03/2018 14:00	43.6	33.5	30.4
21/03/2018 14:00	21/03/2018 15:00	44.6	35.4	32.2
21/03/2018 15:00	21/03/2018 16:00	43.6	36.6	33.8
21/03/2018 16:00	21/03/2018 17:00	44.2	37.5	34.7
21/03/2018 17:00	21/03/2018 18:00	46.0	38.7	35.2
21/03/2018 18:00	21/03/2018 19:00	47.5	36.7	33.7
21/03/2018 19:00	21/03/2018 20:00	44.7	36.5	33.0
21/03/2018 20:00	21/03/2018 21:00	42.9	33.5	30.9
21/03/2018 21:00	**21/03/2018 22:00**	**39.4**	**32.3**	**29.9**
21/03/2018 22:00	21/03/2018 23:00	41.0	31.4	28.4
21/03/2018 23:00	22/03/2018 00:00	33.7	27.5	25.1
22/03/2018 00:00	22/03/2018 01:00	35.0	26.3	24.3
22/03/2018 01:00	22/03/2018 02:00	25.4	24.5	23.1
22/03/2018 02:00	**22/03/2018 03:00**	**31.8**	**24.4**	**22.9**
22/03/2018 03:00	22/03/2018 04:00	29.7	27.3	25.1
22/03/2018 04:00	22/03/2018 05:00	32.1	30.8	28.0
22/03/2018 05:00	22/03/2018 06:00	39.1	35.8	32.2
22/03/2018 06:00	22/03/2018 07:00	45.6	42.4	39.1
22/03/2018 07:00	22/03/2018 08:00	51.3	45.5	43.9
22/03/2018 08:00	22/03/2018 09:00	50.3	47.4	45.8
22/03/2018 09:00	22/03/2018 10:00	50.4	47.9	45.3
22/03/2018 10:00	22/03/2018 11:00	45.2	41.2	38.6
22/03/2018 11:00	22/03/2018 12:00	53.9	44.8	35.8
22/03/2018 12:00	22/03/2018 13:00	49.3	40.2	35.3

Point 3

Date : 21-22/03/2018

Hauteur : 1.5 m

Localisation :



Photographie :

Evolution du niveau sonore du 21-22 mars 2018

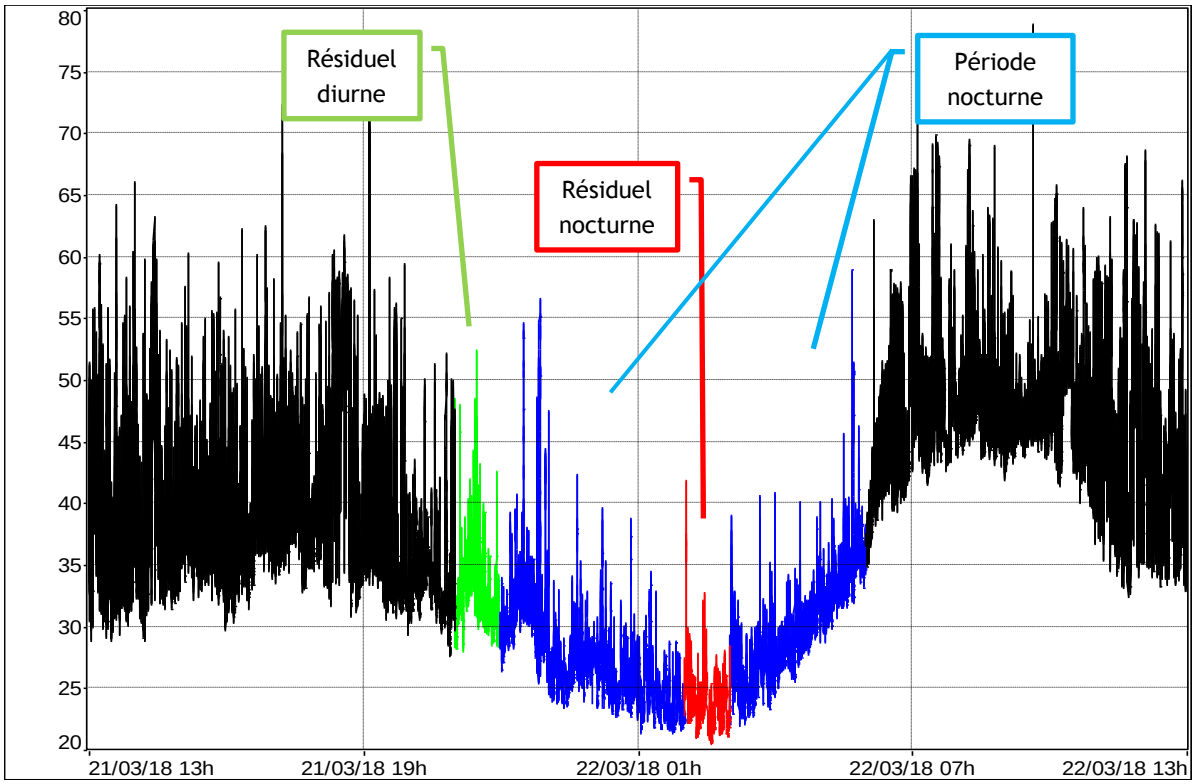


Tableau des résultats :

Période	Niveaux sonores (dB(A))		
	LAeq	L50	L90
Diurne (6h - 22h)	48.6	39.7	32.4
Nocturne (22h - 6h)	32.0	27.0	23.1

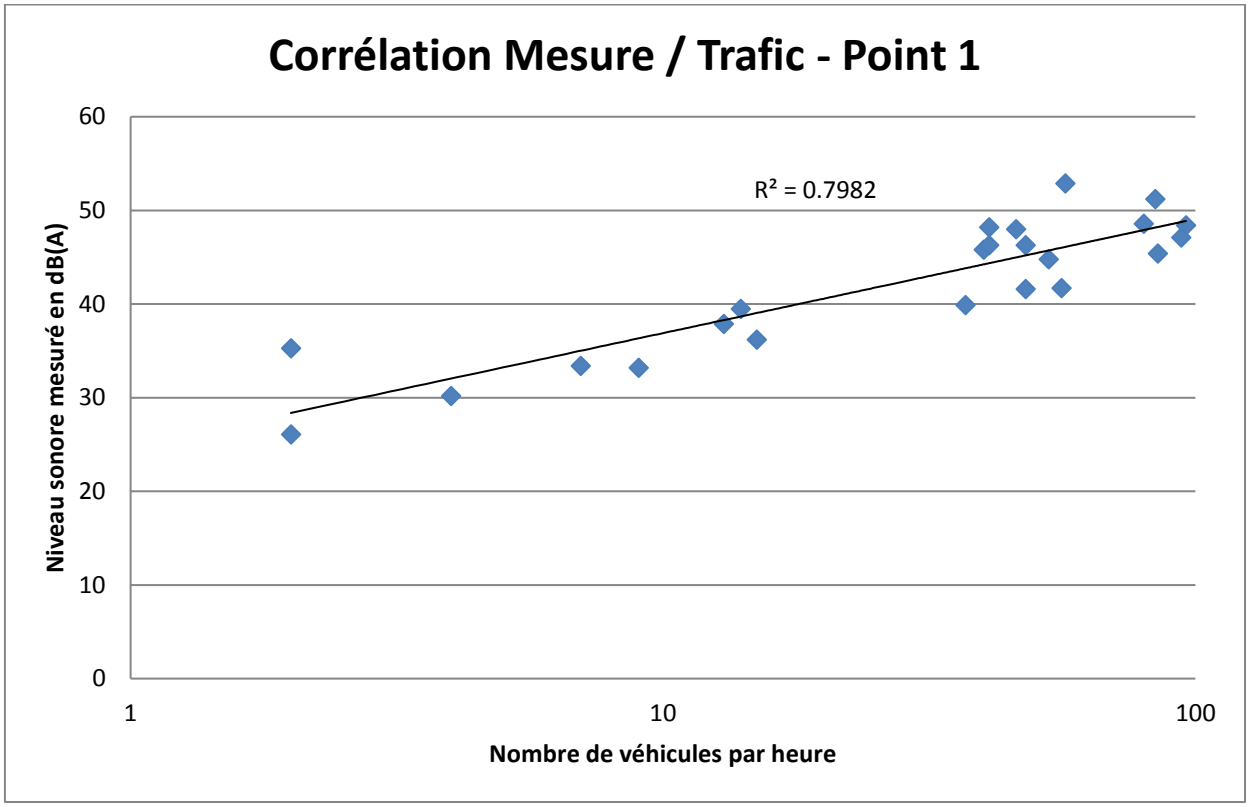
Principales sources sonores :

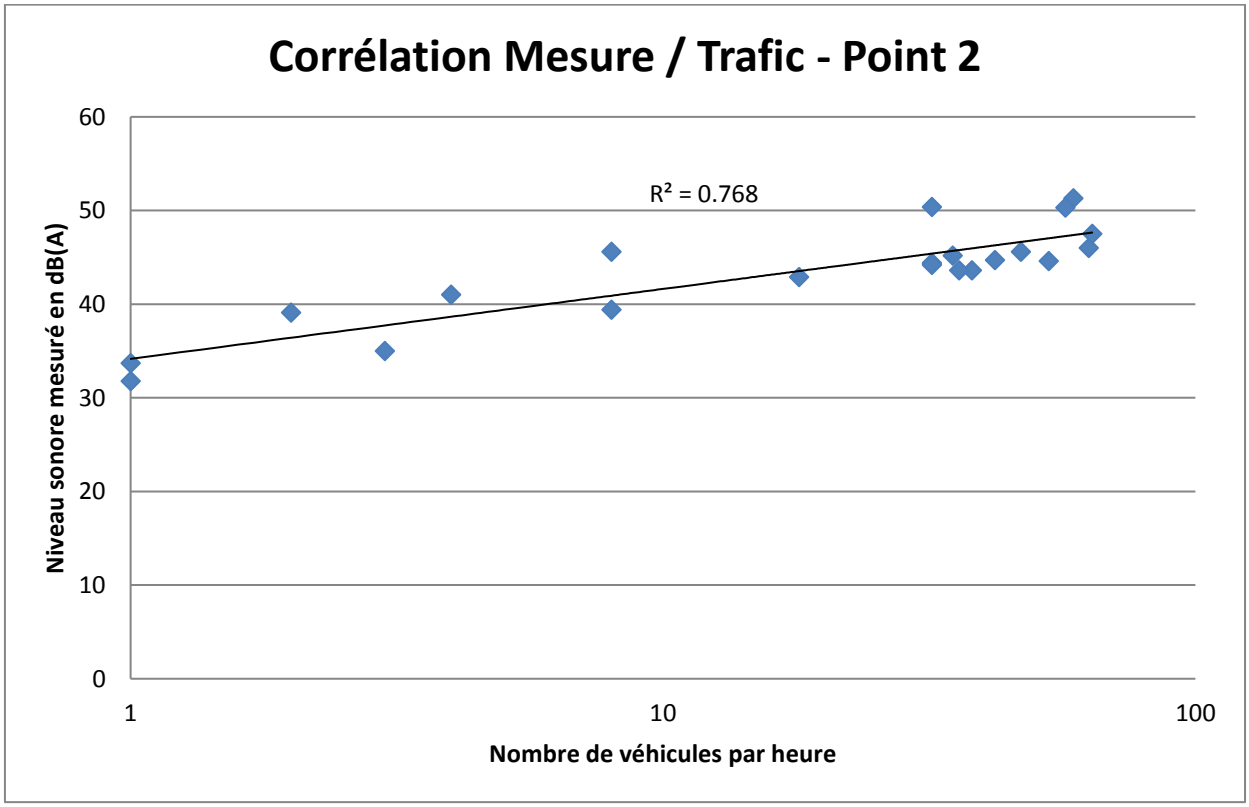
- Trafic routier sur la rue de La Surboisière et sur la rue du Patis Forestier ;
- Faune et végétation.

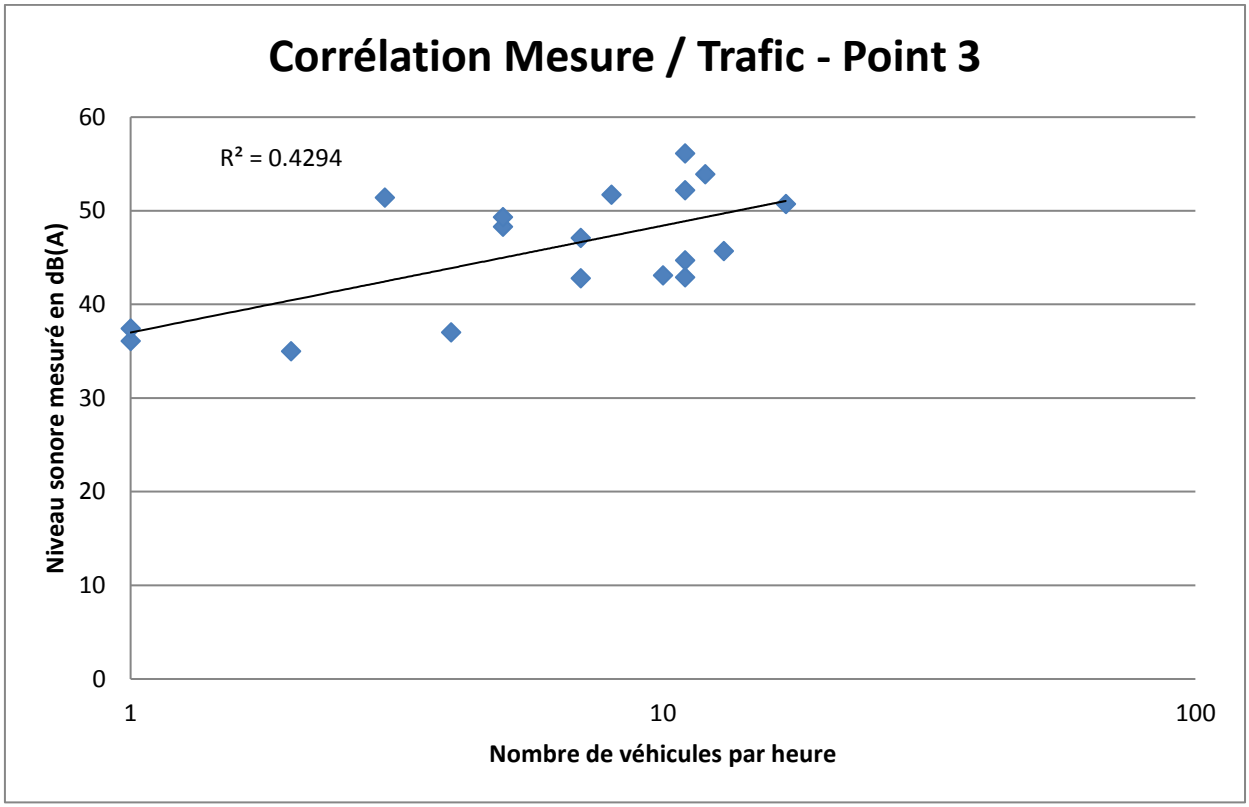
Niveau sonore horaire (dB(A) - P3				
Date de début	Date de fin	LAeq	L50	L90
21/03/2018 13:00	21/03/2018 14:00	44.7	36.4	31.4
21/03/2018 14:00	21/03/2018 15:00	47.1	36.5	32.3
21/03/2018 15:00	21/03/2018 16:00	42.8	37.4	33.9
21/03/2018 16:00	21/03/2018 17:00	42.9	37.4	33.2
21/03/2018 17:00	21/03/2018 18:00	45.7	39.1	35.4
21/03/2018 18:00	21/03/2018 19:00	50.7	41.7	33.8
21/03/2018 19:00	21/03/2018 20:00	50.0	35.8	32.0
21/03/2018 20:00	21/03/2018 21:00	37.0	33.2	30.6
21/03/2018 21:00	**21/03/2018 22:00**	**35.0**	**31.9**	**29.7**
21/03/2018 22:00	21/03/2018 23:00	37.5	30.9	28.1
21/03/2018 23:00	22/03/2018 00:00	28.2	26.4	24.6
22/03/2018 00:00	22/03/2018 01:00	27.3	26.0	23.8
22/03/2018 01:00	22/03/2018 02:00	25.3	24.2	22.1
22/03/2018 02:00	**22/03/2018 03:00**	**24.8**	**23.6**	**21.5**
22/03/2018 03:00	22/03/2018 04:00	27.4	26.1	23.4
22/03/2018 04:00	22/03/2018 05:00	29.9	29.1	26.7
22/03/2018 05:00	22/03/2018 06:00	37.1	33.9	31.3
22/03/2018 06:00	22/03/2018 07:00	51.4	43.0	38.4
22/03/2018 07:00	22/03/2018 08:00	56.1	47.9	43.7
22/03/2018 08:00	22/03/2018 09:00	52.2	47.3	44.8
22/03/2018 09:00	22/03/2018 10:00	55.5	46.7	44.4
22/03/2018 10:00	22/03/2018 11:00	51.7	47.4	42.5
22/03/2018 11:00	22/03/2018 12:00	53.9	44.8	35.8
22/03/2018 12:00	22/03/2018 13:00	49.3	40.2	35.3

8.2. Corrélations mesures acoustiques / trafics routiers

Les corrélations Niveau sonore mesuré / Trafic ont été réalisées pour les points situés à proximité des voies routières ayant fait l'objet d'un comptage.






Corrélation Mesure / Trafic - Point 3
R² = 0.4294
Niveau sonore mesuré en dB(A)
60
50
40
30
20
10
0
1
10
100
Nombre de véhicules par heure

8.3. Niveaux et critères de bruit résiduel

Point 1	Niveaux sonores par bandes d'octave en dB (arrondis à 0,5 dB)						Niveau sonore global en dB(A)
Période diurne	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Niveau sonore résiduel L50 de 21h à 22h	34.0	28.0	31.0	29.0	16.0	11.5	32.5
Émergence maximale	7	7	5	5	5	5	5
Niveau sonore Ambiant maximum	41.0	35.0	36.0	34.0	21.0	16.5	37.5
Impact sonore maximum pour les équipements	40.0	34.0	34.3	32.3	19.3	14.8	35.8

Point 1	Niveaux sonores par bandes d'octave en dB (arrondis à 0,5 dB)						Niveau sonore global en dB(A)
Période nocturne	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Niveau sonore résiduel L50 de 2h à 3h	28.5	22.0	24.0	18.5	10.5	11.5	25.0
Émergence maximale	7	7	5	5	5	5	3
Niveau sonore Ambiant maximum	35.5	29.0	29.0	23.5	15.5	16.5	28.0
Impact sonore maximum pour les équipements	34.5	28.0	27.3	21.8	13.8	14.8	25.0

Point 2	Niveaux sonores par bandes d'octave en dB (arrondis à 0,5 dB)						Niveau sonore global en dB(A)
Période diurne	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Niveau sonore résiduel L50 de 21h à 22h	35.5	27.5	31.0	28.5	16.5	15.0	32.5
Émergence maximale	7	7	5	5	5	5	5
Niveau sonore Ambiant maximum	42.5	34.5	36.0	33.5	21.5	20.0	37.5
Impact sonore maximum pour les équipements	41.5	33.5	34.3	31.8	19.8	18.3	35.8

Point 2	Niveaux sonores par bandes d'octave en dB (arrondis à 0,5 dB)						Niveau sonore global en dB(A)
Période nocturne	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Niveau sonore résiduel L50 de 2h à 3h	30.0	23.5	23.0	19.0	12.0	14.5	24.5
Émergence maximale	7	7	5	5	5	5	3
Niveau sonore Ambiant maximum	37.0	30.5	28.0	24.0	17.0	19.5	27.5
Impact sonore maximum pour les équipements	36.0	29.5	26.3	22.3	15.3	17.8	24.5

Point 3	Niveaux sonores par bandes d'octave en dB (arrondis à 0,5 dB)						Niveau sonore global en dB(A)
Période diurne	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Niveau sonore résiduel L50 de 21h à 22h	34.5	30.0	31.0	27.5	13.5	10.5	32.0
Émergence maximale	7	7	5	5	5	5	5
Niveau sonore Ambiant maximum	41.5	37.0	36.0	32.5	18.5	15.5	37.0
Impact sonore maximum pour les équipements	40.5	36.0	34.3	30.8	16.8	13.8	35.3

Point 3	Niveaux sonores par bandes d'octave en dB (arrondis à 0,5 dB)						Niveau sonore global en dB(A)
Période nocturne	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Niveau sonore résiduel L50 de 2h à 3h	26.0	22.0	22.0	16.0	8.5	10.5	23.5
Émergence maximale	7	7	5	5	5	5	3
Niveau sonore Ambiant maximum	33.0	29.0	27.0	21.0	13.5	15.5	26.5
Impact sonore maximum pour les équipements	32.0	28.0	25.3	19.3	11.8	13.8	23.5

8.4. Conditions météorologiques

Relevés du 21 mars 2018.

Heure locale	Néb.	Temps	Visi	Température	Humidité	Humidex	Windchill	Vent (rafales)		Pression	Précip. mm/h
23 h			19.2 km	2.1 °C	73%	2.1	0 °C		7 km/h (11 km/h)	1031.4 hPa	aucune
22 h			28.8 km	3.1 °C	72%	3.1	1.9 °C		5 km/h (10 km/h)	1031.5 hPa	aucune
21 h	8/8		37.4 km	5.2 °C	63%	5.2	4.3 °C		5 km/h (20 km/h)	1031.6 hPa	aucune
20 h	7/8		33.3 km	6 °C	58%	6	4.5 °C		7 km/h (18 km/h)	1031.4 hPa	aucune
19 h	8/8		56.2 km	7.4 °C	54%	7.4	5.3 °C		11 km/h (21 km/h)	1031.4 hPa	aucune
18 h	6/8		39.8 km	7.4 °C	57%	7.4	5.3 °C		11 km/h (28 km/h)	1031.2 hPa	aucune
17 h	8/8		20 km	7.8 °C	55%	7.8	5.3 °C		14 km/h (29 km/h)	1031.3 hPa	aucune
16 h	8/8		19.4 km	7.9 °C	57%	7.9	5.4 °C		14 km/h (27 km/h)	1031.5 hPa	aucune
15 h	8/8		19.5 km	8.1 °C	55%	8.1	5.5 °C		15 km/h (30 km/h)	1031.9 hPa	aucune
14 h	7/8		18.9 km	7.4 °C	60%	7.4	4.8 °C		14 km/h (24 km/h)	1032.5 hPa	aucune
13 h	8/8		19.5 km	6.8 °C	67%	6.8	4.4 °C		12 km/h (21 km/h)	1033 hPa	aucune
12 h	8/8		38.6 km	5.8 °C	65%	5.8	3.2 °C		12 km/h (21 km/h)	1033.2 hPa	aucune
11 h	8/8		19.7 km	6.4 °C	65%	6.4	4.3 °C		10 km/h (22 km/h)	1033.1 hPa	aucune
10 h	8/8		43.5 km	4.6 °C	69%	4.6	2.4 °C		9 km/h (15 km/h)	1033.3 hPa	aucune
9 h	8/8		19.9 km	3.5 °C	79%	3.5	1.3 °C		8 km/h (15 km/h)	1033.3 hPa	aucune
8 h			19.5 km	-1.6 °C	87%	-1.6	-3.4 °C		5 km/h (17 km/h)	1033.1 hPa	aucune
7 h			34.8 km	-1.3 °C	87%	-1.3	-3.5 °C		6 km/h (17 km/h)	1032.7 hPa	aucune
6 h			35.6 km	-1.5 °C	89%	-1.5	-4.5 °C		8 km/h (14 km/h)	1032.5 hPa	aucune
5 h			19.4 km	-2 °C	90%	-2	-5.1 °C		8 km/h (15 km/h)	1032.4 hPa	aucune
4 h			18.6 km	-0.6 °C	88%	-0.6	-2.3 °C		5 km/h (20 km/h)	1032.1 hPa	aucune
3 h			19.3 km	0.8 °C	85%	0.8	-2.4 °C		10 km/h (24 km/h)	1032 hPa	aucune
2 h			19 km	1 °C	83%	1	-1.9 °C		9 km/h (28 km/h)	1031.9 hPa	aucune
1 h			19.9 km	2 °C	80%	2	-0.9 °C		10 km/h (24 km/h)	1031.6 hPa	aucune
0 h			19.4 km	2.6 °C	76%	2.6	-0.9 °C		13 km/h (28 km/h)	1031.3 hPa	aucune

Relevés du 22 mars 2018.

Heure locale	Néb.	Temps	Visi	Température	Humidité	Humidex	Windchill	Vent (rafales)		Pression	Précip. mm/h
23 h	8/8		19.3 km	5.9 °C	80%	5.9	4.4 °C		7 km/h (12 km/h)	1018.8 hPa	aucune
22 h	8/8		19.8 km	6 °C	78%	6	4.3 °C		8 km/h (12 km/h)	1019.6 hPa	aucune
21 h	8/8		29.9 km	6.4 °C	75%	6.4	4.5 °C		9 km/h (13 km/h)	1020.3 hPa	aucune
20 h	8/8		49.2 km	6.8 °C	72%	6.8	5.2 °C		8 km/h (15 km/h)	1020.9 hPa	aucune
19 h	8/8		55.8 km	7.2 °C	68%	7.2	4.9 °C		12 km/h (25 km/h)	1021.5 hPa	aucune
18 h	8/8		59.5 km	7.8 °C	65%	7.8	5.3 °C		14 km/h (30 km/h)	1022 hPa	aucune
17 h	8/8		58.6 km	8.2 °C	62%	8.2	5.2 °C		18 km/h (30 km/h)	1022.6 hPa	aucune
16 h	8/8		58.4 km	8.4 °C	60%	8.4	6.1 °C		13 km/h (26 km/h)	1023.2 hPa	aucune
15 h	8/8		53.6 km	8.4 °C	57%	8.4	5.9 °C		15 km/h (28 km/h)	1024.2 hPa	aucune
14 h	8/8		19.8 km	8.1 °C	61%	8.1	5.6 °C		14 km/h (24 km/h)	1025.4 hPa	aucune
13 h	8/8		43.5 km	7.5 °C	61%	7.5	4.9 °C		14 km/h (26 km/h)	1026.2 hPa	aucune
12 h	8/8		20 km	7.7 °C	61%	7.7	4.7 °C		17 km/h (26 km/h)	1026.9 hPa	aucune
11 h	8/8		45.1 km	6.8 °C	64%	6.8	4.6 °C		11 km/h (17 km/h)	1027.5 hPa	aucune
10 h	8/8		13.3 km	4.1 °C	90%	4.1	4 °C		3 km/h (8 km/h)	1028.1 hPa	aucune
9 h	8/8		10.6 km	1.5 °C	95%	1.5	1.5 °C		0 km/h (4 km/h)	1028.4 hPa	aucune
8 h	8/8		11.4 km	-0.6 °C	95%	-0.6	-0.6 °C		0 km/h (4 km/h)	1028.5 hPa	aucune
7 h	7/8		10.8 km	-1.7 °C	95%	-1.7	-2.3 °C		3 km/h (4 km/h)	1029 hPa	aucune
6 h			10.9 km	-2.7 °C	93%	-2.7	-2.7 °C		0 km/h (4 km/h)	1029.3 hPa	aucune
5 h			15.8 km	-2.3 °C	93%	-2.3	-2.3 °C		0 km/h (4 km/h)	1029.6 hPa	aucune
4 h			17.1 km	-1.9 °C	90%	-1.9	-1.9 °C		0 km/h (7 km/h)	1029.8 hPa	aucune
3 h			20 km	-1 °C	87%	-1	-1.5 °C		3 km/h (5 km/h)	1029.9 hPa	aucune
2 h			19.8 km	-0.5 °C	85%	-0.5	-1 °C		3 km/h (8 km/h)	1030.5 hPa	aucune
1 h			22.9 km	0.3 °C	80%	0.3	-0.7 °C		4 km/h (8 km/h)	1030.7 hPa	aucune
0 h			27.8 km	0.7 °C	78%	0.7	0.7 °C		2 km/h (10 km/h)	1031.1 hPa	aucune

8.5. Matériel et logiciels utilisés

Matériel	ID	N° Série	Préamplificateur	Microphone	Date d'étalonnage
CIRRUS CR 171B	17	G078588	6014F	207427D	23/08/2016
01dB DUO	12	10462	-	141232	15/10/2016
01dB DUO	13	10463	-	153650	15/10/2016

Logiciel	Version	Description
NoiseTools	1.6	Analyse des mesures acoustiques dans l'environnement
dBTrait	5.3	

8.6. Notions Acoustiques

Le son c'est d'abord la sensation sonore, composante de son environnement naturel perçu.
Le son, ou vibration acoustique, est un mouvement des particules d'un milieu élastique de part et d'autre d'une position d'équilibre. Ces mouvements de particules entrainent une variation locale de pression. Cette variation se transmet de proche en proche et permet à la vibration acoustique de se propager.

On parle d'onde acoustique : les analogies avec une onde lumineuse ou une onde radio sont nombreuses.

Spectre

Comme pour la lumière, la propagation acoustique dépend de la fréquence, qui s'exprime en hertz (Hz).
Pour la lumière, la fréquence est associée à la couleur ; dans le cas du son, la fréquence est liée à la hauteur : un son grave aura une fréquence faible, un son aigu une fréquence élevée.

L'oreille humaine perçoit des niveaux de pression sonore compris entre 20 Hz et 20 000 Hz.
Un son est généralement composé de l'association d'un très grand nombre de fréquences, qui forme le spectre du son. Dans la pratique, on caractérise le bruit par un ensemble réduit de valeurs, et on découpe le domaine des fréquences en bandes d'octaves ou de tiers d'octaves.

Pondération

Afin de mieux rendre plus intelligible un phénomène sonore, il est possible d'utiliser des filtres ou pondérations.
Trois pondérations fréquentielles sont utilisées, appelées A B ou C.
En pratique, on utilise le plus souvent la pondération A, car elle donne des résultats en bon accord avec la gêne ressentie par l'oreille humaine. Elle donne une importance réduite aux basses fréquences ainsi qu'aux très hautes fréquences.

Lp : niveau de pression sonore

La pression acoustique est une variation de pression dans un fluide, entre son état au repos et son état au passage de l'onde acoustique. Elle s'exprime en Pascals (Pa).
La plage de variations de pression étant extrêmement large, l'utilisation d'un indicateur de type logarithmique est nécessaire. Le niveau L en décibels d'une pression acoustique P, est défini comme :

$$L_p = 20\log(\frac{P}{p_{ref}})$$

P_{ref} : pression de référence $P_{réf} = 2*10^{-5}$ Pa

L'unité de mesure pour Lp est le décibel (dB ou dB(A) dans le cas d'utilisation de la pondération A).
Le Lp dépend de la distance de la source au récepteur et des conditions de propagation. Il est généralement exprimé en dB par bande de fréquence (octave ou tiers d'octave) et en dB(A) pour le niveau global. Le Lp est mesurable avec un sonomètre.

Lorsqu'on s'intéresse au Lp sur un intervalle de temps assez long, différents indicateurs sont utilisés pour rendre compte d'un phénomène sonore en particulier :

Niveau sonore LAeq

Le LAeq est le niveau sonore moyen équivalent pondéré A, mesuré sur un intervalle donné. Cet indicateur tient compte de tous les événements sonores de la mesure et pondère leur importance en fonction de leur temps d'apparition.

Indices Fractiles LX

Niveau de pression acoustique pondéré A dépassé pendant X% de l'intervalle de temps considéré. Les L90 et L50 (niveaux sonores dépassés pendant 90 et 50% du temps) sont les plus utilisés pour caractériser une ambiance sonore.

Bruit résiduel

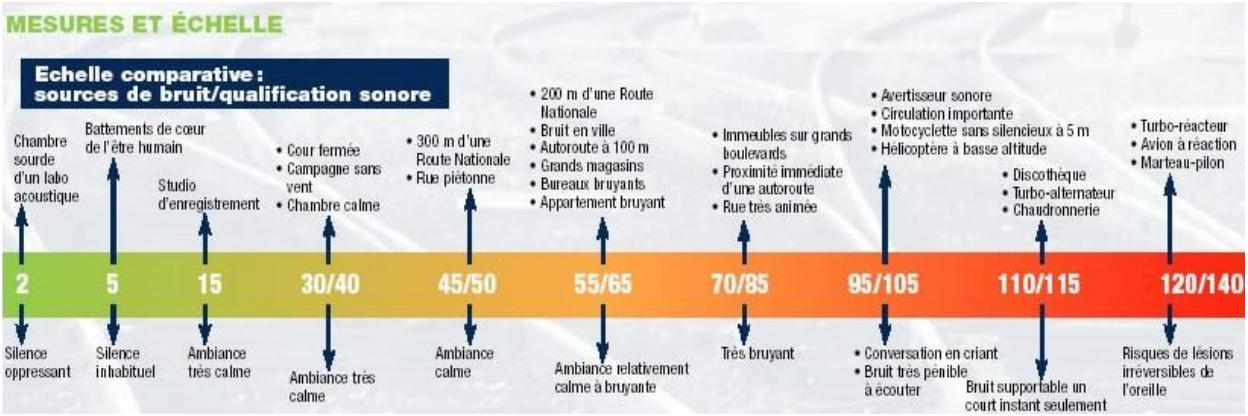
C'est le niveau de pression acoustique moyen du bruit d'ambiance à l'endroit et au moment de la mesure en l'absence de bruit particulier considéré comme perturbateur. Il est généralement pris comme état initial d'un emplacement de mesure, en l'absence de sources sonore.

Bruit ambiant

Niveau de pression acoustique considéré avec l'ensemble des sources sonores étudiées, ou mesuré.

Emergence

Modification temporelle du niveau de bruit ambiant induite par l'apparition ou la disparition d'un bruit particulier. Elle est définie comme la différence arithmétique du bruit ambiant et du bruit résiduel.

Echelle comparative de niveaux sonores

L'échelle ci-dessous est donnée à titre indicatif afin de mieux se rendre compte des niveaux sonores présentés.