

PROJET GLOBAL NANTES NORD

ÉTUDE D'IMPACT

AVRIL 2021



XII - ANNEXES

Annexe 1 : Étude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables

Annexe 2: Étude de mobilités et déplacements

Annexe 3: Étude géotechnique - Maison de la Santé

Annexe 4 : Annexes de l'étude faune et flore.

Annexe 5 : Étude de caractérisation des zone humide

Projet global Nantes Nord

Nantes (44)



**Etude de faisabilité du potentiel de
développement des énergies renouvelables**

Novembre 2020

1	OBJECTIFS DE L'ETUDE	4
2	DEFINITIONS ET RAPPELS REGLEMENTAIRES	5
2.1	ENERGIE PRIMAIRE, FINALE, ET UTILE	5
2.2	REGLEMENTATION THERMIQUE – RT 2012	6
3	PRESENTATION DU PROJET ET ESTIMATION DE SES BESOINS	10
3.1	PRESENTATION DU PROJET.....	10
3.2	ESTIMATION DES BESOINS DU PROJET	11
4	POTENTIELS DE PRODUCTION	13
4.1	L'ENERGIE SOLAIRE.....	13
4.2	L'ENERGIE EOLIENNE.....	23
4.3	LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE ET LA GEOLOGIE.....	33
4.4	LES ENERGIES DE RECUPERATION	44
4.5	AEROTHERMIE	50
5	LA MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE CHALEUR	51
6	TABLEAU RECAPITULATIF	54
7	CONCLUSION	56

1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre de la loi Grenelle 1, cette étude vise à préciser le potentiel, propre au site, de production d'énergies d'origine renouvelable et d'exploitation d'énergies de récupération. Les principales sources d'énergie seront abordées pour déterminer en première approche le potentiel de chacune en termes de production d'énergie, électricité et chaleur.

La politique nationale insiste aussi sur le développement des réseaux de chaleur, mais n'inclut que les réseaux alimentés par des énergies renouvelables, dont la biomasse et la géothermie, ainsi que les énergies de récupération. Cette étude indiquera dans quelle mesure et pour quelle ressource l'exploitation d'un réseau de chaleur serait envisageable.

L'article L.128-4 du code de l'urbanisme stipule que « *Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, 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.* »

Le projet global Nantes Nord est soumis à étude d'impact, la présente étude a pour objet de répondre à la réglementation.

Elle vise à analyser les atouts et contraintes du projet, pour évaluer les possibilités de la valorisation du potentiel en énergie renouvelable.

De ce fait, elle comprend principalement un état des lieux des gisements, et un premier tri des possibilités, en fonction du contexte local et des objectifs.

La consommation énergétique globale est estimée, à titre informatif, pour donner un ordre de grandeur des besoins.

2 DÉFINITIONS ET RAPPELS RÉGLEMENTAIRES

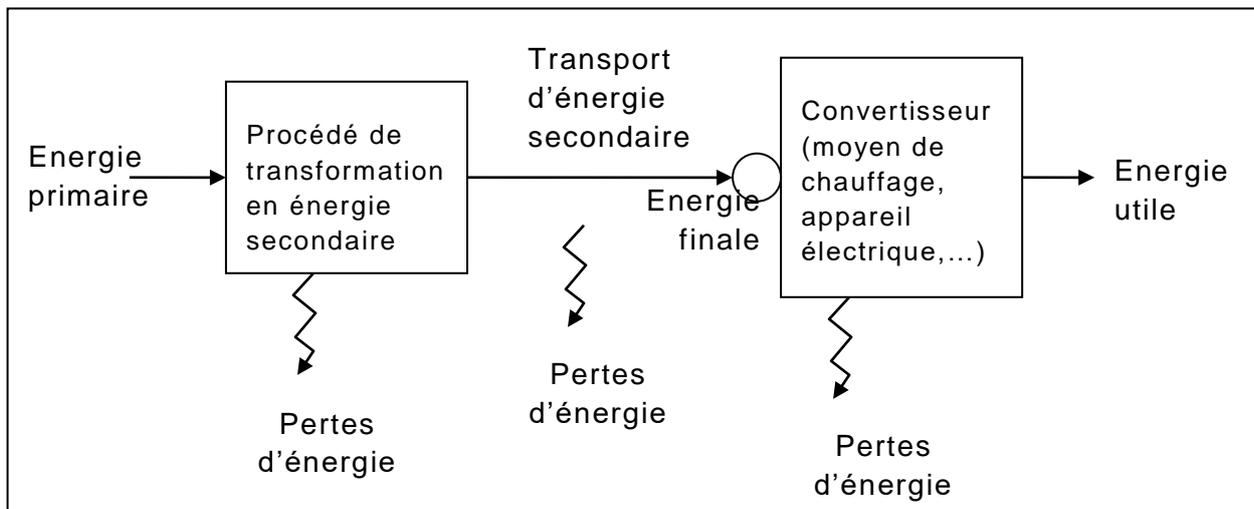
2.1 ÉNERGIE PRIMAIRE, FINALE, ET UTILE

On définit les différents types d'énergie de la façon suivante :

▪ **Énergie primaire** : énergie brute, c'est-à-dire non transformée après extraction (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, électricité primaire).

▪ **Énergie finale ou disponible** : énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer,...).

▪ **Énergie utile** : énergie dont dispose l'utilisateur final après la dernière conversion par ses appareils (ex : chaleur dégagée par un radiateur).



Le **facteur de conversion** entre énergie primaire et énergie finale est une convention, qui dépend de l'origine de l'énergie. En France, les facteurs sont :

- Pour l'électricité du réseau = 2,58
- Pour les autres sources d'énergie (gaz, réseau de chaleur, énergie renouvelables,...) = 1

On peut également distinguer l'énergie selon son utilisation :

L'énergie électrique spécifique correspond à l'électricité nécessaire aux services qui ne peuvent être rendus que par l'usage de l'énergie électrique, tels que l'éclairage et l'électroménager. Elle ne prend pas en compte l'eau chaude, le chauffage et la cuisson, qui peuvent utiliser différents types d'énergie.

2.2 RÉGLEMENTATION THERMIQUE – RT 2012

Face au changement climatique, le gouvernement français s'est engagé à ramener les émissions de gaz à effet de serre (GES) de la période de 2008 à 2012, au niveau de celles de 1990. Le secteur du bâtiment est, parmi les secteurs économiques, le plus gros consommateur en énergie et donc en conséquence, un des leviers d'action.

La nouvelle réglementation thermique concernant la construction neuve s'appuie sur :

- *la directive européenne du 16 décembre 2002 qui demande aux Etats membres de mettre en place des exigences minimales de performance énergétique pour les bâtiments neufs ;*
- *le plan Climat 2004 qui spécifie clairement l'objectif de la réglementation thermique des constructions neuves (une amélioration de la performance de la construction neuve d'au moins 15% pour atteindre au moins 40% en 2020, une limitation du recours à la climatisation et la maîtrise de la demande en électricité) ;*
- *et enfin la loi de programmation du Grenelle de l'Environnement qui donne des objectifs de performance précis pour les bâtiments neufs à horizon 2012 et 2020 grâce notamment à la nouvelle réglementation thermique (RT2012) ;*

Depuis le 1^{er} janvier 2013, la RT 2012 s'applique à **tous les bâtiments neufs, à l'exclusion :**

- *Des constructions provisoires prévues pour une durée d'utilisation de moins de 2 ans,*
- *Des bâtiments ou parties de bâtiments dont la température normale d'utilisation est inférieure ou égale à 12°C ;*
- *Des bâtiments ou parties de bâtiments destinés à rester ouverts sur l'extérieur en fonctionnement habituel ;*
- *Des bâtiments et parties de bâtiments qui, en raison de contraintes spécifiques liées à leur usage, doivent garantir des conditions particulières de température d'hygrométrie ou de qualité de l'air, et nécessitant de ce fait des règles particulières ;*
- *Des bâtiments ou parties de bâtiment chauffés ou refroidis pour un usage dédié à un procédé industriel*
- *Des bâtiments agricoles ou d'élevage ;*
- *Des bâtiments servant de lieux de culte et utilisés pour des activités religieuses ;*
- *Des bâtiments situés dans les départements d'outre-mer.*

La RT 2012 définit la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment neuf par un **coefficient d'énergie primaire (cep)** exprimé en kWh/(m².an).

Il comprend la consommation électrique ou thermique liée au chauffage, au refroidissement, à la production d'eau chaude sanitaire, à la ventilation, à l'éclairage, mais pas aux consommations électriques n'entrant pas dans l'une de ces catégories (matériel informatique, électroménager, etc.).

Il faut aussi déduire de cette consommation la production locale à partir d'énergies renouvelables¹.

¹ Se référer à l'arrêté du 26 octobre 2010

La valeur cible de la RT 2012 est un cep maximal de 50 kWh/(m².an) (niveau de performance énergétique équivalent au label des Bâtiments Basse Consommation BBC) modulable selon différents critères géographiques¹.

La consommation conventionnelle maximale est alors définie comme suit :

$$\text{Cep max} = 50 \times \text{Mctype} \times (\text{Mcgeo} + \text{Mcalt} + \text{Mcsurf} + \text{Mcges})$$

- Mc type : type de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;
- Mc géo : localisation géographique ;
- Mc alt : altitude ;
- Mc surf : surface moyenne des logements du bâtiment ;
- Mc GES : émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées. Bois (ou biomasse) : 0.30
Réseaux de chaleur : 0.30/0.20/0.10 respectivement si contenu CO₂ ≤ à 50/100/150 g/kWh

La surface considérée dans le calcul est aussi définie dans l'arrêté de la RT2012 mais sera confondue ici avec la Surface De Plancher (SdP) au regard de la précision des données du projet et de celle voulue par l'étude.

Pour les bâtiments existants, les mesures réglementaires sont différentes selon l'importance des travaux entrepris par le maître d'ouvrage :

- Pour les rénovations très lourdes de bâtiments de plus de 1000 m², achevés après 1948, la réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové. Ces bâtiments doivent aussi faire l'objet d'une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie préalablement au dépôt de la demande de permis de construire ;

- Pour tous les autres cas de rénovation, la réglementation définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé². « Préalablement au dépôt de permis de construire, le maître d'ouvrage réalise une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie du bâtiment. »³

A l'horizon 2021, il est envisagé la RT 2020, qui mettra en œuvre, le concept de bâtiment à énergie positive (BEPOS⁴). Ces futures réglementations sont des réglementations d'objectifs, elles laissent la liberté de conception tout en limitant la consommation d'énergie.

¹ Se référer aux arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012 relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

² <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Batiments-existants-.html>

³ Décret n° 2007 – 363 du 19 mars 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie, aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants et à l'affichage du diagnostic de performance énergétique

⁴ Des bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

Quelques remarques

Sur l'utilisation des valeurs seuils de la RT : dans le cadre de la réglementation, il ne s'agit pas d'estimer des consommations, même si le terme sera utilisé de façon abusive, mais plutôt une performance énergétique du bâti. La consommation réelle dépend en effet de trop de paramètres incontrôlables en amont, tels que les comportements des usagers, qui peuvent faire s'éloigner les consommations réelles des prévisions de plusieurs dizaines de pourcents. Ainsi, si l'on prend les normes précédentes comme base de calcul pour estimer des besoins, ils ne reflèteront pas nécessairement les besoins de production, et ces derniers devront être plutôt considérés comme des minima.

Sur la production/consommation électrique : en dehors de zones non raccordées au réseau national, l'électricité produite localement sera de toute façon transmise au réseau, puisque la consommation locale et la production ne coïncident généralement pas à un moment donné, et que l'électricité se stocke très mal. Par conséquent, la consommation « normale » d'électricité par le projet sera assurée par un raccordement au réseau. En résumé, une production locale d'électricité ne se substitue pas localement à la consommation à partir du réseau. Puisque l'électricité produite localement n'est pas à proprement parler consommée sur place, la comparaison entre une production locale et le besoin électrique d'un projet sera limitée à des bilans globaux (annuels, en général) de type « production-besoin » sans considérer la variation des besoins et des capacités de production dans le temps.

Sur la production/consommation locale de chaleur : en revanche, la consommation de chaleur pourra et devra être faite sur place, la chaleur se transportant moins bien mais pouvant se stocker mieux que l'électricité. La distinction entre la chaleur utilisée pour le chauffage et celle utilisée pour l'ECS est importante dans la mesure où les besoins varient différemment dans l'année, le besoin en ECS étant moins soumis au cycle des saisons. Toutefois, nous ne tiendrons pas compte de ces variations en 1^{ère} approche, et nous considérerons donc les besoins de chaleur dans leur ensemble.

2.1 LA RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE FUTURE - LA RE 2020

Les ambitions de la nouvelle réglementation environnementale (RE 2020), **qui s'appliquera à partir de l'été 2021 à tous les bâtiments neufs**, sont définies ainsi : lutter contre le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, y compris lors de sa construction, diminuer les consommations énergétiques, et mieux conserver de la fraîcheur dans les bâtiments lors des vagues de chaleur. Au total, il s'agit de modifier en profondeur la façon de concevoir et de construire les bâtiments de demain.

Elle intègre donc à la fois un volet énergie et un volet carbone, dans la droite ligne de l'expérimentation du label E+C-

Les textes réglementaires ne sont pas encore parus au jour de la rédaction de la présente étude, cependant, le principe affiché est d'avoir une réglementation d'objectif, laissant une liberté totale de conception, limitant simplement la consommation d'énergie. En particulier, les nouveaux bâtiments devront être à énergie positive ("BEPOS"),

Les bâtiments à énergie positive sont des bâtiments qui produisent plus d'énergie (chaleur, électricité) qu'ils n'en consomment. Ce sont en général des bâtiments passifs très performants et fortement équipés en moyens de production énergétique par rapport à leurs besoins en énergie. Les murs, toits, voire fenêtres peuvent être mis à profit dans l'accumulation et la restitution de la chaleur ou dans la production d'électricité. L'excédent en énergie se fait grâce à des principes bioclimatiques et constructifs mais aussi par le comportement des usagers qui limitent leur consommation. Une consommation moyenne de l'ordre de 50 kWh/m²/an est généralement constatée.

3 PRÉSENTATION DU PROJET ET ESTIMATION DE SES BESOINS

3.1 PRESENTATION DU PROJET

Nantes Nord fait l'objet d'un projet de territoire global sur quatre quartiers prioritaires : Bout des Pavés, Chêne des Anglais, Petite Sensive et Boissière. Ce projet de territoire global consiste à un renouvellement urbain du territoire, se déclinant à la fois sur un volet de cohésion sociale, un volet économique, un volet urbain et un volet environnemental.

Sur la base des constats et attentes émis par les habitants et acteurs du quartier, des orientations d'aménagement et objectifs du quartier Nantes Nord ont été définies et ont été déclinées en fonction des micros-quartiers que sont Boissière, la Petite Sensive, Bout des Pavés et Chêne des Anglais.

Ces réflexions ont permis d'aboutir à un schéma directeur, fil conducteur du projet, qui s'articule autour des grands objectifs suivants:

- **Rendre lisible et clarifier le réseau des parcs** par la préservation et le renforcement des espaces plantés existants mais aussi par la volonté de relier les différents espaces pour permettre la création d'un réseau de parcs (espaces publics).
- **Compléter et renforcer les liaisons** par l'amélioration de l'armature est-ouest, la requalification des grands tracés urbains mais aussi par le développement des continuités piétonnes et cyclables.
- **Compléter l'armature des centralités par :**
 - **La restructuration de certains équipements et la consolidation/ la centralisation de l'offre de services publics au coeur du quartier** (Pôle des Services publics - Centralité Champlain, réhabilitation/restructuration des équipements scolaires, etc.);
 - **Le développement d'une nouvelle offre commerciale** en accord avec les besoins du territoire et les dynamiques locales (offre de restauration, valorisation des circuits-courts, etc.) et implantée en pied d'immeubles des futurs logements.
- **Améliorer l'attractivité/diversité résidentielle et la qualité spatiale** avec la démolition de 348 logements sociaux (principalement les T3/T4 et grands logements) afin de désenclaver le quartier et permettre son ouverture ; la construction d'environ 1130 logements pour permettre la diversification des typologies d'habitat s; la réhabilitation de certains ensembles de logements mais aussi avec la densification maîtrisée des grands tracés.
- **Restructurer et améliorer la stratégie des eaux pluviales** par le remplacement des réseaux vieillissants, la remise à ciel ouvert des cours d'eau et plus particulièrement ceux canalisés, la recherche alternative à la gestion « tout tuyau »

3.2 ESTIMATION DES BESOINS DU PROJET

Le projet Global Nantes Nord est destiné à accueillir environ 1130 logements et vise à démolir 348 logements sociaux. Il accueillera également des commerces qui seront implantés avec les futures opérations immobilières ainsi que des services qui seront consolidés et concentrés au niveau des micro-centres de quartier.

Compte tenu de la diversité des typologies de logements, les lots proposés auront des superficies pouvant aller de 369 m² (parcelles maisons au niveau du quartier Petite Sensive) à 4 106m² (parcelle 16 rue Eugène Thomas), permettant ainsi de répondre à un maximum de besoins. A termes, la Surface de Plancher (SdP) qui sera développée pour les logements avoisinera les 72 000 m²

En l'état d'avancement du projet, il nous est impossible de définir avec exactitude les consommations futures des bâtiments. Celles-ci dépendent en effet de la réglementation, qui évoluera encore avant que le projet ne soit achevé, et surtout des usages spécifiques des constructions.

Les estimations présentées ci-dessous ont pour objectif de donner un ordre de grandeur.

Les besoins ont été évalués à partir d'hypothèses de consommations énergétiques de bâtiment respectant à minima la réglementation RT 2012.

Les besoins électriques des bâtiments comprennent l'ensemble des besoins des équipements électriques, à savoir les postes réglementaires au sens du calcul thermique (éclairage, ventilation et auxiliaires), ainsi que les consommations engendrées par les autres équipements des bâtiments.

Besoins pour les bâtiments neufs à usage de « logements »

	Logements	
	Par m ²	Pour 72 000 m ² SDP
Besoins en eau chaude	20 KWhut/m ² /an	1440 MWhut/an
Besoins en chauffage	30 KWhut/m ² /an	2160 MWhut/an
Besoins en électricité	35 KWhut/m ² /an	2520 MWhut/an
Total	85 KWhut/m²/an	6 120 MWhut/m²/an

Note sur la relation entre puissance installée et énergie produite/consommée

La puissance, dite nominale, d'une installation est la quantité d'énergie qu'elle peut produire pendant un temps donné, sous des conditions optimales. Le choix d'un raisonnement en puissance (kW) ou en énergie (kWh) dépendra surtout des ratios de production des différentes techniques, qui s'expriment le plus souvent sous l'une ou l'autre de ces formes. Le passage de l'un à l'autre ne sera toutefois pas forcément pertinent sans hypothèse sur les variations de besoins/production au cours d'une année. En effet, une puissance qui peut sembler élevée au regard des besoins annuels moyens peut juste suffire à assurer les besoins en période de forte demande (hiver). A l'opposé, une puissance qui paraît correspondre aux besoins peut ne pas suffire en période de forte demande, une puissance d'appoint supplémentaire étant alors nécessaire.

En résumé, pour les ratios précédents, ceux exprimés en puissance auront tendance à surestimer les besoins en énergie, tandis que ceux exprimés en énergie auront tendance à sous estimer les besoins en puissance.

4 POTENTIELS DE PRODUCTION

4.1 L'ÉNERGIE SOLAIRE

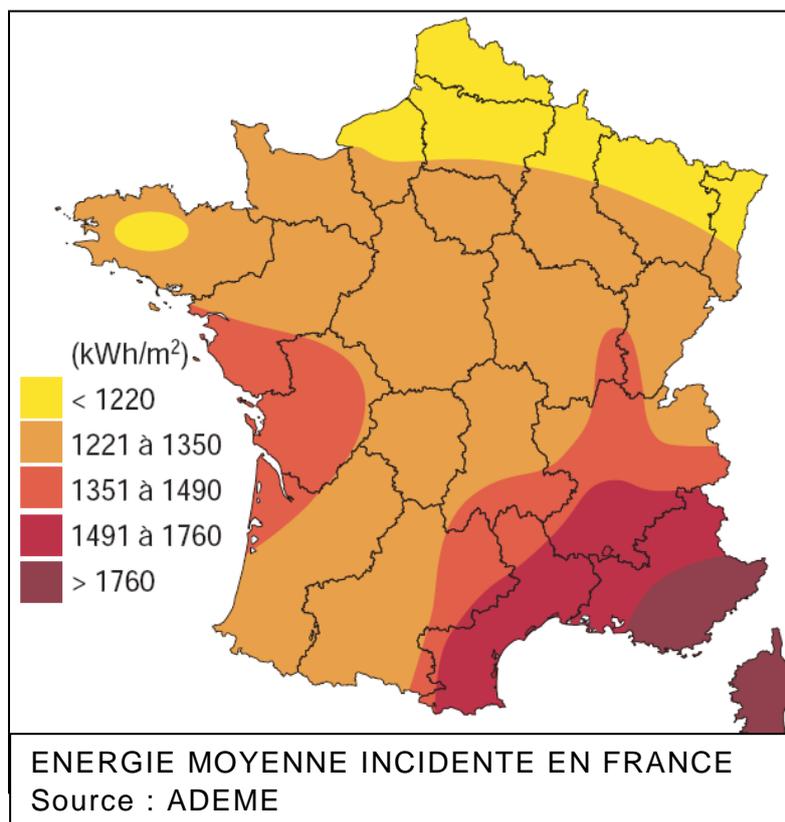
L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie a aujourd'hui deux domaines d'application :

- la production de chaleur
- la production d'électricité

La productivité des installations dans ces 2 domaines dépend directement de l'intensité moyenne du rayonnement sur une zone considérée, l'énergie produite ou récupérée étant plus ou moins proportionnelle à l'énergie naturellement reçue. Des cartographies existent pour évaluer ce rayonnement annuel moyen en fonction de la zone géographique, sans tenir compte de paramètres locaux propres à chaque secteur (brouillard, relief, etc.) comme l'illustre celle ci-contre.

L'intérêt de telles cartographies est limité dans la mesure où c'est l'énergie récupérée qui importe, plutôt que l'énergie naturelle incidente. Elles permettent néanmoins d'avoir une idée de l'énergie maximale récupérable (s'il n'y avait pas de pertes entre le captage et l'utilisation finale) et la comparaison entre zones géographiques.

Certaines établissent tout de même une corrélation avec la production d'énergie résultante par des installations standards, en particulier dans le cas de la production d'électricité.



4.1.1 La production de chaleur par panneaux solaires thermiques

L'énergie du rayonnement solaire infrarouge est directement captée et stockée, sous forme de chaleur, dans un fluide caloporteur. Ce fluide transmet ensuite sa chaleur à l'eau sanitaire (cas du chauffe eau solaire individuel ou CESI) ou en même temps à l'eau de chauffage (cas des systèmes solaires combinés ou SCC), par un échangeur de chaleur (sorte de plaques ou tuyaux permettant l'échange de chaleur sans contact entre les fluides).

Cette énergie peut aussi servir de source chaude aux systèmes thermodynamiques de climatisation solaire. Différents procédés existent, à absorption, à adsorption ou à dessiccation/évaporation.

Enfin, des installations solaires permettent la concentration des rayons solaires pour chauffer un fluide jusqu'à évaporation, et ensuite entraîner une turbine pour produire de l'électricité. Ces systèmes de fortes puissances sont des projets à part entière, au même titre qu'un parc éolien par exemple, et sauraient difficilement trouver leur place en milieu urbain, indépendamment du potentiel du site. On peut citer pour information :

Les systèmes Dish Sterling à concentrateurs paraboliques et moteur Sterling au foyer (photo : prototype à Odeillo en Espagne)



Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques (photo : centrale LUZ en Californie de 354 MW)

Les tours solaires (photo : centrale à héliostat de 35 MW à Séville en Espagne)



La chaleur devant être consommée localement, elle doit donc être stockée pour être restituée aux moments voulus. La question du stockage de la chaleur inclut aussi la température de l'eau de chauffage désirée et la couverture des besoins en fonction du volume d'eau stockée (en tenant compte des pertes de chaleur de l'installation). Ainsi, pour un même ensoleillement et une même surface de capteurs, la couverture des besoins pourra varier fortement selon le dimensionnement de l'installation en aval.

Quelques exemples de capteurs solaires, variant par leur forme, leur mise en œuvre, leur performance et leur application.

Les capteurs plans vitrés, les plus communs, qui peuvent servir à la production d'ECS et au chauffage avec appoint. Ils peuvent être intégrés à la toiture ou fixés dessus en surimposition.



Les capteurs à absorbeurs métalliques, non vitrés, semi-rigides et moins souples que les capteurs moquettes, mais avec un meilleur rendement. Ils peuvent par exemple servir au préchauffage de l'ECS. Ils permettent en outre une bonne intégration au bâti, notamment pour des bâtiments existants, mais ne sont pas orientables.

Les capteurs sous vides, rigides, qui possèdent en général un rendement meilleur que les capteurs plans pour des températures plus élevées (au-dessus de 30°C), et peut servir au chauffage, à la production d'ECS et dans des systèmes de climatisation solaire.



Les capteurs dits « moquette » non vitrés, sont souples mais ont un mauvais rendement. Ils peuvent par exemple servir au chauffage de l'eau d'une piscine, mais pas à la production d'ECS.

Application au projet

Etant donné la densité du projet et les surfaces de toiture potentiellement disponibles, soit environ 34 000 m² pour les logements construits (il s'agit là de la totalité des toitures hors équipements techniques), les solutions de récupération de chaleur par panneaux solaires de type capteurs plans ou capteurs sous vide peuvent être privilégiées **pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS)**.

Un calcul très simplifié montre que :

- Energie fournie par 1 m² de panneau solaire thermique plan sur une année : 500 kWh/m².an¹.
- Besoins globaux en chauffage et ECS du projet : 3 600 MWh/an (soit 3 600 000 kWh/an)

=> surface de panneau correspondant au besoin global : **7 200 m²**.

Nota : le calcul ci-dessus est très approximatif, puisqu'il est basé sur des besoins annuels en chaleur, alors que la surface de panneaux et le volume de l'élément de stockage de la chaleur doivent être définis en fonction des variations journalières, voire saisonnières, des besoins. En pratique, même si l'énergie récupérée sur une année équivaut aux besoins, l'installation suffit rarement à satisfaire les besoins en chauffage en périodes de pointe journalières ou annuelles.

Premières conclusions

La technologie solaire thermique est une solution au potentiel a priori intéressant compte tenu des besoins du projet mais dont la rentabilité reste à préciser à l'échelle du bâtiment, en fonction de la forme du bâti et de l'usage (chauffage, ECS ou les 2 à la fois) et de la solution d'appoint choisie.

Un travail devra également être fait en parallèle de l'élaboration du plan masse sur les hauteurs et orientations de bâtiments, afin d'accroître les potentialités d'utilisation de l'énergie solaire, et favoriser le chauffage naturel par simple respect de la bioclimatique.

¹ Des opérations répertoriées par l'ADEME pour du logement collectif dans différentes régions de France donnent des valeurs allant de 430 à 790 kWh/m².an, sans lien direct apparent avec la localisation des projets.

4.1.2 La production d'électricité par panneaux solaires photovoltaïques

L'énergie du rayonnement solaire capté sert à créer un courant électrique – par effet photovoltaïque sur certains matériaux – qui sera ensuite transmis sur le réseau électrique national, un réseau local ou bien stocké dans des batteries.

Différents types de cellules photovoltaïques existent avec des rendements variables (cf. tableau suivant). La puissance d'un module photovoltaïque s'exprime en Watt crête (Wc).

		Rendement en %	Surface en m ² par kWc	Contrainte de coût/m ²
TECHNOLOGIES CRISTALLINES	Silicium polycristallin	12 à 15	10	+++
	Silicium monocristallin	15 à 18	8	++++
	Silicium en ruban	12 à 15	10	+++
TECHNOLOGIES COUCHES MINCES	Silicium amorphe (a-Si)	6	16	+
	Tellure de cadmium (CdTe)	7 à 10	12 à 16	++ <small>Source : HESPUL</small>

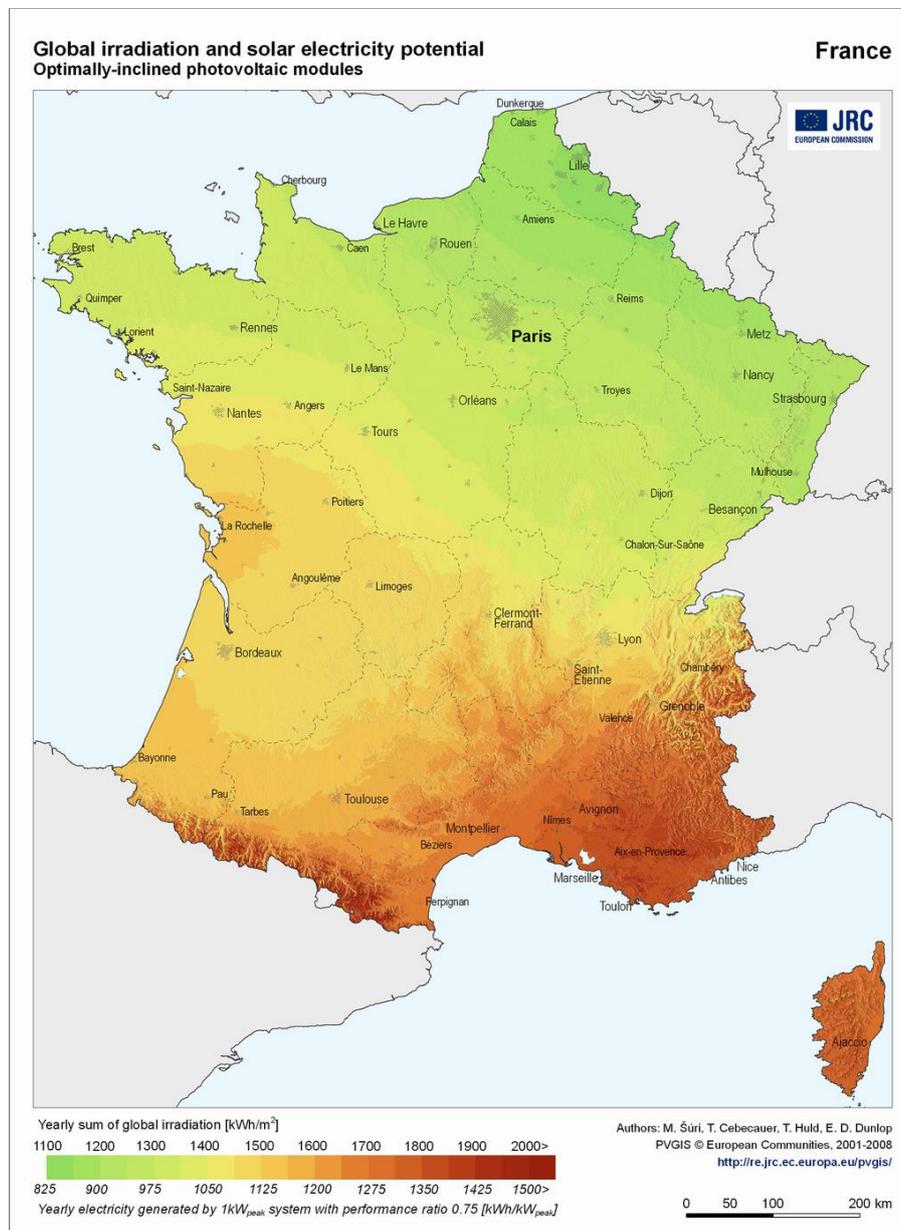
Source : Schéma Régional Solaire

▪ Les possibilités de raccordement au réseau électrique public

Le site est aujourd'hui desservi par un réseau électrique basse et moyenne tension qui alimente les entreprises, qui possèdent souvent un poste transformateur sur leur parcelle. Sous réserve de la capacité actuelle du réseau, le raccordement ne semble poser aucune contrainte particulière.

▪ Le potentiel de production local d'électricité

L'ensoleillement dans le secteur de Nantes, se situe, d'après différentes cartes, aux alentours de 1700 - 1800 kWh/m².an.



Une estimation basée sur le logiciel du PVGIS¹ (PhotoVoltaic Geographical Information System) permet une évaluation rapide du potentiel de production d'installations photovoltaïque standard au kWc de puissance installée¹.

¹ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>

Les hypothèses sont les suivantes :

- technologie des capteurs : silicium cristallin
- puissance nominale installée : 1 kWc
- pertes du système (câbles, onduleur,...) : 14% (valeur par défaut du logiciel)
- pertes globales du système (calculée par le logiciel en ajoutant les pertes dues à la température, à la réflexion,...) : 23.4%
- panneaux intégrés au bâti
- inclinaison des panneaux optimisée sur l'année (environ 35° par rapport à la verticale)
- orientation plein Sud
- pas de système d'héliostat (pas de suivi de la trajectoire du soleil) – un tel système, que l'on trouve dans les centrales solaires, permet des gains de productivité de l'ordre de 30 %.
- Pour une installation de 10 m² de panneau photovoltaïque, la puissance électrique est équivalent à 1 kWc.an.

¹ 1 kWc de puissance installé correspond à environ 10 m² de panneaux en silicium cristallin.

Valeurs moyennes d'irradiation et d'ensoleillement sur le secteur du projet en 2016 :

Mois	Irradiation journalière moyenne (kWh/m²)	Irradiation mensuelle moyenne (kWh/m²)	Production mensuelle d'électricité (kWh/kWc)
Janvier	1.81	31.0	54
Février	2.96	59.0	81.8
Mars	4.77	97.6	123.8
Avril	6.24	132.7	157.9
Mai	7.73	159.1	164.7
Juin	8.37	135.8	176.0
Juillet	7.92	175.9	178.1
Août	6.77	176.8	172.2
Septembre	5.02	112.6	145.9
Octobre	3.59	79.7	97.1
Novembre	2.18	46.4	66.4
Décembre	1.56	33.7	59.6
Moyenne sur l'année	4.91	103.3	123.1
Total sur l'année		1240	1477.5

Les valeurs de production sont données par une formule du type $E = k.P.H$, où :

- E est l'énergie électrique produite par l'installation en kWh/m²,
- k est le rendement de l'installation hors pertes des capteurs, appelé aussi facteur de conversion (en pratique de l'ordre de 75%),
- P est la puissance nominale de l'installation,
- H est l'irradiation reçu par le module en kWh/m².

L'estimation ci-dessus donne donc une productivité de 1477.5 kWh/kWc.an, soit, rapporté au m² de panneau installé, de l'ordre de 147 kWh/m².an, (soit environ 7% de l'énergie incidente), en comptant les pertes de l'installation (les ordres de grandeurs restent semblables pour d'autres types de technologie pour les capteurs des panneaux, comme les capteurs amorphes).

Application au projet

Etant donné les surfaces de toiture potentiellement disponibles, soit environ 34 000 m² pour les logements construits (il s'agit là de la totalité des toitures hors équipements techniques), la production d'électricité par panneau photovoltaïque semble privilégiée.

Un calcul très simplifié montre que :

- Energie fournie par 1 m² de panneau solaire thermique plan sur une année : 147 kWh/m².an¹.
- Besoins globaux en électricité du projet : 2 520 MWh/an (soit 2 520 000 kWh/an)

=> surface de panneau correspondant au besoin global : **17 150 m²**.

Premières conclusions

Comme pour la technologie solaire thermique, le solaire photovoltaïque pourra profiter des surfaces importantes de toitures.

Un travail pourra être réalisé en parallèle de l'élaboration du plan masse sur les hauteurs et orientations des ensembles de logements, afin d'accroître les potentialités d'utilisation de l'énergie solaire, et favoriser le chauffage naturel par simple respect de la bioclimatique.

¹ Des opérations répertoriées par l'ADEME pour du logement collectif dans différentes régions de France donnent des valeurs allant de 430 à 790 kWh/m².an, sans lien direct apparent avec la localisation des projets.



Panneaux photovoltaïques en surimposition sur toiture existante en bacs acier - puissance de 7,35 kW (Lyon, 2006)



Membrane photovoltaïque amorphe sur toiture des entrepôts Sisley à Saint-Ouen-l'Aumône (95) - surface de 35000 m², puissance estimée à 848 kWc (source : cahiers techniques du bâtiment n°305 – avril 2011)



Panneaux photovoltaïques en 2010 sur la toiture du club house du Golf de Mérignies (59) – puissance de 7,7 kWc

4.2 L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

4.2.1 La production d'électricité par éolienne

Une éolienne est un dispositif visant à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique utilisable soit directement, dans le cas de pompes, soit pour produire de l'électricité dans le cas d'aérogénérateurs.

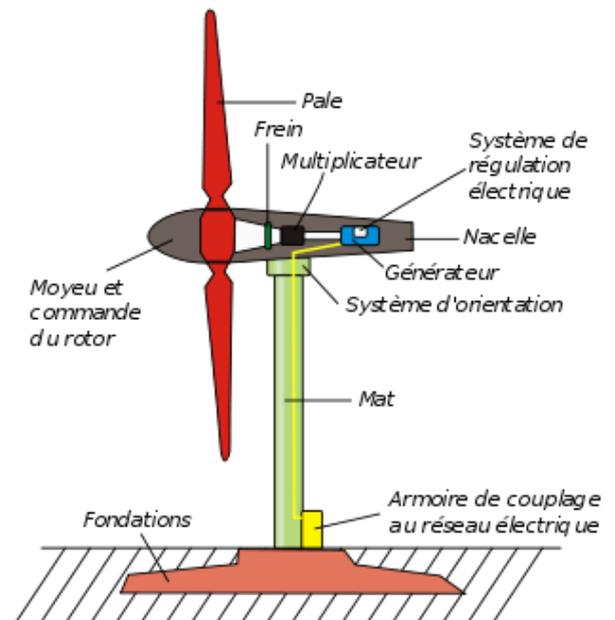
Quelques types d'éoliennes :

- **Les éoliennes à axe horizontale** : les plus répandues, à la conception la plus simple et au rendement globalement meilleur. Elles utilisent l'effet de portance sur leurs pales pour leur mise en mouvement (comme les ailes d'avion). Elles doivent être orientées dans la direction du vent et sont pour cela souvent couplées à un système d'orientation.



Eolienne de type Darrieus à axe horizontal en toiture à Equihen en France (puissance : 6 kW)

(source : H2-développement)



Source : wikipedi **Eolienne à axe horizontal du lycée Léonard de Vinci à Calais hauteur 35 m, puissance 132 kW (source : ARENE)**

- Les éoliennes à axe vertical

On peut distinguer 2 grands types :

Eoliennes de type Savonius : elles sont constituées de 2 demi-godets légèrement désaxés. Elles sont peu bruyantes, peuvent démarrer à des vitesses de vent faibles et ont un couple important quoique variable au cours de la rotation. L'augmentation rapide du poids avec la puissance fait qu'elles sont peu adaptées à la production de grande puissance. Des variantes à écran ou à voilure existent, ou les pales sont orientées selon la direction du vent. Elles ont un rendement assez faible.



Source : Pcon



Source : Quietrevolution

Eoliennes de type Darrieus : elles utilisent l'effet de portance sur des profils dépassant de l'axe du rotor. Leur inconvénient majeur est qu'elle nécessite une force extérieure, comme un moteur, au démarrage.

L'exploitation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité peut se faire à petite échelle par des éoliennes de faibles ou moyennes puissances dites « urbaines » (de quelques kW à quelques centaines de kW on parle de micro, petit ou moyen éolien), ou à plus grande échelle grâce à des parcs éoliens composés de plusieurs éoliennes de plusieurs MW.

En dehors de l'électrification rurale des zones non reliées au réseau électrique national, la production à petite échelle reste limitée à l'alimentation de

particuliers, et nécessitent alors l'emploi de batteries. La connexion au réseau permet d'y injecter l'électricité produite sans recourir aux batteries, mais s'avère en général d'autant moins rentable que la puissance de l'installation diminue. Elle permet néanmoins une meilleure intégration aux projets d'aménagement, sous réserve de connaître ou d'évaluer les caractéristiques du vent sur chaque projet.

4.2.2 Les documents régionaux d'aide à la décision

Le Schéma Régional Eolien:

Le « Schéma Régional Eolien » est annexé au Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) des Pays de la Loire adopté en janvier 2013. Il comporte une phase d'état des lieux, et l'énonciation des stratégies d'implantations et de recommandations.

La partie « Etat des Lieux » croise les données relatives au gisement éolien avec les contraintes techniques (lignes RTE, servitudes aériennes,...), paysagères, et environnementales (zones sensibles ornithologiques) pour en déduire les zones propices ou non à l'implantation d'éoliennes.

Des zones favorables au développement de l'énergie éolienne sont ainsi définies, elles correspondent aux territoires présentant des enjeux faibles à modérés, ou des enjeux assez forts dans laquelle une vigilance sera nécessaire des cartes précédentes.

Des études locales sont à prévoir pour évaluer la pertinence des projets éoliens et des dispositions réglementaires sont nécessaires (législation des installations classées pour la protection de l'environnement, des permis de construire éoliens).

Pour évaluer le potentiel de développement des éoliennes sur le secteur, il sera en particulier nécessaire de connaître :

- Le potentiel du vent,
- La rugosité des surfaces (forte en agglomération, moyenne pour les secteurs de bois et de forêt, faible en campagne),
- La prise en compte des enjeux paysagers.

Les Zones de Développement de l'Eolien :

La Zone de Développement de l'Eolien (ZDE) est un outil à disposition des collectivités, communes et EPCI, qui leur permet d'effectuer une demande, auprès du préfet, pour instaurer des périmètres préférentiels d'implantation d'éoliennes et de parcs éoliens, en définissant des seuils et des plafonds de

puissances. Les ZDE permettent aux installations de bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité produite, à des tarifs fixés par décret ministériel supérieurs au prix de revente de base.

La loi Brottes, adoptée le 11 mars 2013 a supprimé la procédure de création de ZDE et promulgue que l'autorisation d'exploiter les ICPE doit « tenir compte » des « parties favorables » à l'éolien définies par les schémas régionaux de l'éolien. Elle supprime également la règle des cinq mâts¹.

4.2.3 Règlementation

Jusqu'à la loi POPE de 2005, le seuil au-delà duquel un projet éolien requérait une étude d'impact et une enquête publique était un seuil de puissance installée de 2,5 MW.

Dorénavant, il s'agit d'un seuil portant sur la hauteur des éoliennes :

- **Hauteur de mât inférieure à 12 m** : pas de formalité.
- **Hauteur de mât supérieure à 12 m** : un **permis de construire** est nécessaire (art. L. 421-1-1 du CU) ainsi qu'une **notice d'impact**².
- **Hauteur de mât supérieure à 50 m** : en plus du permis de construire, une étude d'impact³ et une enquête publique sont demandées⁴.

		SHOB ⁵ créée		
		< 2 m ²	Entre 2 et 20 m ²	> 20 m ²
Hauteur	< 12 m	Rien	Déclaration préalable	Permis de construire
	> 12 m	Permis de construire	Permis de construire	Permis de construire

¹ Pour bénéficier de l'obligation d'achat, les parcs éoliens devaient constituer des unités de production composées d'au moins 5 éoliennes.

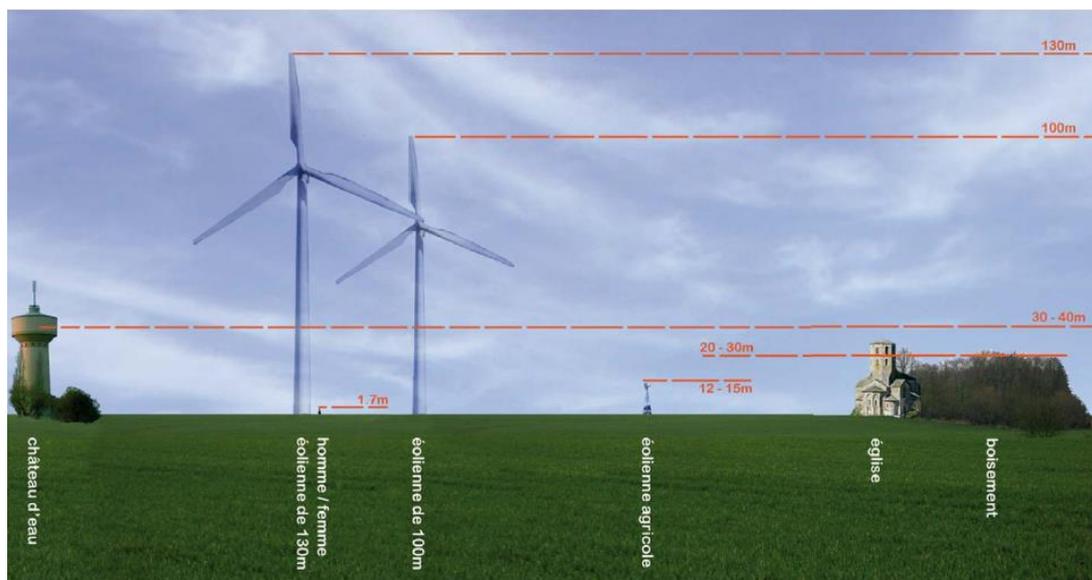
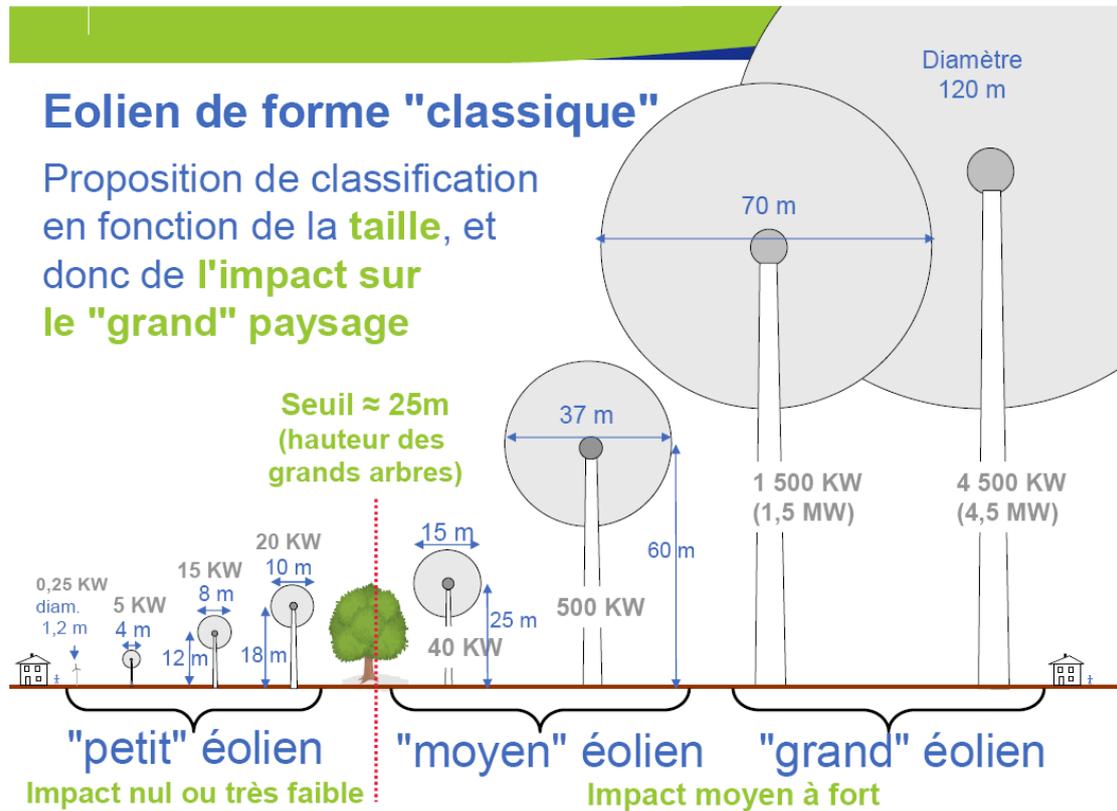
² Code de l'environnement, article R. 122-9

³ Code de l'environnement, art. R. 122-8

⁴ Code de l'environnement, art. R. 123-1, annexe I

⁵ Surface hors œuvre brute (2008)

Le code de l'urbanisme¹ précise que la hauteur à prendre en compte, pour déterminer si un projet est soumis à permis de construire ou non, correspond à la hauteur du mât de l'éolienne et de la nacelle (sans l'encombrement des pales). Le code de l'environnement² prend seulement en compte la hauteur du mât.



¹ Art. L.421-1-1

² Art. L.553-2

L'autorisation pour les éoliennes de plus de 50m est aussi soumise à l'éloignement des installations d'au moins « 500m par rapport aux constructions à usage d'habitation, aux immeubles habités et aux zones destinées à l'habitation définies dans les documents d'urbanisme en vigueur à la date de publication de la même loi » (loi du 12 juillet 2010)¹.

Le classement des éoliennes comme Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

Depuis la loi « Grenelle 2 » du 12 juillet 2010, les installations éoliennes sont en principe classées sous la nomenclature ICPE. Le décret d'application² crée une rubrique au sein de la nomenclature ICPE, soumettant les installations éoliennes aux régimes suivants :

- **Autorisation** : installations ayant :
 - au moins une éolienne avec un mât d'une hauteur de plus de 50m
 - des éoliennes de hauteurs comprises entre 12m et 50m et d'une puissance totale supérieure à 20 MW

- **Déclaration** : installations ayant des éoliennes de hauteurs comprises entre 12m et 50m et d'une puissance totale inférieure à 20 MW

4.2.4 Estimation de production d'électricité par éolienne

En l'absence de données locales, faisons une estimation au ratio avec des valeurs de référence. La vitesse minimale de fonctionnement d'une éolienne prise comme minimum de référence dans l'établissement d'une Zone de Développement de l'Eolien (circulaire du 19 juin 2006) est de 3 m/s. La puissance nominale des éoliennes est en général obtenue pour une vitesse de vent de l'ordre de 10 m/s. En supposant qu'une éolienne d'une puissance nominale d'1 kW fonctionne 10 % de l'année à puissance nominale (soit 880 heures), la production électrique théorique serait grossièrement de **880 kWh/kW.an**.

En prenant comme hypothèse de garder une éolienne de taille « raisonnable », disons inférieure à 12 m, d'une puissance de 15 kW, celle-ci produirait dans ces conditions **13,2 MWh/an**.

¹ Art. L553-1 du Code de l'environnement

² Décret n°2011-984 du 23 août 2011

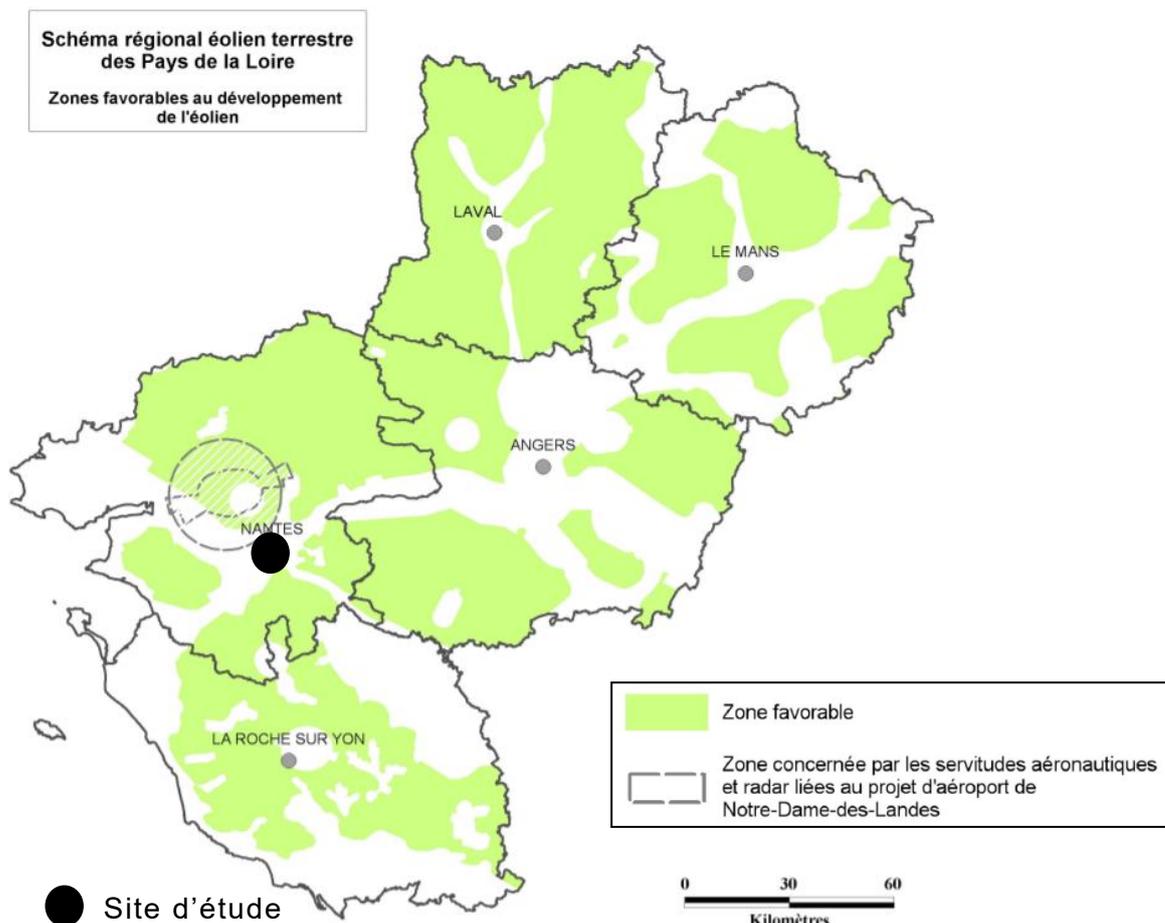
Par exemple, pour une production annuelle souhaitée de 5000 kWh, il faudrait 1 éolienne de 5 kW à un coût d'installation d'environ 30 000 € avec une emprise au sol inférieure à 5 m² (source : Schéma directeur – Avril 2018).

N.B : Cet ordre de grandeur est à moduler en fonction de la taille (donc de la puissance) et du type de l'installation : les grandes éoliennes ont de meilleurs rendements à puissance nominale et leur production électrique au kW installé est plus importante. Certains types d'éoliennes auront un rendement meilleur que les grandes éoliennes classiques à axes horizontal, pour des vitesses de vents « faibles » (< 10 m/s) ou des vents turbulents, ce qui est généralement le cas pour les petites éoliennes en milieu urbain et celles à axe vertical.

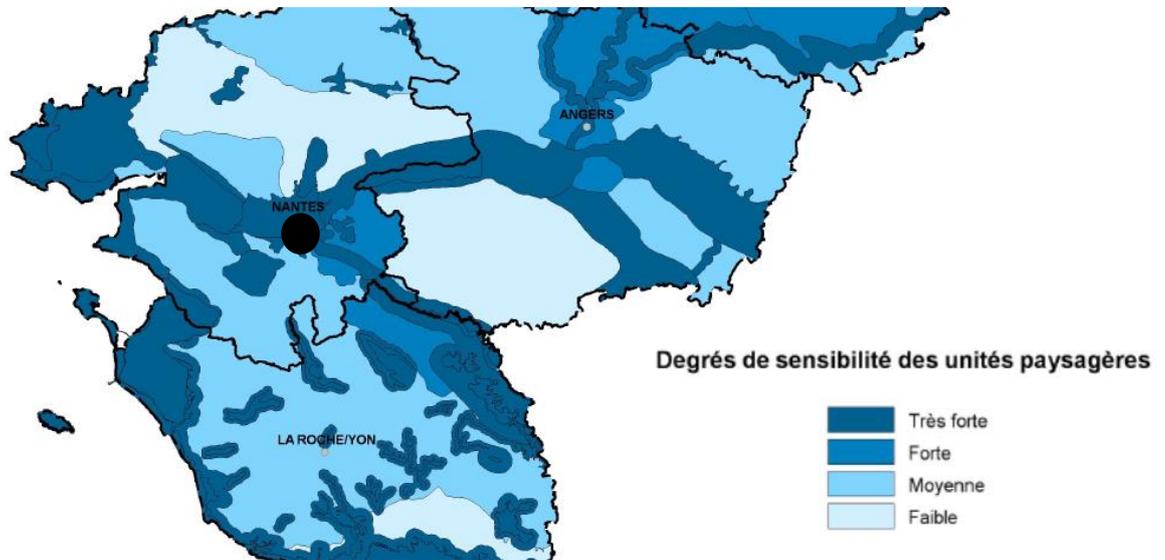
Des variations importantes pouvant apparaître au sein d'une même localité, il serait nécessaire, le cas échéant, de réaliser une étude plus précise sur le site d'implantation des éoliennes pour établir un profil de distribution des vents donnant la répartition des caractéristiques du vent dans une année par rapport à sa vitesse et à son orientation.

4.2.5 Application au projet

Le Schéma Régional Eolien identifie la commune de Nantes en secteur non favorable au développement de l'énergie éolienne.

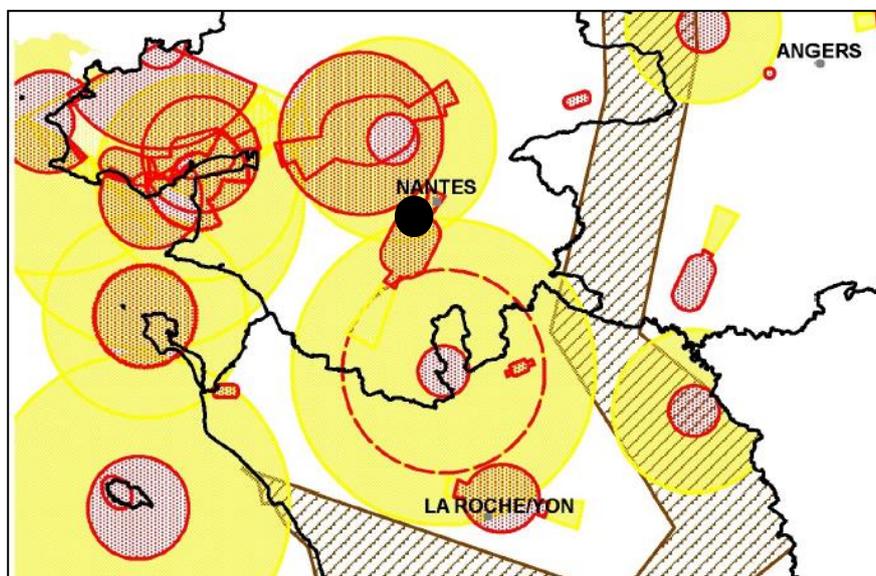


La ville de Nantes a une sensibilité paysagère très forte étant donnée l'urbanisation dense du territoire, les éoliennes de plus de 12m de haut sont interdites.



● Site d'étude

De plus, pour des motifs de sécurité publique, l'implantation d'éoliennes de grande hauteur (<12m) doit tenir compte des contraintes techniques liées aux radars et aux aéroports. Des zones de protection d'environ 30 km¹ autour des aéroports sont préconisées. Le site étant situé à environ 11.5 km de l'aéroport de Nantes-Atlantique, l'implantation d'éoliennes de plus de 12 m de haut est interdite.

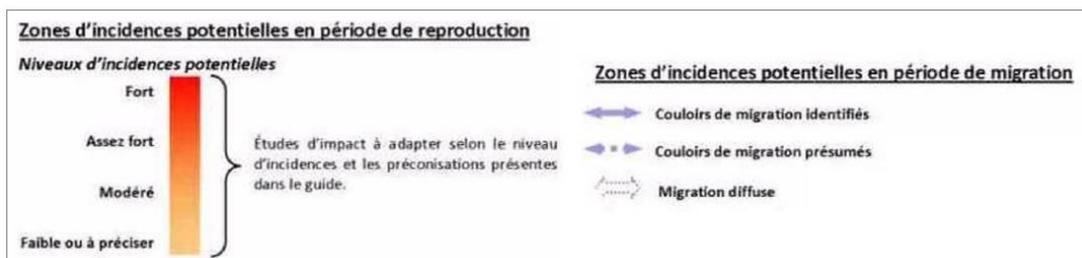
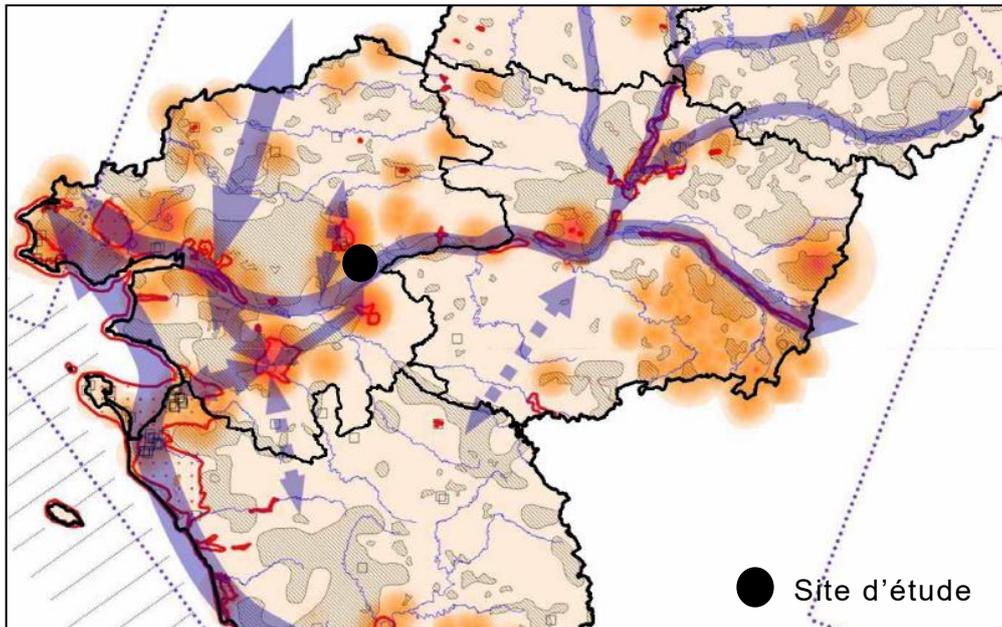


● Site d'étude

- Espaces d'exclusion pour l'éolien
- Espaces sous contraintes liés aux radars et aux aéroports
- Espaces sous contraintes liés aux couloirs de survol à basse altitude

¹ Source : [ht](#)

Enfin, la ville de Nantes se trouve au niveau de couloirs de migration identifiés pour l'avifaune.



Contraintes liées au projet

Nantes se situe donc en zone défavorable à l'implantation d'éoliennes en raison des sensibilités et contraintes suivantes :

- Servitudes et contraintes techniques liés aux radars et aux aéroports.
- Degré de sensibilité des unités paysagères très fort.
- Couloirs de migration de l'avifaune identifiés.

De ce fait, seule l'implantation de petites et micro-éoliennes (<12m) peut être envisagée. Notons que l'implantation d'éolienne véhicule un message positif pour un projet, en lien avec les conceptions du développement durable. L'usage des voies de communication peut contribuer à renforcer cette image.

Premières conclusions

D'après le Schéma Régional Eolien, Nantes n'est pas dans une zone favorable à l'implantation de grande éolienne du fait de la présence de l'aéroport. Cependant, les vents dominants du sud-ouest présentent un potentiel intéressant, avec peu de construction venant ralentir le vent dans

cette direction. L'implantation de petite et de micro-éolienne paraît envisageable. Néanmoins, la pertinence de ce dispositif apparaît limitée pour couvrir les besoins d'électricité du projet. Les petites éoliennes pourront participer à la mixité énergétique du projet.

4.3 LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE ET LA GÉOLOGIE

Les techniques abordées ci-dessous exploitent les propriétés thermiques du sol, qui à la particularité d'avoir une chaleur relativement constante comparé à l'air extérieur, plus chaude que lui en hiver, et plus froide en été. Elles recherchent la chaleur ou la fraîcheur contenue dans le sol à plus ou moins grande profondeur, et la transfère vers le fluide d'un réseau de chauffage (eau ou air), éventuellement au moyen d'une pompe à chaleur (PAC).

Selon la température de la ressource, on parlera de géothermie haute, basse ou très basse énergie. Dans le cas de la très basse énergie, voire de la basse, des pompes à chaleur sont en général utilisées pour extraire la chaleur de la ressource et la transférer au fluide de chauffage, par l'intermédiaire d'un autre fluide qui subit des transformations dites « thermodynamiques ». La haute énergie exploite directement la chaleur, soit pour la transmettre à un réseau de chaleur, soit pour la production d'électricité. Dans le cas de l'étude par exemple, les ressources sous-terraines orienteront vers des solutions de géothermie à très basse énergie.

Parmi les caractéristiques intéressantes pour l'étude d'un potentiel géothermique, on peut citer :

- Pour la géologie : la nature des couches lithographiques au droit du site et leurs caractéristiques physico-chimiques (roches meubles ou cohérentes, humidité, perméabilité, porosité) qui définissent les propriétés thermiques du sol (capacité et conductivité thermiques).
- Pour l'hydrogéologie : la présence et les caractéristiques physico-chimiques d'un aquifère souterrain (volume, débit, position, température, composition chimique).

4.3.1 Le contexte du site

Contexte réglementaire

Les travaux en sous-sol sont soumis à une législation visant à contrôler les ouvrages d'une part (code minier), et à contrôler les prélèvements et les rejets d'eau d'autre part (code de l'environnement).

Le code minier impose :

- une **déclaration** par le maître d'ouvrage ou l'entreprise de forage auprès de la préfecture pour des forages d'une profondeur supérieure à 10 m
- une **autorisation** au-delà de 100 m.

Le code de l'environnement définit quelles opérations sont soumises à déclaration ou à autorisation. Nous pouvons citer :

- Pour le prélèvement :

Rubrique 1.1.1.0 : Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau => **déclaration**

Rubrique 1.1.2.0 : Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant :

- Supérieur ou égal à 200 000 m³/an => **autorisation**
- Supérieur à 10 000 m³/an mais inférieur à 200 000 m³/an => **déclaration**

Rubrique 1.3.1.0 : A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :

- Capacité supérieure ou égale à 8 m³/h => **autorisation**
- Dans les autres cas => **déclaration**

▪ Pour le rejet :

Rubrique 2.2.1.0 : Rejet dans les eaux douces superficielles susceptible de modifier le régime des eaux, à l'exclusion des rejets visés à la rubrique 2.1.5.0 ainsi que des rejets des ouvrages visés aux rubriques 2.1.1.0 et 2.1.2.0, la capacité totale de rejet de l'ouvrage étant :

- Supérieure ou égale à 10 000 m³/j ou à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau => **autorisation**
- Supérieure à 2 000 m³/j ou à 5 % du débit moyen interannuel du cours d'eau mais inférieure à 10 000 m³/j et à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau => **déclaration**

Rubrique 2.3.2.0 : Recharge artificielle des eaux souterraines => **autorisation**

L'emploi de sondes géothermiques est aussi encadré par le code minier qui impose :

- une **déclaration** par le maître d'ouvrage ou l'entreprise de forage auprès de la préfecture pour des forages d'une profondeur supérieure à 10m (art.131 du décret 78-498 du 28 mars 1978) ou pour les gites de moins de 100m de profondeur (art.17 du même décret).
- une **autorisation** au-delà de 100 m.

Le code de l'environnement et la loi sur l'eau concernent ce type d'ouvrage dans la mesure où ils dépassent un certain seuil de profondeur (100m) et les soumettent alors à **autorisation** (qui vaut aussi dans le cadre du code minier)

La géologie

Le site repose sur des formations d'altération de surface, terre végétale, remblais, limons argileux et schisteux, et sur un substratum de micaschiste (minéraux de schiste) plus ou moins altéré en tête.

L'hydrogéologie

Pour rappel, un aquifère est identifié dans la zone d'étude. Il s'agit de la nappe de l'Estuaire-Loire.

Les usages actuels de la ressource en eau souterraine

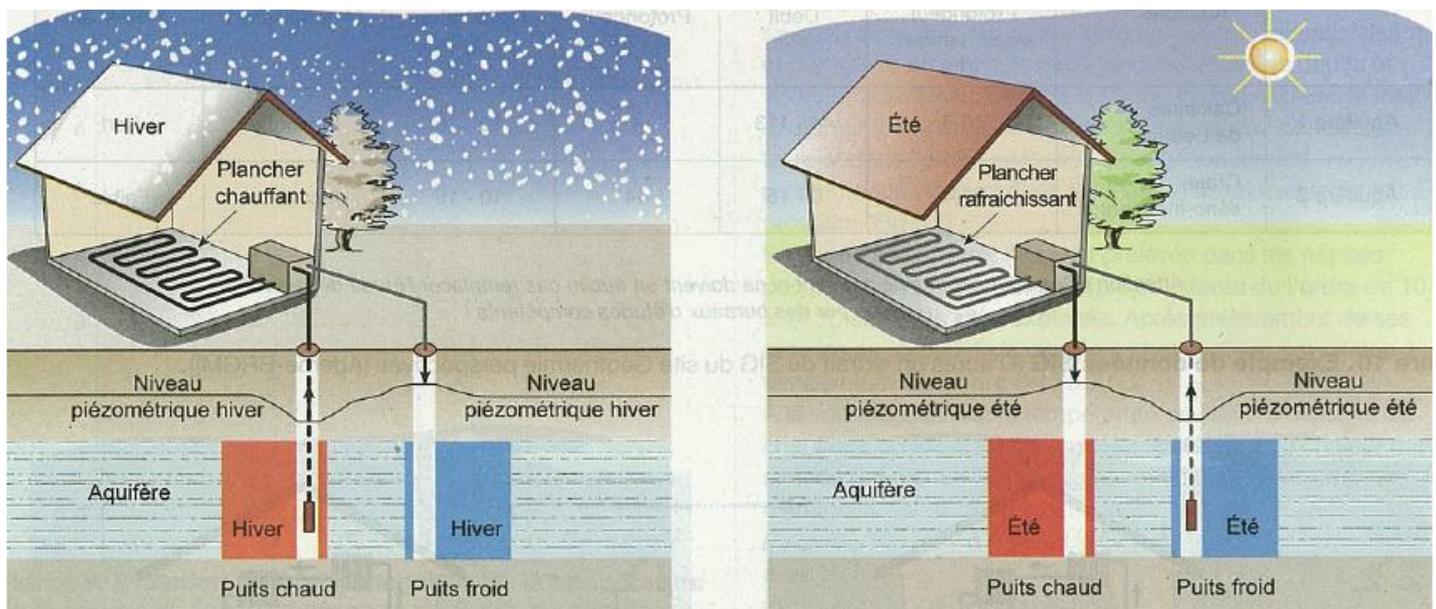
Il existe un captage dans la nappe alluviale de la Loire permettant d'alimenter l'usine de Basse-Goulaine. Ce captage apporte une ressource permanente en termes de potabilisation de l'eau à Nantes Métropole. La protection du champ captant de l'île Lorideau a été instaurée par arrêté préfectoral du 9 juillet 2002 (cf. carte ci-dessous). Notons qu'il alimente principalement le secteur sud Loire. Enfin, d'après les données du BRGM du site Infoterre.brgm, de nombreux captages sont présents dans un rayon de 2 km majoritairement au nord du site d'étude mais aucun d'entre eux n'est utilisé pour la production d'eau potable.

4.3.2 Exploitation de la chaleur de l'eau de nappe

L'eau des nappes souterraines est pompée puis sa chaleur est en partie transférée, via une PAC, vers le fluide d'un réseau de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. L'eau puisée peut ensuite être rejetée vers un réseau d'eau en surface, ou bien vers son aquifère d'origine.

La 2^{ème} solution oblige à réaliser un 2^{ème} puits d'injection, en plus du puits de pompage, mais a l'intérêt de réalimenter la nappe et d'éviter l'épuisement de la ressource, ainsi qu'une pollution éventuelle du milieu de surface récepteur. Ce 2^{ème} puits doit tout de même rester suffisamment éloigné du point de puisage pour limiter la baisse (ou la hausse) de température de l'aquifère au point de puisage.

Contrairement au pompage d'eau de surface, la température de l'eau puisée, et donc le rendement de la pompe à chaleur, restent assez stables pendant l'année.



Source : Le Moniteur

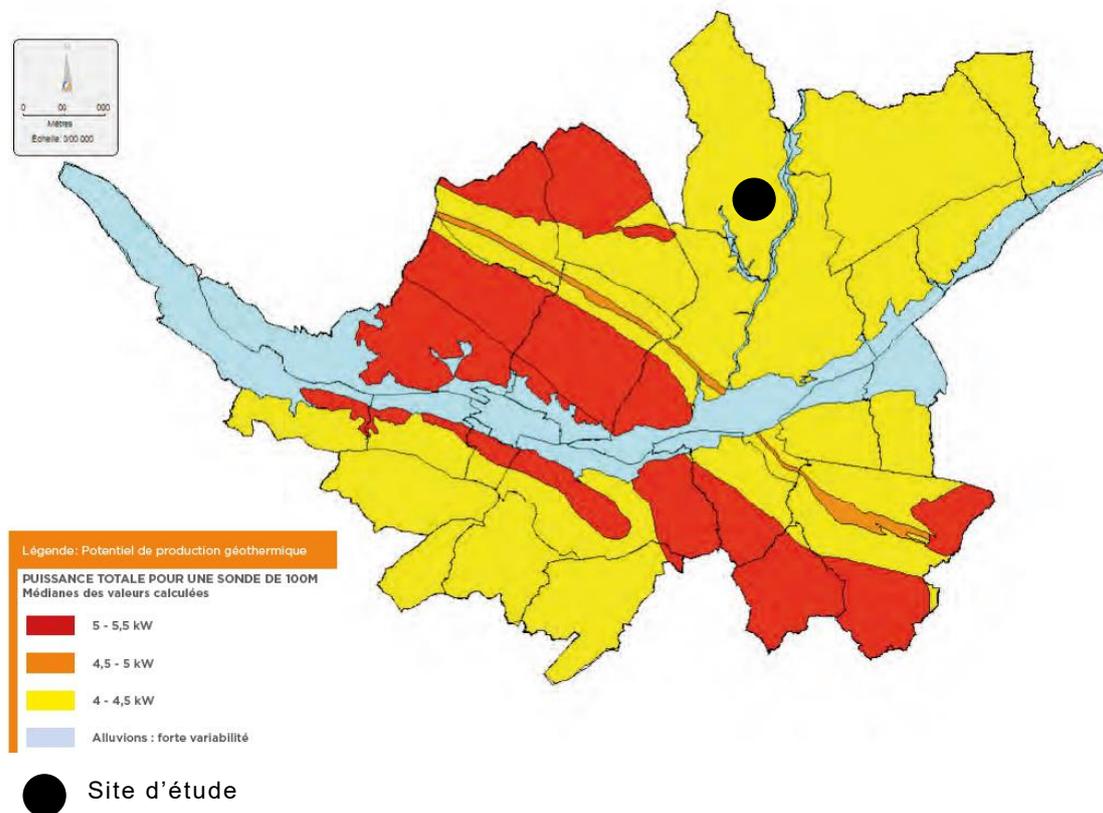
Application au projet

L'exploitation des aquifères d'une profondeur supérieure à 200m n'est pas possible sur le territoire compte tenu de la géologie locale. En revanche, le développement de la géothermie superficielle sur sondes verticales est possible pour certaines zones du territoire.

Le site du projet se situe dans le secteur de la masse d'eau souterraine de l'Estuaire-Loire (FRGG022). Un suivi piézométrique par mesure manuelle à fréquence mensuelle depuis novembre 2018 a été réalisé sur le futur site de la Maison de Santé par Fondasol. Il apparaît que les niveaux piézométriques mesurés à la fin décembre 2018 et début avril 2019 sont représentatifs d'un niveau haut de nappe. Les niveaux d'eau varient entre 4.89m et 7.80m de

profondeur par rapport au terrain naturel. De plus, d'après les relevés piézométriques réalisés, l'écoulement de la nappe s'oriente du nord-nord-est.

Le site d'étude se trouve dans la zone la moins favorable de Nantes pour le développement de la géothermie superficielle. La puissance totale pour une sonde de 100 m varie entre 4 et 4.5 Kw.



En revanche, la zone alluviale de la Loire est qualifiée de zone la plus favorable pour la géothermie par pompage de nappe. Ce potentiel doit toutefois conforter par des études de faisabilités détaillées, portant notamment sur la productivité de l'aquifère et la salinité de la nappe.

Premières conclusions

La ressource souterraine en eau existe au droit du site, dans la nappe de l'Estuaire- Loire. Néanmoins, le potentiel géothermique par pompage est peu favorable au droit du site. La zone alluviale de la Loire est qualifiée de zone la plus favorable pour la géothermie par pompage de nappe et se situe à environ 5km au sud du site d'étude.

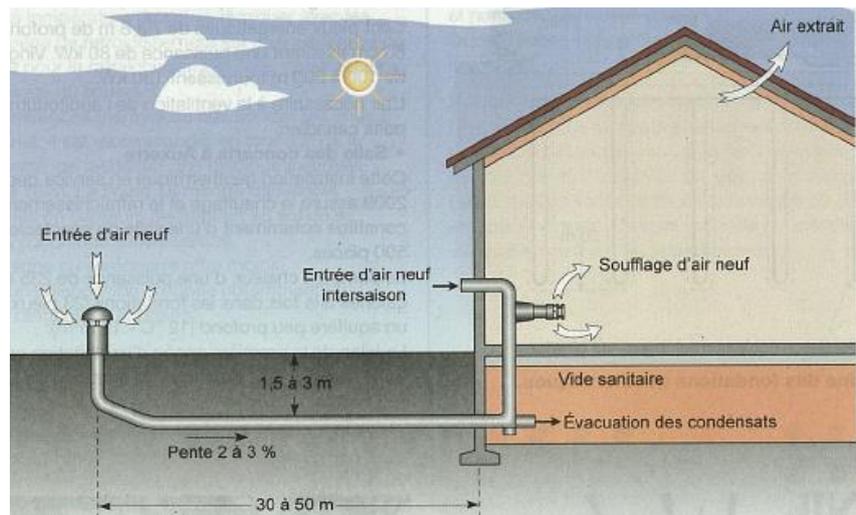
Pour autant, étant donné l'investissement nécessaire pour les forages, il faudra assurer une consommation et un débit d'eau exploité suffisant pour avoir une rentabilité correcte.

4.3.3 Exploitation de la chaleur du sol

▪ Les puits canadiens ou provençaux

L'échange de chaleur se fait entre le sol et l'air, au niveau de canalisations enterrées. L'air ainsi réchauffé ou refroidi est ensuite envoyé dans le système de ventilation du bâtiment. Ce procédé n'a pas vocation à la production d'eau chaude sanitaire, le réchauffement restant assez limité.

Schéma de principe de puits canadien



Réseau du puits canadien avant remblaiement (source : Canada Clim)

▪ Les fondations géothermiques

Dans le cas de bâtiments fondés sur pieux, éléments de fondation en béton armé enfoncés dans le sol, on peut intégrer lors de leur fabrication ou de leur mise en place sur site un système de captage de l'énergie (tube en polyéthylène noyé dans le pieu renforcé par une armature en fer et dans lequel il est possible de faire circuler de l'eau). Le système de captage est connecté à une PAC. Il est aussi possible d'utiliser ce procédé de la même manière pour des parois de fondations ou de soutènement.



Tubes et armatures en tête d'un pieu (source : PREBAT)

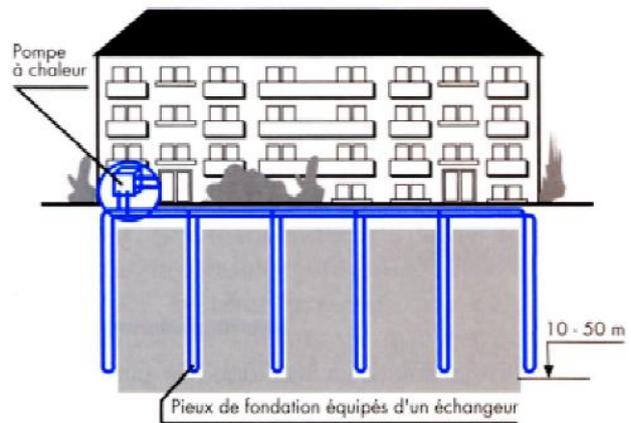


Schéma de principe de fondations géothermiques (source : PPI chaleur 2009)

▪ **Les sondes géothermiques horizontales**

Cette technique exploite la chaleur contenue dans la couche superficielle du sol (0,60m à 1,20m de profondeur) par un réseau de tubes enterrés installés en boucles et reliés à une pompe à chaleur. La chaleur est récupérée par conduction par un fluide caloporteur circulant en circuit fermé dans ces tubes. Ce fluide peut être de l'eau additionnée d'antigel (tubes en polyéthylène) ou directement le fluide frigorigène de la pompe à chaleur (tubes de cuivre gainés de polyéthylène, pour la technologie dite de détente directe).



Capteurs horizontaux Viessmann ©

L'inconvénient de cette technologie est l'espace qu'elle consomme : il faut compter de 1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer. Elle est donc plus adaptée aux opérations de logements individuels. Parmi les contraintes de pose :

Il faut veiller à rester à distance :

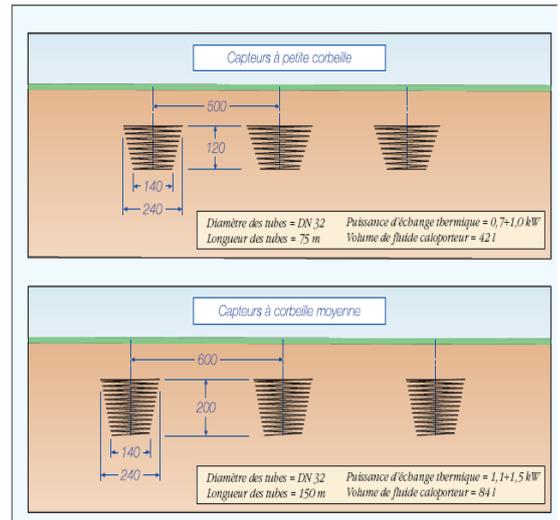
- des arbres (au moins 2m) des réseaux enterrés non hydrauliques (au moins 1,50m) ;
- des fondations de puits, fosses septiques et réseaux d'évacuation (au moins 3m).

La surface au-dessus des capteurs doit rester perméable (pas de construction comme une terrasse)

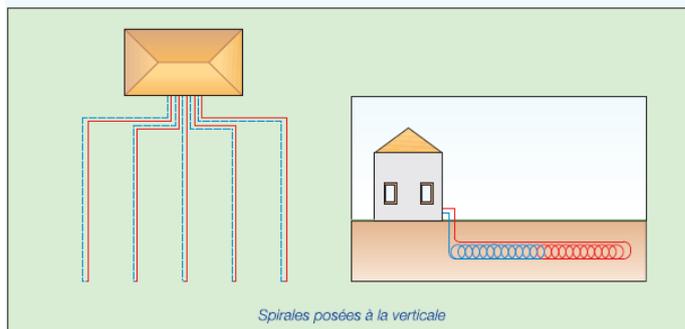
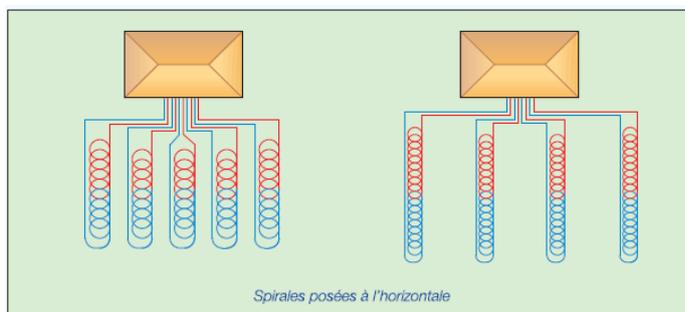
Le terrain doit être de préférence peu pentu pour éviter les remblais

Le sol doit être de préférence meuble.

On peut aussi trouver des capteurs disposés en « corbeilles » ou en « spirales », qui ont pour intérêt de limiter l'emprise au sol tout en gardant un certain linéaire



Sondes en corbeilles



Source : revue Hydraulique nov. 2010

▪ Les sondes géothermiques verticales

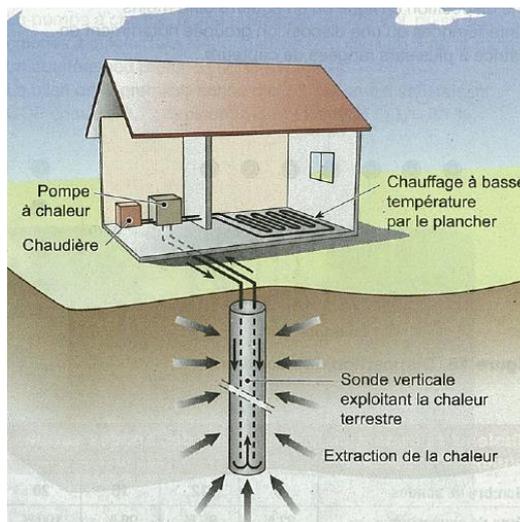
Ces sondes géothermiques sont des capteurs en U placés verticalement à plusieurs dizaines de mètres de profondeur, scellés par une cimentation adaptée, et reliées à une pompe à chaleur. Le fluide caloporteur, de l'eau additionnée d'antigel, y circule en circuit fermé et récupère la chaleur du sous-sol.

Par rapport à des capteurs horizontaux, cette technique a pour avantages de consommer moins de surface de terrain et d'être moins vulnérable aux variations de température et aux racines des arbres grâce à sa plus grande profondeur. En revanche, elle nécessite des forages et l'intervention d'entreprises de forage spécialisées et pose des contraintes administratives supplémentaires, relatives à la protection des sous-sols.

Les sondes doivent être espacées d'une distance minimale les unes des autres pour éviter de perturber les sondes voisines.



**Sonde géothermique – fabricant :
Geotech**



Source : Le Moniteur

La chaleur captée dépend de la longueur des sondes et aussi de la nature du sol. Le transfert de chaleur entre le sol et le capteur se fera d'autant mieux que le sol est meilleur conducteur thermique et que le contact entre le capteur et le sol est important. Un sol humide permet aussi un meilleur stockage de chaleur qu'un sol sec. Le tableau ci-dessous, pris parmi d'autres existants dans la littérature ou des mesures directes, reprend les puissances que l'on peut extraire par mètre de sonde selon la nature du sol.

Influence de la nature du sol sur le potentiel géothermique très basse énergie.

Nature du sous-sol	Conductivité thermique (W/mK)	Puissance d'extraction W/m	Longueur sonde m/kW de puissance COP : 3,5
Gravier, sable, sec	0,4	< 20	> 36
Gravier, sable, aquifère	2	60	11
Argile, limon, humide	1,7	35	19,5
Calcaire massif	2,8	52,5	13
Grès	2,3	60	11
Granite	3,4	62,5	12
Basalte	1,7	45	16,5
Gneiss	2,9	65	13

Source : guide ADEME-BRGM sur les pompes à chaleur géothermique (février 2008)

D'autres paramètres influencent la conductivité, comme le gel, ou encore la rétractation du sol en période de sécheresse pour des sols argileux, qui réduit le contact avec le capteur et donc le transfert de chaleur. Cela peut être compensé par la profondeur à laquelle sont enterrés les capteurs, où l'effet se fait moins sentir. Le débit de la nappe, le cas échéant, influence aussi les performances (recharge thermique du sol).

Application au projet

Les profils géologiques existants au droit du site montrent une nature de sol limoneuse argileuse, schisteux et micaschiste jusqu'à 17 m de profondeur (jusqu'à la base du sondage).

Prenons une conductivité thermique de l'ordre de 1,7 (limon, argile), on peut donc estimer en première approche, une puissance d'extraction d'environ 35 W/m, soit une conductivité du sol moyenne. La nature des sols pouvant être très variable d'un endroit à un autre, cette information reste bien évidemment à confirmer par d'autres sondages à l'échelle du site.

En prenant une conductivité moyenne de **35 W/m de sonde** pour le sous-sol au droit de la zone d'étude, un hectare de terrain comportant 100 sondes de 100m de profondeur peut produire en théorie une puissance de l'ordre de **350 kW/ha**

Premières conclusions

À la vue de la conductivité moyenne du sol, la mise en place d'une exploitation géothermique est peu recommandée.

De plus, les techniques de géothermie sont consommatrices d'espace au sol si l'on excepte les fondations géothermiques profondes, ce qui oblige à forer à de grandes profondeurs pour augmenter la surface de capteurs utile, ce qui accroît d'autant le coût des travaux de forage et rend la technique peu rentable hors subventions.

4.4 LES ÉNERGIES DE RÉCUPÉRATION

On parle d'énergies fatales pour qualifier les énergies produites incidemment par des activités, le plus souvent industrielles, et qui n'ont pas de vocation initiale à être valorisées dans le cadre de l'activité en question. Ce sont ces énergies que l'on peut chercher à valoriser dans des utilisations qui n'ont pas nécessairement de lien avec l'activité d'origine, et que l'on qualifiera alors d'énergie de récupération.

Cette énergie peut être exploitée pour alimenter un réseau de chaleur qui desservirait, si ce n'est l'endroit de sa production, d'autres points de consommation pour de l'habitat, des bâtiments tertiaires ou d'administration.

4.4.1 La chaleur issue des déchets

Les déchets peuvent constituer une source d'énergie alternative. En effet, la valorisation énergétique des déchets permet de transformer leur combustion ou leur fermentation en énergie.

Deux unités de traitement des déchets, implantées dans la métropole nantaise permettent la valorisation des déchets :

- L'unité de traitement implantée à Couëron, est composée d'une unité de valorisation énergétique équipée de deux fours permettant de produire de la vapeur et de l'électricité. Elle alimente le réseau de chaleur de « Nord-Chézine » et fournit aux habitants de Nantes Nord de l'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.
- L'unité de traitement implantée à Nantes, Prairie de Mauves, est également composée d'une unité de valorisation énergétique équipée de deux fours. Elle permet de produire de l'eau surchauffée qui alimente les réseaux de Chaleur de Centre Loire.

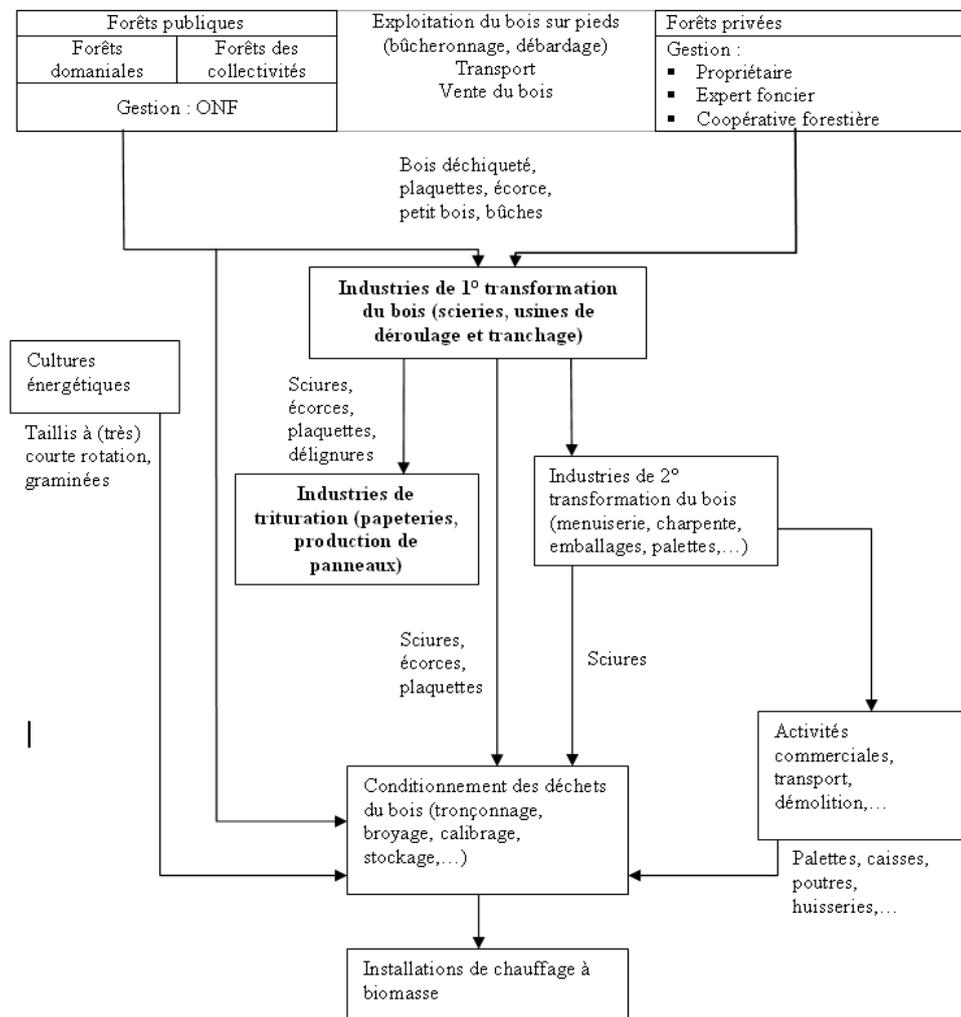
4.4.2 La biomasse

Selon la Directive 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité, la biomasse est « *la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales),*

de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux »¹.

La biomasse peut servir principalement de combustible pour la production de chaleur, soit au niveau d'un bâtiment, soit d'une parcelle ou d'une zone d'aménagement via un réseau de chaleur. Elle peut aussi servir, pour la partie fermentescible, à la production de biogaz.

Le schéma ci-dessous donne un aperçu des principales filières d'approvisionnement en biomasse.



¹ Source : http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/f1e_biom.htm

▪ Le bois énergie

On appelle bois énergie, les combustibles bois, soit les sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.) qui peuvent être valorisés sous différentes formes : les bûches, les plaquettes (ou bois déchiqueté), les granulés de bois.

Une méthodologie d'évaluation du gisement bois énergie a été réalisée en 2014 afin d'obtenir un premier ordre de grandeur sur le tonnage en bois mobilisable à Nantes Métropole. Les arbres pris en considération proviennent :

- Des parcs et jardins urbains ;
- Des bois et forêts ;
- De la sylviculture et des peupleraies ;
- Des arbres alignements.

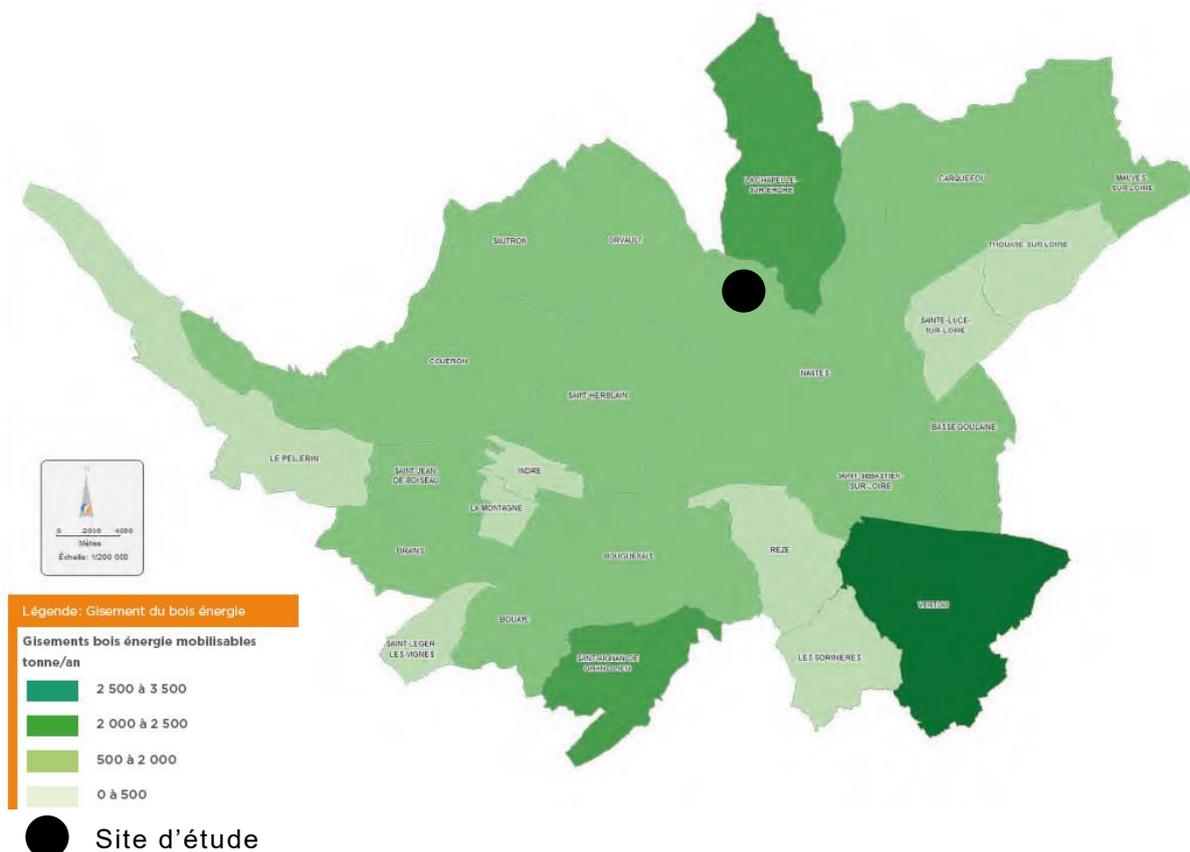
Application au projet

À l'échelle de Nantes Métropole, la quantité moyenne de bois exploitable en bois énergie s'élève à environ 26 000 tonnes par an et équivaut à un potentiel de production de chaleur moyen de 63 GWh/an. Les gisements en bois énergie sont répartis de manière plus ou moins homogène sur l'ensemble du territoire. Les principaux gisements sont localisés à Vertou (12 %), à La Chapelle-sur-Erdre (10 %), à Saint-Aignan de Grand Lieu et à Carquefou (8 %).

En 2014, le territoire comptait 5 chaufferies biomasse raccordées à des réseaux de chaleur. Le bois énergie est utilisé par la chaufferie de Bellevue à Nantes (12 MW bois), la chaufferie de la ZAC de la Noé à Saint-Jean de Boiseau (500 kW), la chaufferie de Rezé (4 MW bois), la chaufferie de l'AFUL Chantrerie (2,5 MW bois) et la chaufferie de la ZAC de la Minais à Sainte-Luce-sur-Loire (750 kW bois/gaz) afin d'alimenter les réseaux de chaleur.

Au droit du site, le gisement bois énergie mobilisable varie entre 500 à 2 000 tonne/an.

Notons que la région Pays de la Loire et l'association Atlanbois (interprofession dont la mission est de développer toutes les utilisations du bois en construction et en énergie), s'engagent à planter un million d'arbres d'ici 2024. En parallèle un fonds de compensation carbone va être mis en place (il sera alimenté par les collectivités et les entreprises volontaires). Il permettra, notamment, de financer la plantation d'un million d'arbres supplémentaires, portant ainsi à 2 millions le nombre de nouvelles plantations dans les prochaines années. L'objectif est d'assurer le renouvellement de la ressource pour les décennies à venir dans une région relativement peu boisée (340 000 ha, soit 11 % du territoire régional) mais où la filière forêt-bois pèse lourd, avec 7 100 entreprises et 31 400 salariés.



▪ Le biogaz

Le biogaz est le gaz produit à partir de biomasse, de déchets organiques et d'effluents tels que les eaux usées et les déchets fermentescibles (agricoles, ménagers). Il peut être exploité directement pour la production de chaleur, comme le gaz de ville classique, ou bien pour produire de l'électricité destinée à être revendue sur le réseau public. Les installations susceptibles de produire du biogaz sont souvent : les stations d'épuration, des centres de traitement des déchets ménagers, industriels ou agricoles, les centres d'enfouissement technique dans une certaine mesure.

Sources potentielles de production de biogaz à proximité du site

- Les stations d'épuration (STEP)

Une unité de production de biogaz-cogénération (production d'électricité couplée à la production de chaleur) publique, existe sur le territoire. Cette unité fait partie de la station de traitement des eaux usées de Nantes Métropole de la Petite Californie. Elle est située à environ 7km au sud du site d'étude. Pour répondre aux exigences de Haute Qualité Environnementale, Petite-Californie est un site exemplaire à la fois pour le choix et les performances des unités de traitement mais aussi pour le fonctionnement du site en général : digestion thermophile des boues, stockage biogaz, cogénération, chauffage des locaux par une pompe à chaleur et panneaux photovoltaïques, réutilisation potentielles

des eaux traitées pour le lavage des bus de l'agglomération, sas à boues pour mise en dépression,...etc...

- Les biodéchets

Le gisement de biodéchets sur Nantes Métropole est évalué à environ 12 000 tonnes par an (sachant que le secteur des industries agroalimentaires n'a pas été évalué). Ces biodéchets seraient les déchets organiques des commerces alimentaires, des commerces de gros, des hébergements, des établissements de santé, etc. Le potentiel de production total de chaleur à partir de déchets organiques en provenance des entreprises s'élève à environ 8 Gwh/an. La ville de Nantes produit près de la moitié du gisement total de déchets organiques.

- La méthanisation

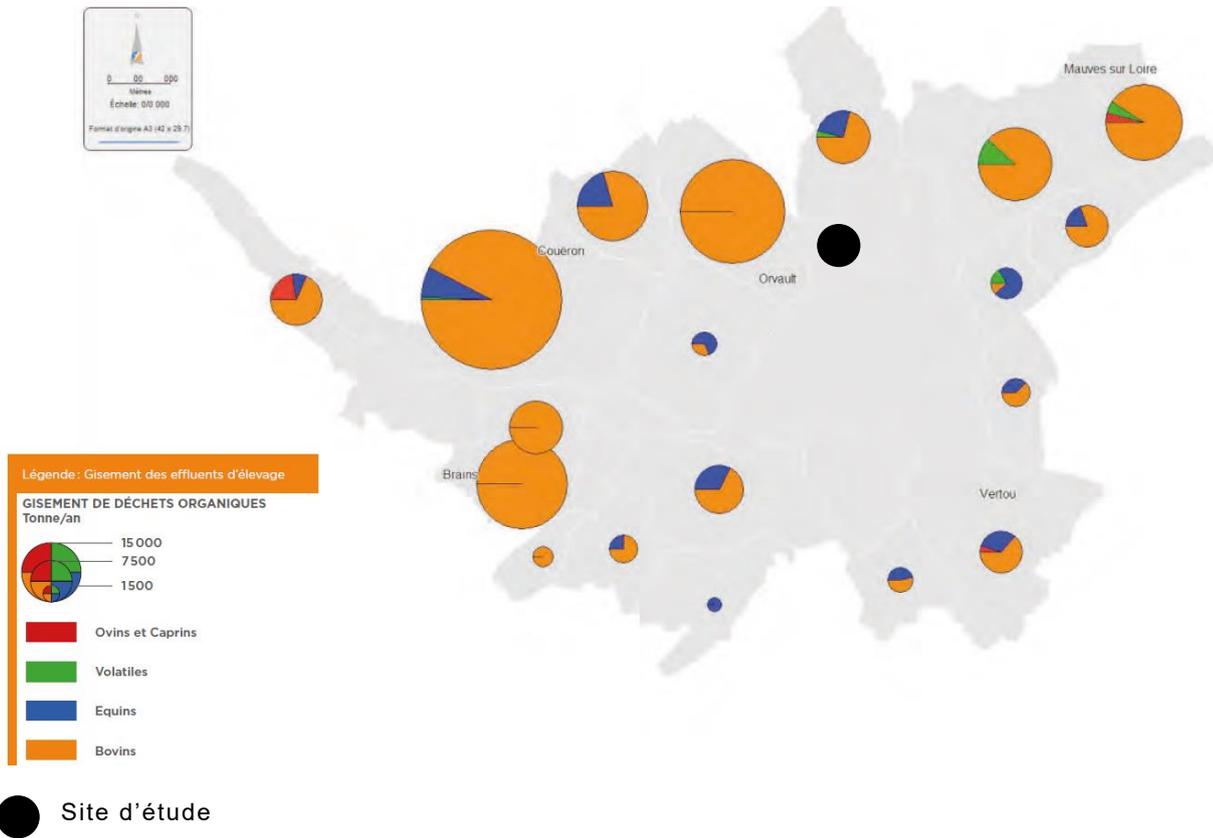
Selon l'Agence Locale d'Energie (AILE) en Pays de la Loire, il y a 26 unités de méthanisation. En Loire-Atlantique, c'est l'installation industrielle d'Issé qui fournit l'essentiel des productions thermiques et électriques. Aucune usine de méthanisation ne se trouve sur l'agglomération Nantaise.

- Les effluents d'élevage

Le territoire est propice à l'installation d'unités de méthanisation du fait de la présence d'exploitations agricoles d'élevage productrices d'effluents (lisier, fumier, fiente) valorisables par ce biais. Les principaux gisements d'effluents sont issus des ateliers bovins avec 86% de la part du gisement mobilisable, puis les ateliers équin viennent en seconde position avec 11% de la part du gisement mobilisable. Les autres filières représentent une part négligeable, 2% pour les volailles et 1% pour les ovins et Caprins.

Sur le territoire de Nantes, aucun gisement d'effluents d'élevages agricoles n'est présent. Les gisements d'effluents les plus proches du site d'étude se trouvent sur les communes de la Chapelle-sur-Erdre et Orvault et sont issus des ateliers bovins.

Territoire	Commune	Quantité d'effluents (tonne/an)		Potentiel méthanogène (m ³ CH ₄ /tonne de matière brute)	
Erdre et Cens	La Chapelle-sur-Erdre	2 351		91 932	
	Orvault	7 796	13 998	234 296	478 575



Premières conclusions

La source de biomasse semble intéressante à première vue de par les différentes ressources exploitables. Cependant, une étude devra être réalisée précisant les capacités d'approvisionnement des différentes ressources.

4.5 AÉROTHERMIE

L'aérothermie consiste à l'utilisation de l'air extérieur, pour le chauffage et la production d'eau chaude de locaux, au moyen d'une pompe à chaleur (PAC).

La chaleur captée est redistribuée soit par un réseau de chauffage soit par un système de ventilation. Pour la production d'eau chaude, la chaleur est stockée dans un ballon d'eau chaude avec appoint, si nécessaire. (Chauffe eau thermodynamique)

Toutefois, l'efficacité du système est dépendante de la condition suivante : la température extérieure, où l'air est prélevé, doit être plus faible de quelques degrés que celle de l'air intérieur, pour une meilleure efficacité.

De plus, le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur doit être au minimum de 3,5, pour que le système apporte une diminution réelle de consommation en énergie primaire. Par ailleurs, la pompe à chaleur doit faire l'objet d'une maintenance régulière. (Source ADEME)

Quelques chiffres

Investissement entre 60 et 90 € TTC par m² chauffé et/ou rafraîchi pour les PAC air/eau et air/air.

Pour une puissance installée de 10 à 12 kW, il faut prévoir un investissement de :

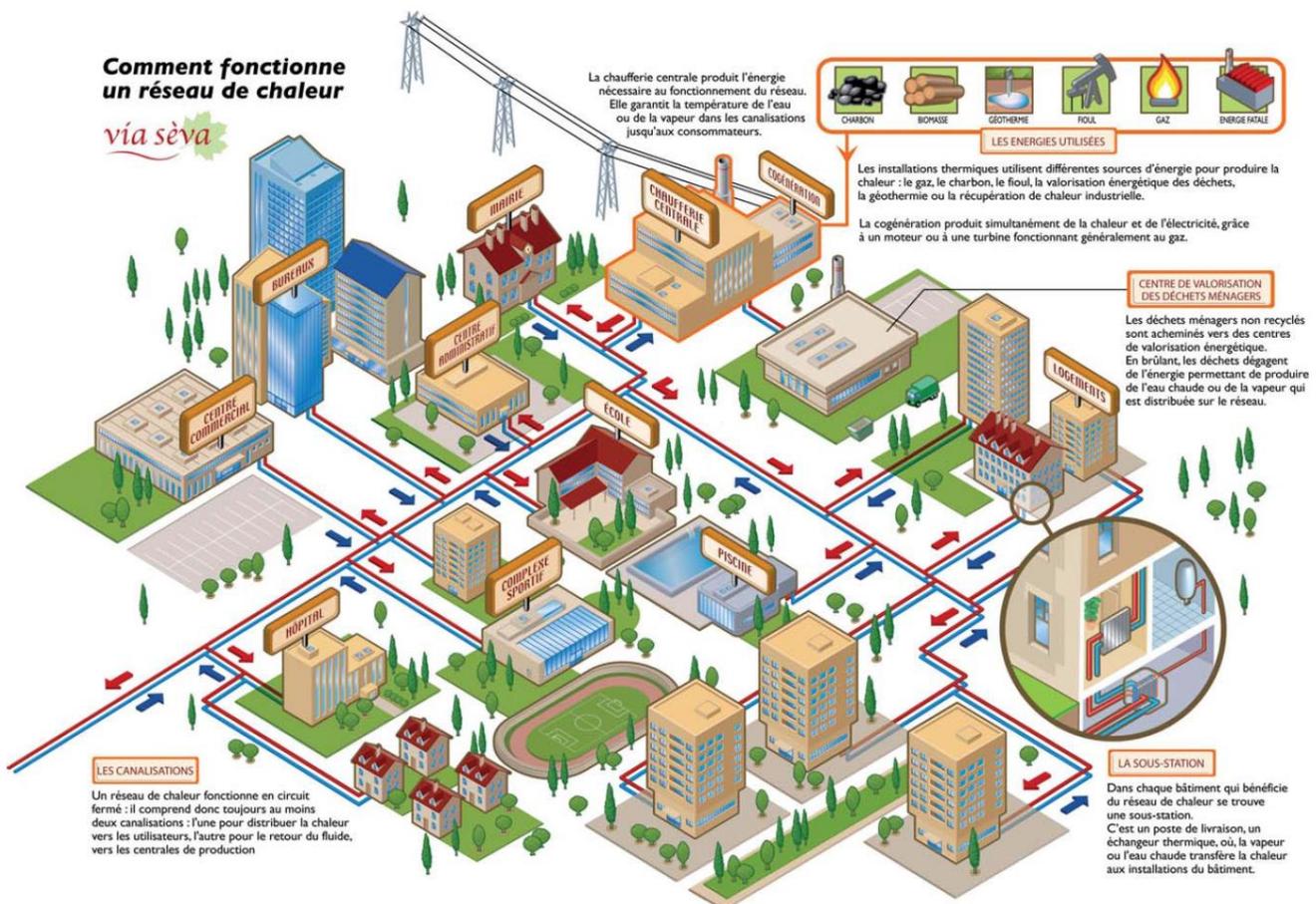
- *8 750 à 9 400 € pour une PAC air/air ;*
- *9 400 à 10 500 € pour une PAC air/eau.*

(Source : Avis de l'ADEME – Pompes à chaleur - 2007) Coût de fonctionnement : entre 2.3 et 3.7 € TTC par m² et par an.

5 LA MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE CHALEUR

Le réseau de chaleur est un ensemble constitué d'un réseau primaire de canalisations, empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur et aboutissant à des postes de livraison de la chaleur aux utilisateurs et comprenant une ou plusieurs installation(s) de production et/ou un processus de récupération de chaleur à partir d'une source externe à cet ensemble.

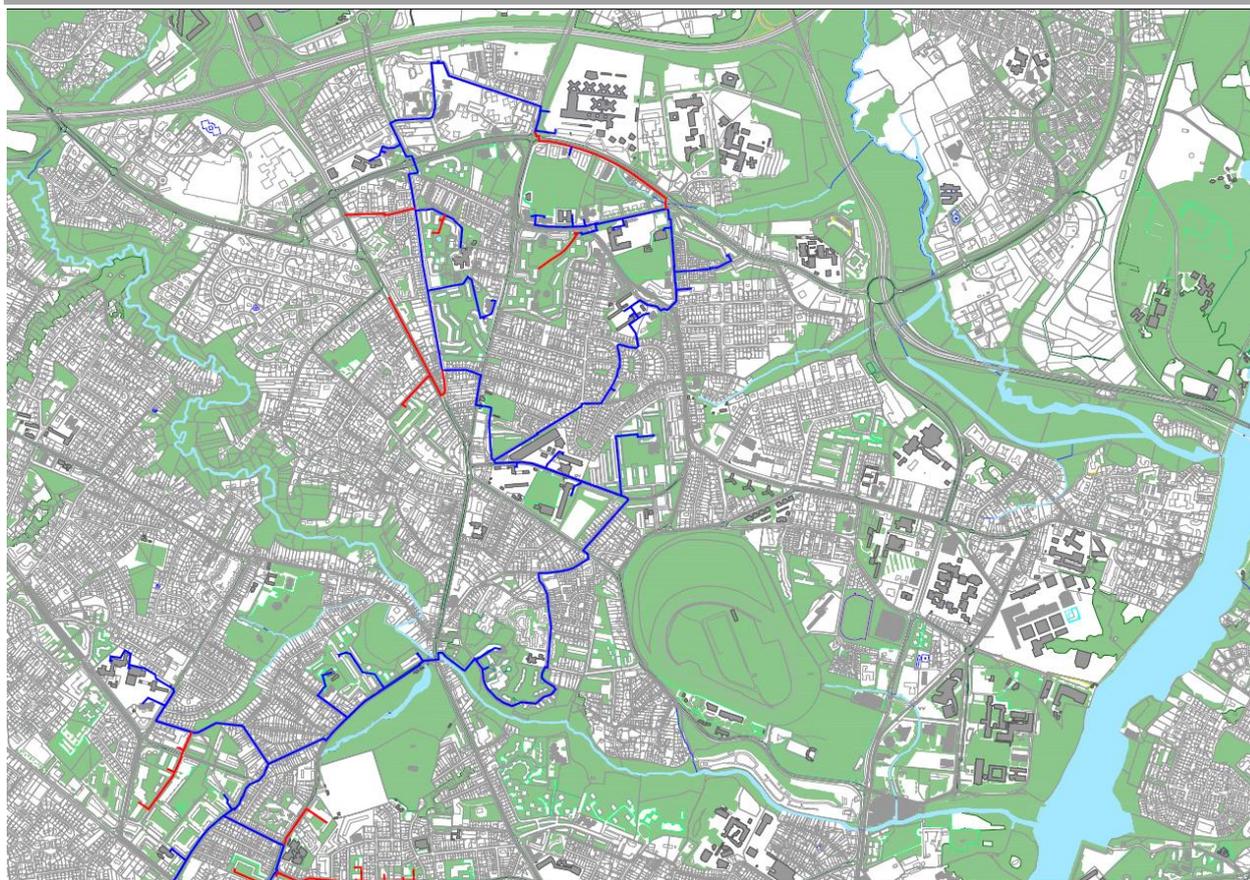
- La chaleur est transportée sous forme d'eau chaude, d'eau surchauffée ou de vapeur, dans des canalisations calorifugées, vers plusieurs points de livraison ;
- Les unités de production transforment une ou plusieurs énergies (fossiles, renouvelables, récupérées ou autres) et délivrent la chaleur au réseau ;
- La chaleur livrée fait l'objet d'un comptage à chaque point de livraison desservi ;
- La tarification du réseau de chaleur prend la forme d'une partie proportionnelle à la quantité de chaleur livrée et d'une partie fixe correspondant à un abonnement en relation avec la demande thermique maximale du client.



(Source : IGD – AMF – Indicateurs de performance pour les réseaux de chaleur et de froid)

Afin d'atteindre les objectifs fixés par Nantes Métropole en matière de transition énergétique, le déploiement du **réseau de chaleur Nord-Chézine** a été confié à IDEX. Ce projet consiste à développer un réseau de chaleur pour fournir de l'énergie destinée au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire des habitants notamment des quartiers Nantes Nord (Bout des Landes, Boissière, Chêne des Anglais, Bout des Pavés). Son tracé s'inscrit et anticipe donc les mutations à venir sur Nantes Nord dans le cadre du Plan Global.

Localisation du réseau de Chaleur Nord-Chézine



■ Existant ■ Projet 2023

Cette chaleur sera issue en majorité de l'énergie de récupération de l'incinération des déchets au centre de traitement et de valorisation des déchets (CTVD) Arc en Ciel de Couëron, et également les différentes chaufferies existantes (chaufferie bois de 1,5 MW créé par Nantes Métropole Habitat en 2012 sur le site de Bout des Landes, diverses chaufferies appartenant au réseau de distribution de chaleur de Nantes Habitat), soit 80 % d'énergie de récupération, 4% de biomasse (les 16% restants proviennent des chaudières à gaz (11%) et de cogénérateur de gaz (5%)).

Au niveau du quartier Nantes Nord, le réseau de distribution sera déployé pour permettre de connecter les principales chaufferies collectives du secteur. Le réseau créé sera déployé selon la méthode de «fonçage» qui permet de faire passer le réseau sous voirie sans créer de

tranchées, notamment au niveau des voies à fort trafic (Rue des Renards, Route de la Chapelle-sur-Erdre).

A ce jour, la majorité du réseau de chaleur «Nord Chézine» a été déployée sur le quartier Nantes Nord. Son tracé s'inscrit et anticipe les mutations à venir sur Nantes Nord dans le cadre du Plan global notamment le redécoupage parcellaire et la restructuration des voies principales.

Le déploiement restant viendra s'insérer dans les temporalités du projet global Nantes Nord et tiendra compte des aménagements futurs qui seront raccordés (logements, équipements).

6 TABLEAU RÉCAPITULATIF

Le tableau ci-dessous donne une synthèse de l'intérêt des différentes techniques d'exploitation des énergies renouvelables et de récupération abordées au regard des caractéristiques du site et du projet.

Filière	Potentiel de production	Points forts / Points faibles	Intérêt d'études complémentaires
Solaire photovoltaïque	Solution envisageable	<p>Points forts Grandes surfaces de toitures disponibles pour pose des panneaux.</p> <p>Points faibles Cycle de vie de l'installation à préciser pour intérêt environnemental ; Potentiel varie en fonction de l'ensoleillement ; Stockage.</p>	Etudes à l'échelle du bâtiment
Solaire thermique	Solution envisageable	<p>Points forts Grandes surfaces de toitures disponibles pour pose des panneaux.</p> <p>Points faibles cycle de vie de l'installation à préciser pour intérêt environnemental ; Potentiel varie en fonction de l'ensoleillement ; Stockage.</p>	Etudes à l'échelle du bâtiment
Eolien	<p>Solution non adaptée pour les éoliennes de grandes puissances</p> <p>Petites et micro-éoliennes envisageable</p>	<p>Points forts type d'activité et espace disponible au sol adaptés à l'implantation de petites éoliennes ; vents dominants du sud-ouest ; pas d'émissions pendant l'exploitation.</p> <p>Points faibles Potentiel incertain ; Puissance faible.</p>	<p>Etude de localisation potentielle d'implantation</p> <p>Etude et de rentabilité à l'échelle du quartier</p>
Aérothermie	Solution envisageable	<p>Points forts ressource abondante.</p> <p>Points faibles coefficient de performance de la pompe à chaleur (3.5).</p>	Etude de rentabilité

Géothermie sur eau de nappe	Solution peu adaptée (nappe de l'Estuaire-Loire)	Points forts pas d'émissions pendant l'exploitation. Points faibles Potentiel géothermique moyen	Définir l'espace disponible au sol pour l'implantation des points de pompage/rejet.
Géothermie sur sondes	Solution peu adaptée	Points faibles nature de sol a priori moyennement favorable (conductivité).	Définir l'espace disponible au sol pour l'implantation des points de forage et captage.
Biomasse	Solution envisageable	Points forts diversité des sources d'approvisionnement en combustible. Points faibles Distance parfois éloignée des différentes sources d'approvisionnement.	Précision sur la capacité d'approvisionnement.

Mode d'alimentation	Potentiel de production	Points forts / Points faibles	Intérêt d'études complémentaires
Réseaux de chaleur	<u>Déploiement du réseau de chaleur « Nord Chézine »</u> Solution retenue	Points forts Mobilisation massive des sources de chaleur renouvelable (énergie de récupération et biomasse) Alimentation en chauffage et ECS des habitants de Nantes Nord	/

7 CONCLUSION

Engagée depuis plusieurs années dans la transition énergétique via sa politique publique de l'énergie et son Plan Climat, Nantes Métropole se fixe comme objectif, en 2050, de couvrir la totalité de ses besoins énergétiques par des énergies renouvelables. Elle a pour objectif de réduire ses émissions de CO2 de près de 30% par habitant d'ici 2020, 50% à l'horizon 2030 et 75% en 2050. Elle souhaite également que, d'ici à 2020, 10% de ses logements soient raccordés à un réseau de chaleur vertueux.

Le réseau de chaleur Nord-Chézine déployé sur le quartier Nantes Nord permet l'alimentation des logements sociaux et équipements qui seront chauffés grâce à 84 % d'énergies renouvelables et de récupération : 80 % d'énergie de récupération, 4% de biomasse (les 16% restants proviennent des chaudières à gaz (11%) et de cogénérateur de gaz (5%)).

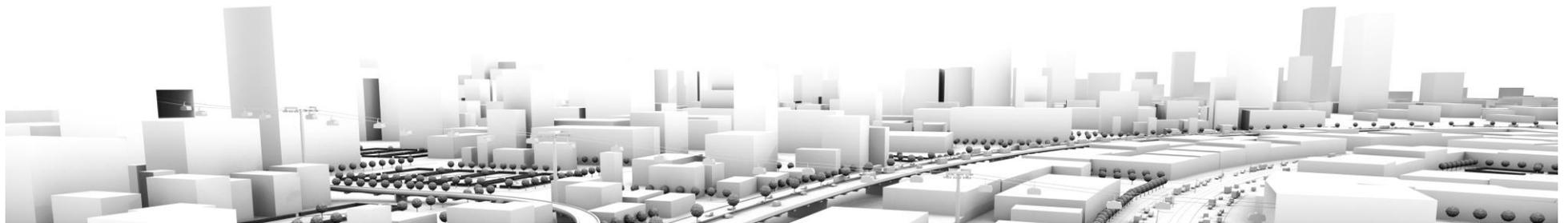
Plusieurs ressources ont également été identifiées sur le site comme étant envisageables et tout particulièrement la ressource solaire (photovoltaïque et thermique) et la biomasse.

ETUDES PRE-OPERATIONNELLES

PROJET GLOBAL NANTES NORD

VOLET MOBILITE / DEPLACEMENTS

ANALYSE D'IMPACT



Rédacteur / Version du rapport

Rédacteur	N° version	Date version	Vérifié par	Assistant/Technicien	Modifications
L.ferron l.ferron@cdvia.fr +33(0)2.85.52.80.61	1.0	26/09/19	N.Delavenne n.delavenne@cdvia.fr +33(0)1.43.53.69.53	F.Guerri f.guerri@cdvia.fr +33(0)9.51.52.11.64	Rapport initial
L.ferron	2.0	21/10/19	N.Delavenne	F.Guerri	Précisions analyse de fonctionnement
L.ferron	3.0	29/11/19	N.Delavenne	F.Guerri	Précisions sur l'évolution des flux routiers

Certification OPQIBI

Pour la recherche ou la sélection de prestataires d'ingénierie compétents, le maître d'ouvrage ou le donneur d'ordres reste maître des procédures qu'il entend utiliser et du contenu des documents qu'il entend demander. Il peut néanmoins faire référence aux qualifications OPQIBI qui constituent un outil d'aide à la décision, un véritable instrument de confiance. Les qualifications OPQIBI informent qu'un prestataire possède les capacités de réaliser et a déjà réalisé, à la satisfaction de clients, les prestations dans les domaines de l'ingénierie où il est qualifié.

CDVIA s'est vu attribuer le certificat de qualification n° 11 08 2324.



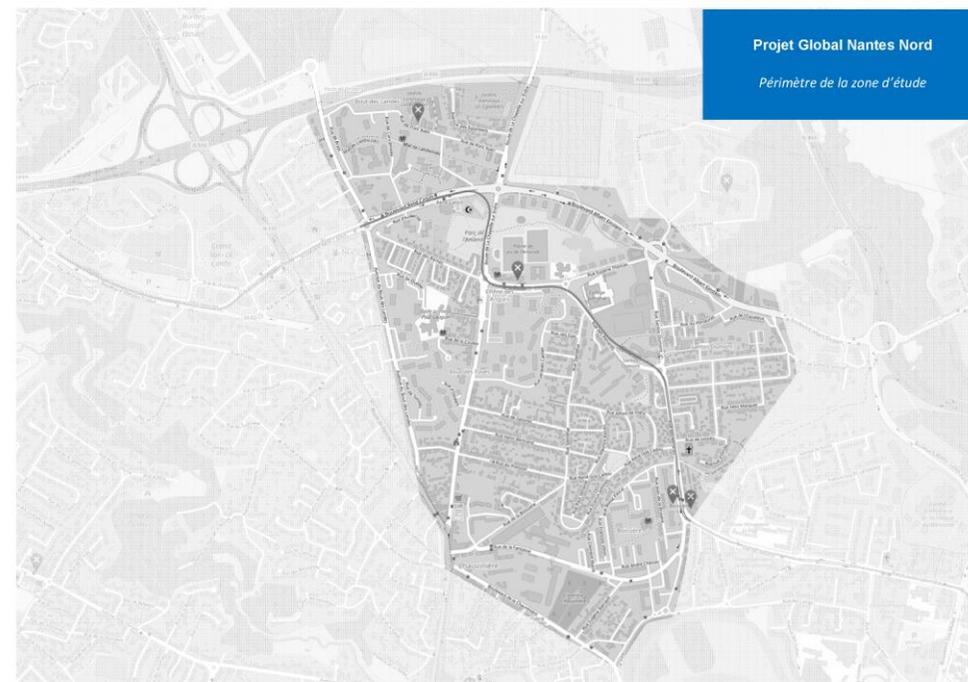
SOMMAIRE

1. PREAMBULE	4
2. ELEMENTS DE PROGRAMMES	5
— 2.1. PROGRAMMATION URBAINE	5
— 2.2. EVOLUTION DE LA TRAME VIAIRE	6
— 2.3. EVOLUTION DE L'OFFRE EN DEPLACEMENTS SUR UN PERIMETRE ELARGI	8
—— 2.3.1. PERIPHERIQUE	8
—— 2.3.2. INTERCONNEXION L1 / L2.....	9
3. EVOLUTION DE LA DEMANDE EN DEPLACEMENTS.....	10
— 3.1. EVOLUTION GENERALE.....	10
— 3.2. IMPACT DU PROJET	11
4. SECTEUR DU CHENE DES ANGLAIS.....	13
— 4.1. ETAT EXISTANT	13
— 4.2. SITUATION DE PROJET	14
— 4.3. ANALYSE FONCTIONNELLE EN PHASE PROJET.....	15
—— 4.3.1. BRANCHEMENT CONTRE ALLEE SUR LA ROUTE DE LA CHAPELLE	15
—— 4.3.2. ACCES INTERMEDIAIRE SUR LA RUE EUGENE THOMAS	16
—— 4.3.3. SCENARIO CONTRE ALLEE	17
—— 4.3.4. SCENARIO BI PASSE	17
—— 4.3.5. PROLONGEMENT DE LA RUE JACQUES CARTIER	19
—— 4.3.6. BILAN.....	21

1. PREAMBULE

Suite au diagnostic relatif aux mobilités réalisé aux mois de Juin et Juillet derniers, la volonté est ici d'analyser les évolutions prévisibles sur la base des éléments de projet connus.

L'analyse sera tout d'abord menée de façon globale sur le périmètre du projet. Un zoom particulier sera ensuite opéré sur le secteur du Chêne des Anglais.



2. ELEMENTS DE PROGRAMMES

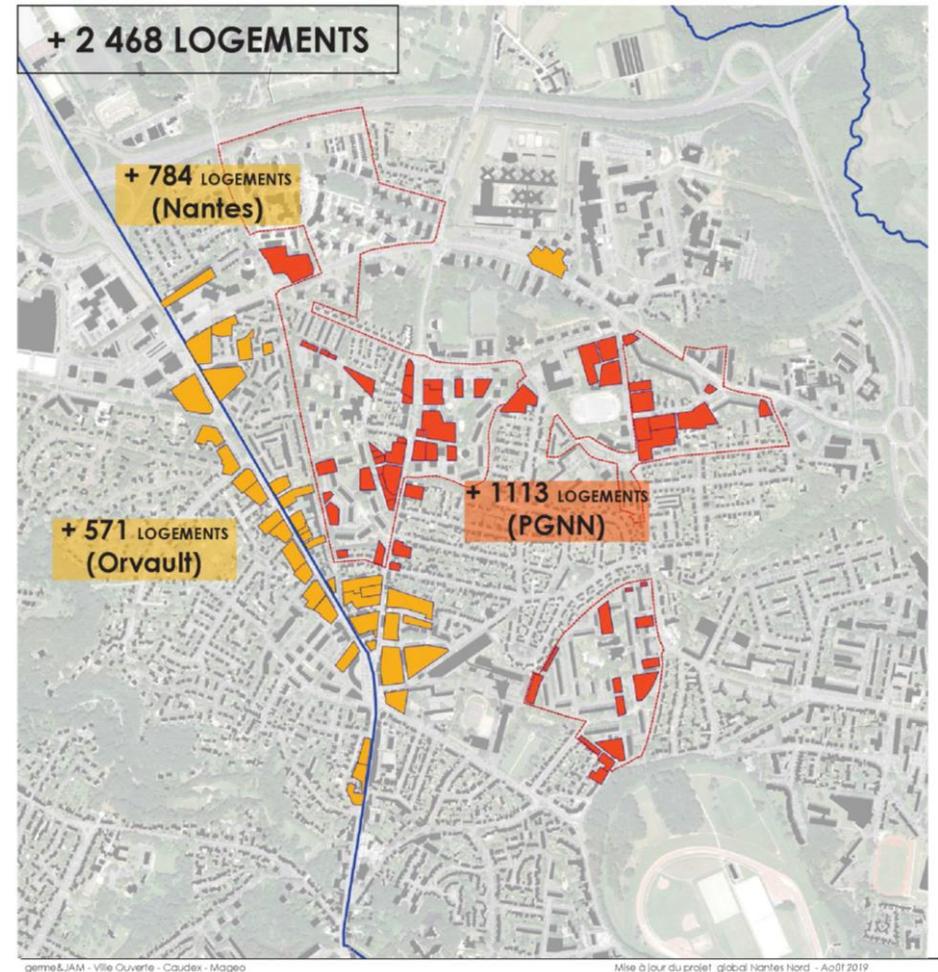
— 2.1. PROGRAMMATION URBAINE

Le projet Global Nantes Nord prévoit la construction d'environ 1.113 logements. Dans le même temps, 348 logements seront démolis.

Par ailleurs, une OAP de densification au niveau de la route de Rennes est inscrite au PLUM. Elle concerne la création d'environ 1.350 logements.

Les équipements scolaires existants seront à priori densifiés pour répondre à la demande nouvelle engendrée par l'accroissement de la population.

En termes de mobilité, cela se traduit par des déplacements plus nombreux qu'il est possible de quantifier sur la base des éléments décrits dans le PDU et dans le PLUM.



Evolution du nombre de logements
(Source : Nantes Nord 2 – Première restitution Aout 2019 – Germe & JAM)

— 2.2. EVOLUTION DE LA TRAME VIAIRE

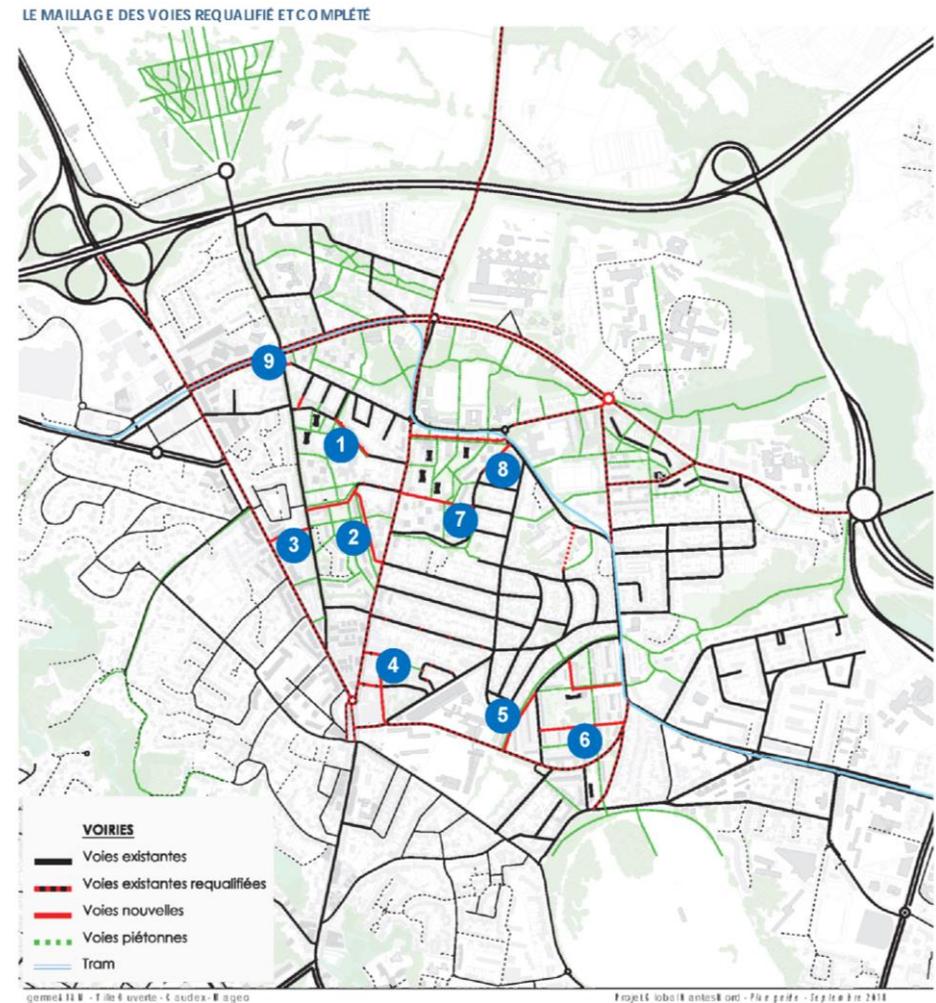
Afin de permettre plus de perméabilité sur le secteur, plusieurs nouvelles liaisons sont envisagées :

- Avenue de la Grive / Rue de Québec (1),
- Rue d'Ottawa / rue de Vancouver / rue de la Coulée (2),
- Route de Rennes / Avenue du Bout des Landes (3),
- Rue Joseph Marie Jacquard / route de la Chapelle sur Erdre (4),
- Rue de la Fantaisie / rue Blaise Pascal (5),
- Rue Blaise Pascal / rue des Renards (6),
- Route de la Chapelle sur Erdre / rue Jacques Cartier (7),
- Rue Jacques Cartier / rue des Renards (8),
- Rue des Roches / Boulevard René Cassin (9).

L'objectif de ces nouvelles liaisons est de faciliter les échanges en limitant les détours sans supporter du trafic de transit. Après concertation, la liaison entre la rue des Roches et le Boulevard René ne sera possible qu'en tourne à droite, évitant ainsi les potentiels shunts.



Liaison Rue des Roches / Boulevard René Cassin

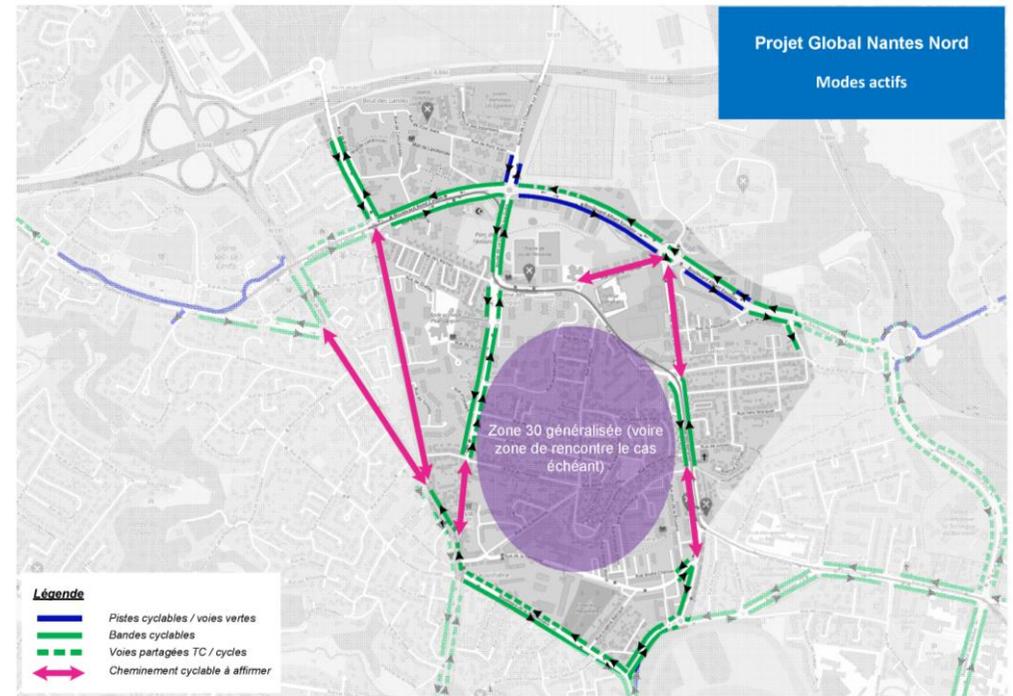


Evolution du réseau viaire
(Source : Projet Global Nantes Nord – Rapport du schéma de renouvellement urbain – Plan Guide – Septembre 2018)

Le projet prévoit, outre les nouvelles liaisons mentionnées plus haut, la requalification de certains axes, ce qui pourrait participer au maillage des modes actifs.

Des continuités devront par exemple être recherchées sur la route de Rennes, sur la route de la Chapelle sur Erdre, sur la rue des Renards et sur l'Avenue du Bout des Landes.

Si les aménagements de type bande ou piste cyclable sont à rechercher pour sécuriser les déplacements dans le cas de voies où la circulation est significative, il n'est pas nécessaire d'y avoir recours en partie centrale (secteur encadrée par la route de la Chapelle sur Erdre, la rue des Renards et la rue de la Fantaisie). Le gabarit des voies se prête plutôt bien à un partage de l'espace sous réserve de pouvoir prévoir certains aménagements visant par exemple à mieux gérer le stationnement et les vitesses. L'ensemble du secteur pourrait passer en zone 30, ce qui par ailleurs amène la généralisation du double sens cyclable.

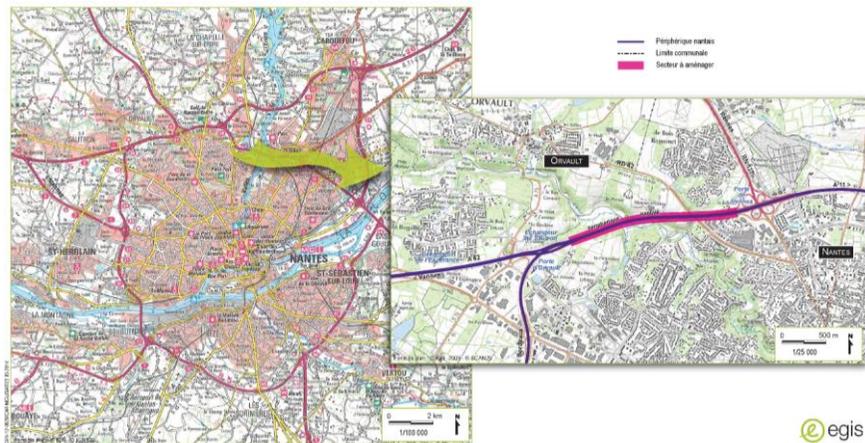


— 2.3. EVOLUTION DE L'OFFRE EN DEPLACEMENTS SUR UN PERIMETRE ELARGI

— 2.3.1. PERIPHERIQUE

Bien que le périphérique ne fasse que border le projet Nantes Nord, les conditions de circulation peuvent par exemple avoir un impact notable sur les niveaux de flux sur le Boulevard René Cassin.

Des travaux sont en cours entre la Porte d'Orvault et la Porte de Rennes. Ils ont pour objectif d'améliorer les conditions de déplacement tout en optimisant la sécurité des usagers.



Localisation du projet entre la Porte d'Orvault et la Porte de Rennes (Source : Dossier de concertation Aménagement du périphérique Nord de Nantes)

La porte de Gesvres sera également réaménagée dans un objectif d'amélioration de la fluidité et de gain de sécurité.



Configuration actuelle de la Porte de Gesvres (Source : portedegesvres.fr)

2.3.2. INTERCONNEXION L1 / L2

L'interconnexion entre les lignes 1 et 2 du tramway devrait être réalisée via la mise en service de la ligne 6 qui empruntera pour partie le tracé de la ligne 1. Elle améliorera l'accessibilité à l'échelle du projet en offrant la possibilité de rejoindre une partie du territoire sans devoir repasser par le centre de Nantes tout en profitant d'un mode de transport régulier et performant.



Evolution du réseau de transports collectifs – Horizon 2026

3. EVOLUTION DE LA DEMANDE EN DEPLACEMENTS

— 3.1. EVOLUTION GENERALE

L'évolution des pratiques tend à promouvoir une répartition plus harmonieuse entre les moyens de déplacement utilisés. Elle aura pour effet une réduction importante de la part de la voiture au profit de la marche et du vélo notamment.

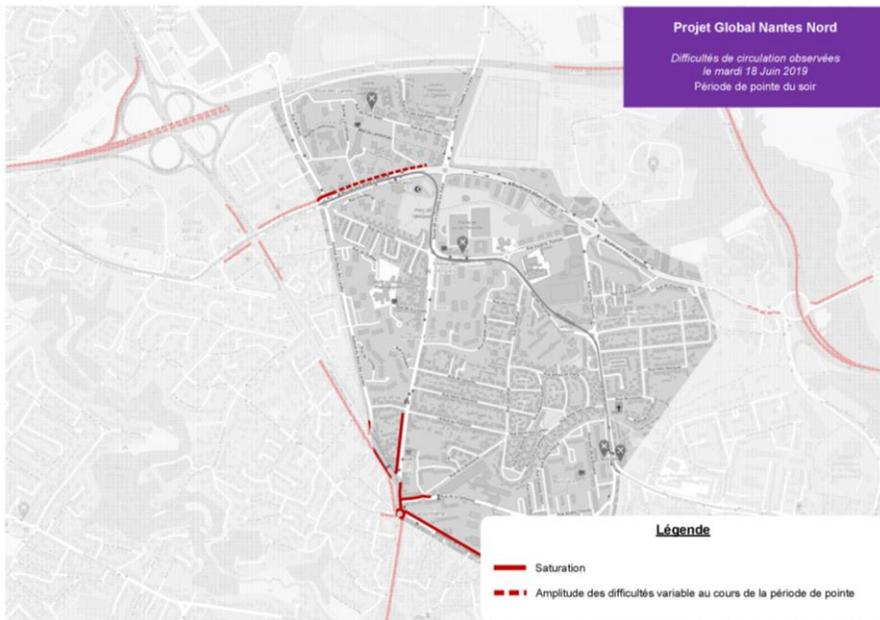
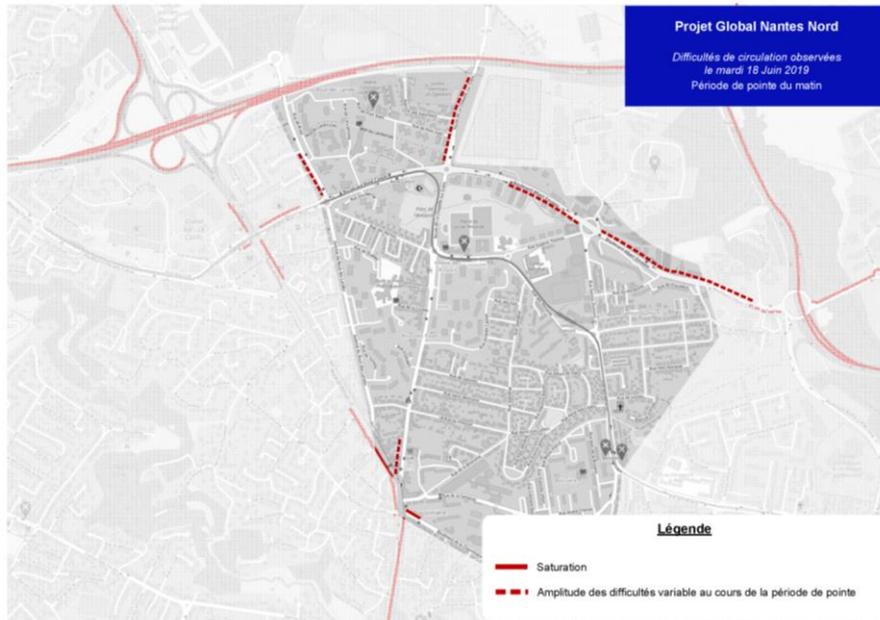
		Aujourd'hui		OBJECTIF 2030	
NANTES MÉTROPOLE					
	Marche	26 %	56 %	30 %	72 %
	Vélo	3 %		12 %	
	Transports collectifs	15 %		16 %	
	Voiture-passager	12 %		14 %	
	Voiture-conducteur	43 %	44 %	27%	28 %
	Deux-roues motorisé	1 %		1 %	
INTÉRIEUR PÉRIPHÉRIQUE					
	Marche	32 %	63 %	35 %	78 %
	Vélo	3 %		15 %	
	Transports collectifs	18 %		18 %	
	Voiture-passager	10 %		10 %	
	Voiture-conducteur	36 %	37 %	21 %	22 %
	Deux-roues motorisé	1 %		1	

Evolution des parts modales (Source : Plan de déplacements urbains 2018 – 2027, perspectives 2030 – Nantes métropole)

Dans la pratique, il sera donc nécessaire que cette évolution de la demande en déplacements soit accompagnée d'aménagements en faveur des modes doux sur l'ensemble du périmètre afin de former un maillage performant avec l'offre existante par ailleurs.

Rappelons que les difficultés de circulation observées aux périodes de pointe du matin et du soir sont principalement localisées en bordure du secteur (Bout des Pavés notamment) voire en dehors (difficultés récurrentes sur le Périphérique et au niveau du Cardo).

Les changements de paradigme en matière de logiques de déplacement à l'horizon 2030 dans un secteur bien desservi par les transports collectifs devraient participer au maintien de conditions de circulation proches de celles observées aujourd'hui.



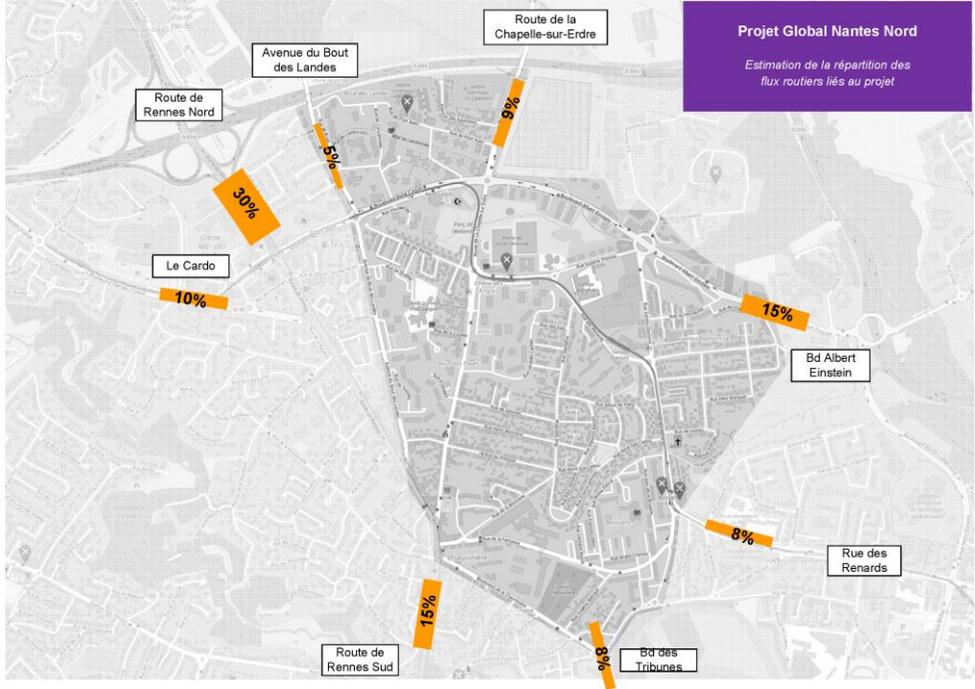
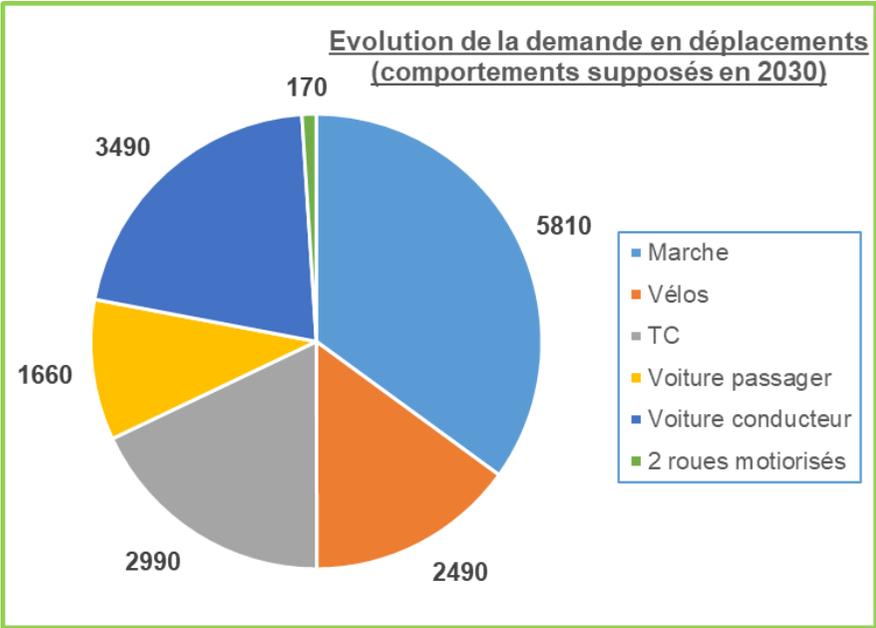
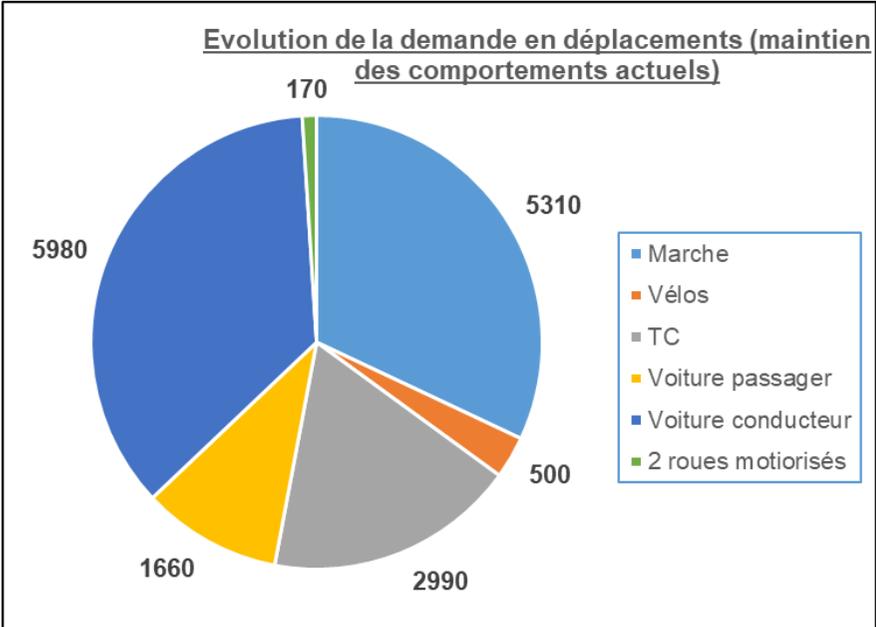
— 3.2. IMPACT DU PROJET

Au de l'envergure du projet, il est difficile de déterminer si l'évolution de la demande en déplacements en résultant peut être intégrée dans les considérations énoncées précédemment.

En supposant que l'impact correspondant vienne s'ajouter à la situation "fil de l'eau" décrite au paragraphe précédent, ce sont 16.600 déplacements nouveaux qu'il faudra intégrer au réseau de transports (hypothèse d'une moyenne de 2.2 personnes par logement et de 3.55 déplacements par jour et par personne).

Les importantes évolutions de parts modales VP entre la situation actuelle et la situation projetée permettront de réduire l'impact du projet de près de 2.500 véhicules journaliers.

Une estimation de la répartition des flux routiers nouveaux est donnée page suivante. Elle reste indicative et ne traite pas de l'ensemble des voies internes au périmètre, les choix d'itinéraires étant très nombreux.



4. SECTEUR DU CHENE DES ANGLAIS

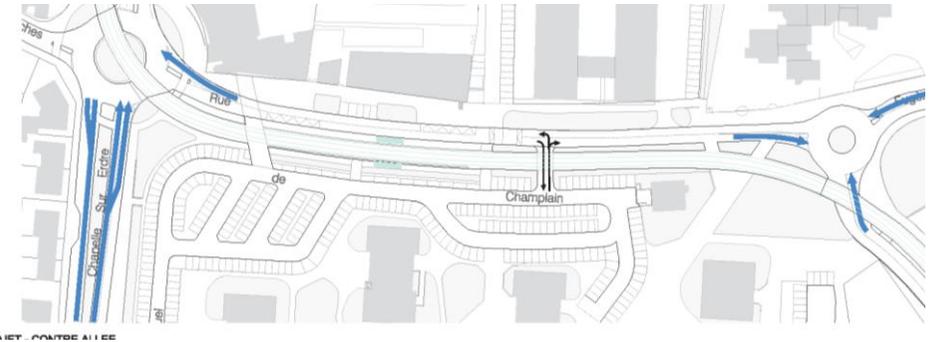
— 4.1. ETAT EXISTANT

La rue Eugène Thomas est bordée de part et d'autre par deux carrefours giratoires. Le tramway traverse le giratoire Ouest au niveau de l'îlot infranchissable du giratoire Ouest et passe au Sud du giratoire Est.



Rue Eugène Thomas et ses environs (Source : Google Maps)

Une sortie de parking est possible au centre de la rue Eugène Thomas sans restriction en termes de mouvements autorisés.



Etat existant – Sens de circulation

(Source : Projet sectoriel Bout des Pavés – Chêne des Anglais – Germe & JAM)

Plus à l'Est, la rue Stendhal débouche sur la rue des Renards via un STOP. L'intersection, située à environ 100 mètres du carrefour giratoire, est équipée d'un plateau traversant



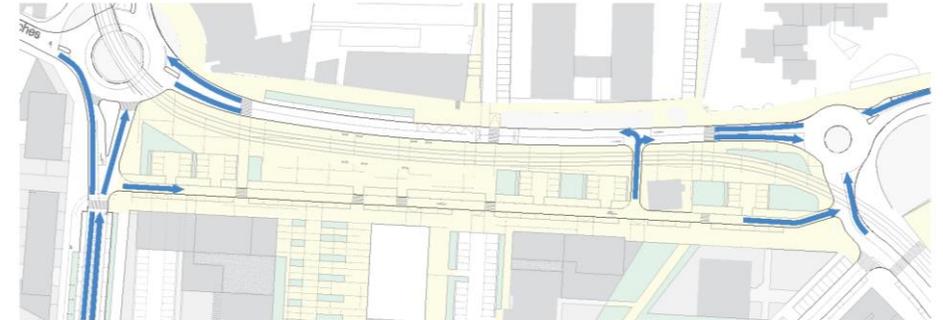
Carrefour Rue des Renards / rue Stendhal (Source : Google Maps)

— 4.2. SITUATION DE PROJET

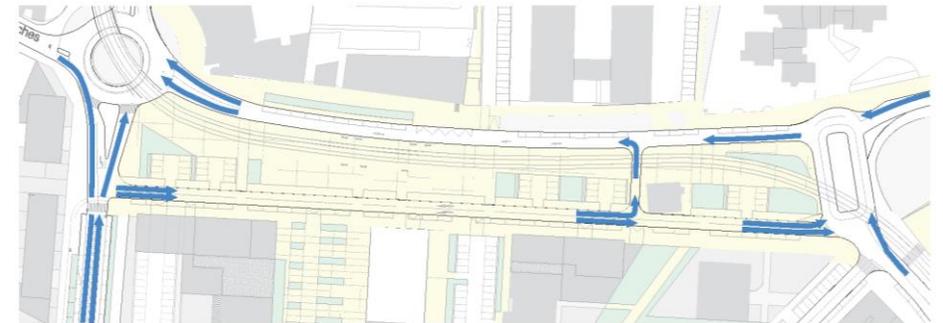
Deux scénarios sont envisagés :

- 1) **Scénario contre allée.** Le principe général de fonctionnement de la rue Eugène Thomas n'est pas modifié. Il est par contre prévu une contre allée avec un remaniement de l'offre en stationnement. Cette contre allée démarre au niveau de la route de la Chapelle sur Erdre et débouche sur la rue des Renards. Le principe d'un débouché intermédiaire sur la rue Eugène Thomas est maintenu dans une configuration similaire à l'existant.
- 2) **Scénario bi passe.** La rue Eugène Thomas est mise en sens unique Est → Ouest, la contre allée faisant office de sens de circulation Ouest → Est. La configuration des deux giratoires doit dans ce cas être revue et notamment celle du giratoire Est.

PROJET - CONTRE ALLEE



PROJET - BI PASSE



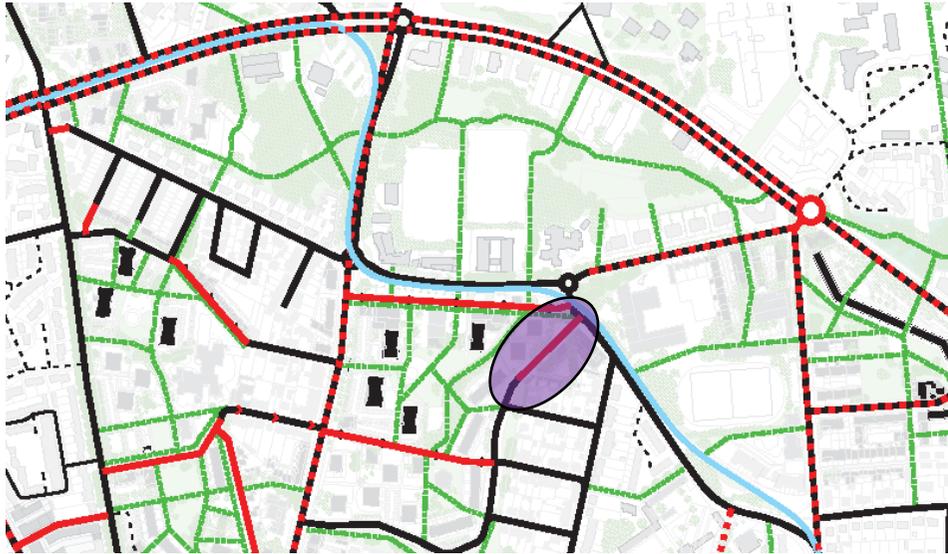
germe&JAM - Ville Ouverte - Caudex - Mageo

Projet Global Nantes Nord - Projet sectoriel - Bout des Pavés - Chêne des Ang

Scénarios envisagés

(Source : Projet sectoriel Bout des Pavés – Chêne des Anglais – Germe & JAM)

Rappelons également qu'il est envisagé de prolonger la rue Jacques Cartier jusqu'à la rue des Renards.



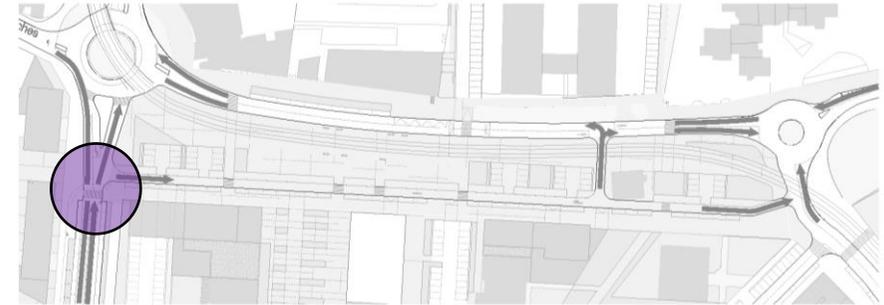
Prolongement de la rue Jacques Cartier
(Source : Projet Global Nantes Nord – Rapport du schéma de renouvellement urbain – Plan Guide – Septembre 2018)

— 4.3. ANALYSE FONCTIONNELLE EN PHASE PROJET

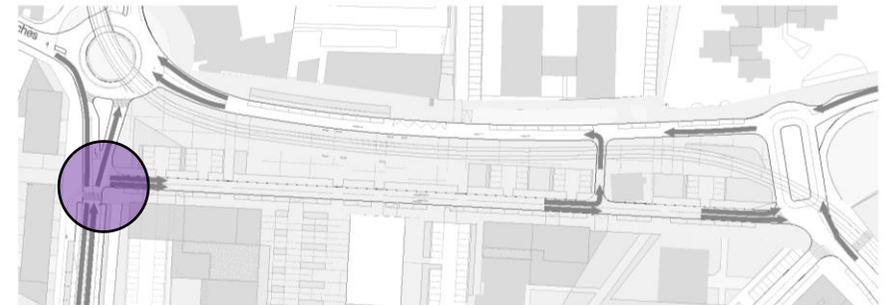
— 4.3.1. BRANCHEMENT CONTRE ALLEE SUR LA ROUTE DE LA CHAPELLE

Le branchement de la contre allée est assez proche du giratoire route de la Chapelle / Rue Eugène Thomas.

PROJET - CONTRE ALLEE



PROJET - BI PASSE



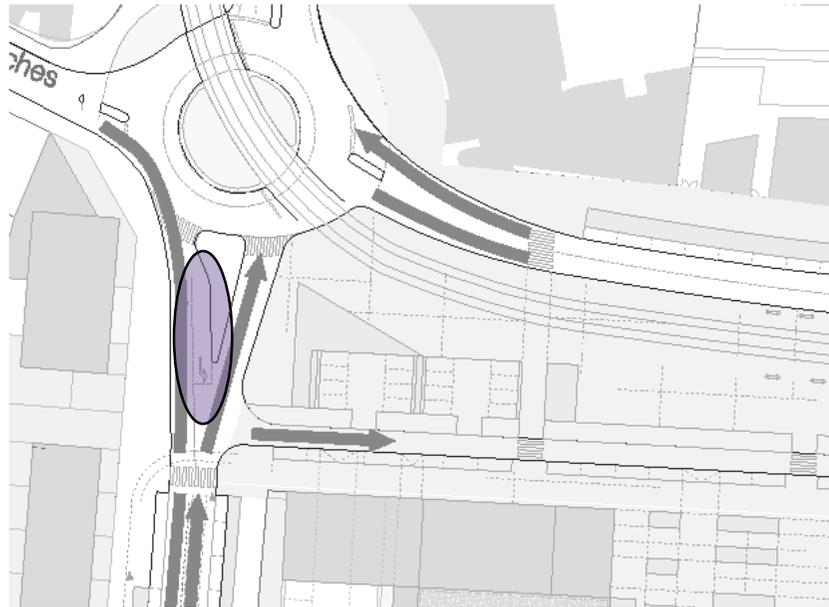
germe&JAM - Ville Ouverte - Caudex - Mageo

Projet Global Nantes Nord - Projet sectoriel - Bouf des Pavés - Chêne des An

Branchement contre allée sur la route de la Chapelle

Cette configuration ne présente pas de difficulté particulière pour les flux provenant du Sud.

Depuis le Nord par contre, il est prévu une surlagueur de tourne à gauche afin d'éviter toute gêne sur l'écoulement général des flux et sur le fonctionnement du carrefour giratoire. .



Voie affectée de tourne à gauche pour rejoindre la contre allée depuis le Nord

4.3.2. ACCES INTERMEDIAIRE SUR LA RUE EUGENE THOMAS

Le fonctionnement envisagé est similaire à l'existant pour le scénario contre allée. Pour le scénario bi passe, la mise à sens unique de la rue Eugène Thomas modifie la physionomie des échanges sans pour autant poser de difficultés.

PROJET - CONTRE ALLEE



PROJET - BI PASSE



germe&JAM - Ville Ouverte - Caudex - Mageo

Projet Global Nantes Nord - Projet sectoriel - Bouf des Pavés - Chêne des Anj

Accès intermédiaire sur la rue Eugène Thomas

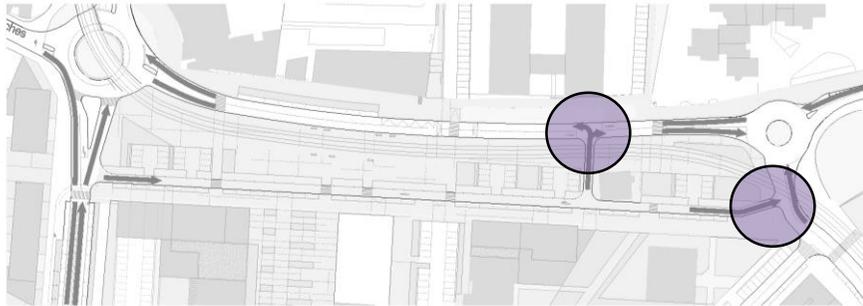
Pour le scénario contre allée, cet accès est important. En effet, la configuration de la contre allée ne permettra pas de proposer l'ensemble des mouvements au niveau du débouché sur la rue des Renards (voir infra).

4.3.3. SCENARIO CONTRE ALLEE

Le fonctionnement global est très semblable sur la rue Eugène Thomas. La contre allée possède en définitive deux sorties :

- Une sur la rue Eugène Thomas,
- Une sur la rue des Renards.

PROJET - CONTRE ALLEE



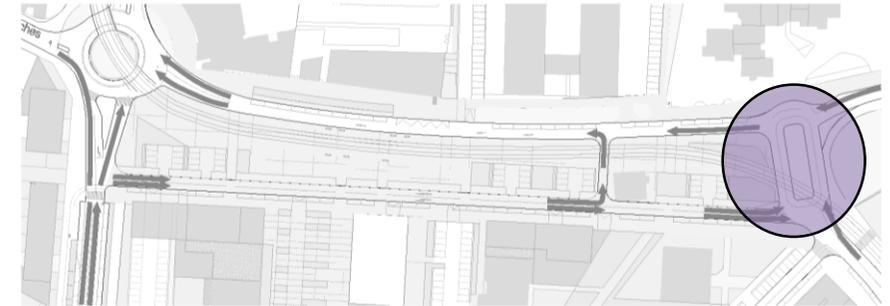
Sorties de la contre allée

La proximité avec le tramway et le giratoire pousse vers une sortie en tourne à droite uniquement sur la rue des Renards. Cette restriction ne devrait pas être trop handicapante, la sortie intermédiaire sur la rue Eugène Thomas permettant de reprendre une partie des flux.

4.3.4. SCENARIO BI PASSE

Ce scénario modifie de manière importante le fonctionnement général du secteur. Le grand anneau formé par la rue Eugène Thomas et ce qui était la contre allée dans le scénario précédent est accompagné par la transformation du giratoire Est. La forme oblongue retenue permet de centraliser les points d'échange.

PROJET - BI PASSE



germe&IAM - Ville Ouverte - Caudex - Magoa

Projet Global Nantes Nord - Projet sectoriel - Bouf des Pavés - Chêne des An

Giratoire oblong

Le guide publié par le CEREMA et le STRMTG donne des préconisations assez précises en ce qui concerne la géométrie des carrefours giratoires traversés par un tramway parmi lesquelles :

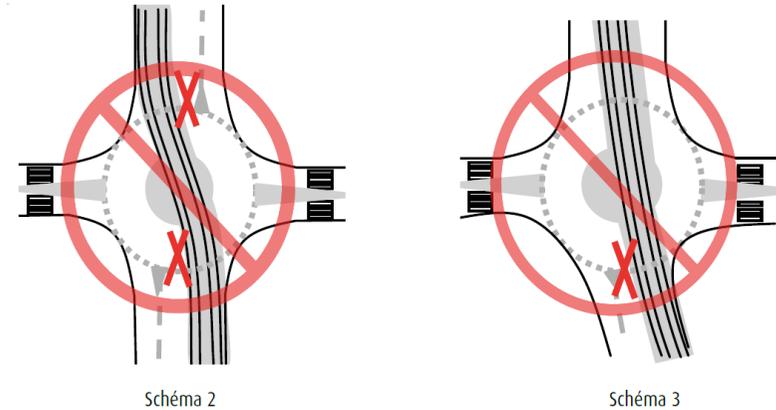
- Ilot central circulaire, légèrement ovalisé du moment que la vitesse reste faible (rapport entre grand et petit rayon inférieur ou égal à 1.2),
- Entrées et sorties à une voie dès lors qu'il n'y pas d'enjeu de capacité,
- Trajectoires devant toutes présenter une déflexion suffisante.

A noter qu'il existe cependant des contre exemples concernant la forme de l'anneau central.



Carrefour de la Croix Bonneau à Nantes (Source : Google Maps)

L'implantation du tramway est par contre en position centrale sur chaque axe dans l'exemple de la Croix Bonneau, ce qui respecte les préconisations du guide. Dans le cas présenté du scénario bi passe, l'implantation au Sud est accidentogène et fortement déconseillée.



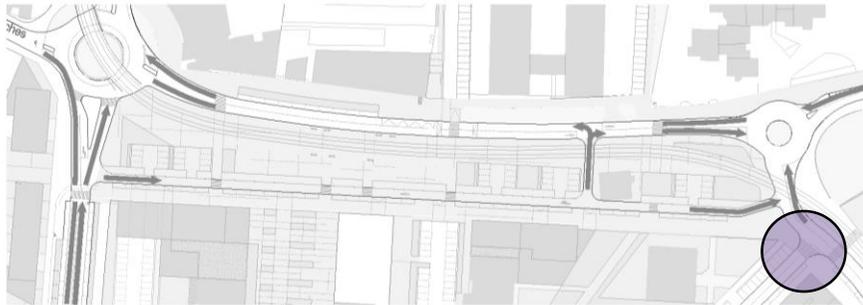
Les usagers en approche sur ce type d'entrée concentrent leur attention sur la chaussée annulaire et vers la gauche, au détriment de la plate-forme et de la signalisation qui lui est associée. Ces configurations sont donc à proscrire.

Extrait du guide "Girotoire et tramways – Franchissement d'un carrefour giratoire par une ligne de tramway"

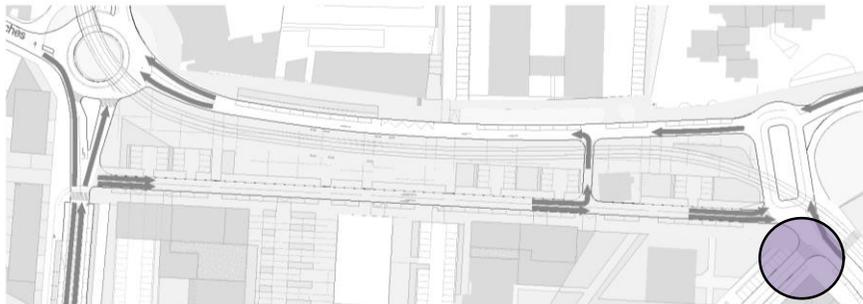
4.3.5. PROLONGEMENT DE LA RUE JACQUES CARTIER

Le prolongement de la rue Jacques Cartier envisagé dans le plan guide crée un nouveau carrefour à proximité immédiate du giratoire, du passage du tramway et de la contre allée.

PROJET - CONTRE ALLEE



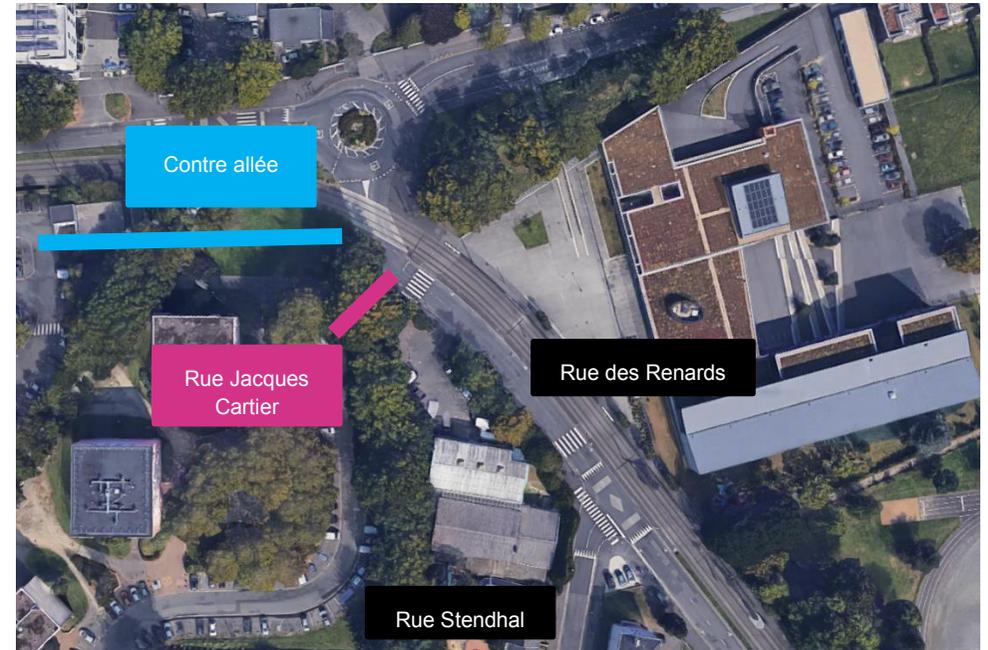
PROJET - BI PASSE



germe&IAM - Ville Ouverte - Caudex - Mago

Projet Global Nantes Nord - Projet sectoriel - Bouf des Pavés - Chêne des An

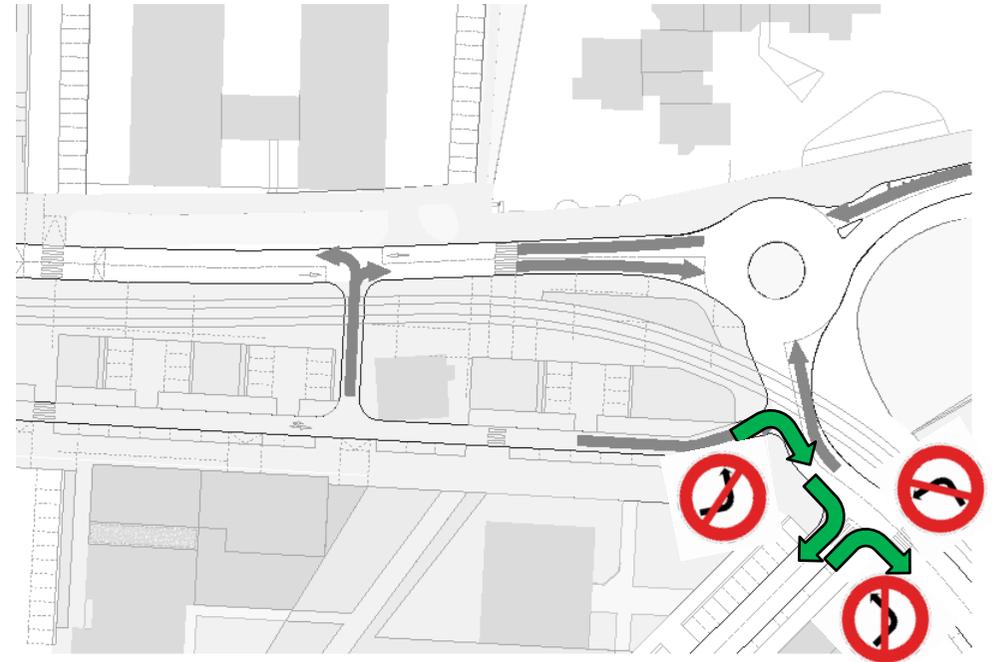
Carrefour rue Jacques Cartier / Rue des Renards



Localisation du prolongement de la rue Jacques Cartier

L'enjeu est de parvenir à gérer ces différents carrefours en intégrant la propriété liée au tramway dans un espace réduit sans nuire à la sécurité de tous.

Au des contraintes, il est proposé des accès en tourne à la rue Jacques Cartier en droite uniquement. L'enchaînement avec le tourne à droite en sortie de contre-allée devra être analysé en détail lors des études techniques plus poussées afin de s'assurer des conditions de visibilité suffisantes.



Prolongement de la rue Jacques Cartier et sortie contre allée – Accès en tourne à droite uniquement

4.3.6. BILAN

En synthèse des analyses réalisées, voici les principales préconisations :

- Contre allée côté route de la Chapelle : accès en tourne à gauche possible depuis le Nord via la surlargeur spécifique,
- Prolongement de la rue Jacques Cartier : accès entrée / sortie en tourne à droite uniquement,
- Scénario de réaménagement : privilégier le scénario 1 avec un débouché de la contre allée sur la rue des Renards en tourne à droite uniquement.



INGENIERIE & MESURE DES DEPLACEMENTS

WWW.CDVIA.FR

fondasol

Nantes - Tél. 02 51 77 86 50

TERRITOIRE(S) D'EXIGENCE



Loire Océan Développement

34 rue du Pré Gauchet
CS 93521
44035 NANTES Cedex I



NANTES (44)

Logements collectifs de type R+2 à R+6 avec
sous-sol et maison de santé

Quartier du Chêne des Anglais
Rue Jacques Cartier

Etude géotechnique G2_AVP

AN.18-0351 – Pièce n° 001 – Indice A

Suivi des modifications et mises à jour

FTQ.261-A

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
				Nom, Visa	Nom, Visa
	23.11.2018	72		A.ANDREI	M.POIROT
A	27.11.2018	80		A.ANDREI 	M.POIROT 
B					
C					

REV					REV				
PAGE		A	B	C	PAGE		A	B	C
1	X	X			41	X	X		
2	X	X			42	X	X		
3	X	X			43	X	X		
4	X	X			44	X	X		
5	X	X			45	X	X		
6	X	X			46	X	X		
7	X	X			47	X	X		
8	X	X			48	X	X		
9	X	X			49	X	X		
10	X	X			50	X	X		
11	X	X			51	X	X		
12	X	X			52	X	X		
13	X	X			53	X	X		
14	X	X			54	X	X		
15	X	X			55	X	X		
16	X	X			56	X	X		
17	X	X			57	X	X		
18	X	X			58	X	X		
19	X	X			59	X	X		
20	X	X			60	X	X		
21	X	X			61	X	X		
22	X	X			62	X	X		
23	X	X			63	X	X		
24	X	X			64	X	X		
25	X	X			65	X	X		
26	X	X			66	X	X		
27	X	X			67	X	X		
28	X	X			68	X	X		
29	X	X			69	X	X		
30	X	X			70	X	X		
31	X	X			71	X	X		
32	X	X			72	X	X		
33	X	X			73		X		
34	X	X			74		X		
35	X	X			75		X		
36	X	X			76		X		
37	X	X			77		X		
38	X	X			78		X		
39	X	X			79		X		
40	X	X			80		X		

PRESENTATION DE NOTRE MISSION	6
1. Mission selon la norme NF P 94-500	6
2. Programme d'investigations	7
DESCRIPTIF GENERAL DU SITE ET APPROCHE DOCUMENTAIRE	8
1. Description du site	8
2. Contexte géologique	11
3. Enquête documentaire	11
3.1. Inventaire des risques naturels connus	11
3.2. Risque retrait/gonflement des argiles	12
3.3. Risque inondation par crue (rivière)	12
3.4. Risque inondation par remontée de nappe	13
3.5. Risque de pollution	13
3.6. Risque sismique	13
3.7. Risque rayonnements ionisants	14
4. Documents à notre disposition pour cette étude	14
RESULTATS DES INVESTIGATIONS IN SITU	15
1. Résultats des sondages	15
2. Aspects géomécaniques - Essais in situ	16
3. Niveaux d'eau	16
ANALYSE VIS-A-VIS DU RISQUE SISMIQUE	18
APPLICATION AU PROJET	20
1. Description générale du projet	20
2. Mode de fondation envisageable	21
2.1. Rappel des contraintes liées au projet	21
2.2. Fondations	21
2.3. Niveau bas des constructions avec sous-sol	22
2.4. Niveau bas des constructions sans sous-sol	22

ETUDE DE LA SOLUTION DE FONDATION SUPERFICIELLES	23
1. Portance suivant l'Eurocode 7	23
2. Tassements	24
3. Sujétions de conception et d'exécution	24
3.1. Fondations superficielles	24
3.2. Terrassement pour la plateforme	25
SOLUTION DE FONDATIONS SUR PIEUX	26
1. Généralités	26
2. Type de pieu	27
3. Application au projet	27
4. Sujétions de conception et d'exécution des pieux	29
NIVEAUX BAS DES BATIMENTS AVEC SOUS-SOL	31
1. Assise de dallage sur terre-plein	31
2. Dispositions constructives	31
3. Caractéristiques des sols supports de dallage à long terme	32
4. Contrôle	32
NIVEAUX BAS DES BATIMENTS SANS SOUS-SOL	33
PRECAUTIONS VIS-A-VIS DES AVOISINANTS	34
REALISATION DE LA FOUILLE ET GESTION DES EAUX SOUTERRAINES	35
1. Protection contre les eaux	35
2. Protection contre les eaux en phase définitive de l'ouvrage	35
3. Protection contre les eaux en phase provisoire chantier :	36
4. Exécution	37
4.1. Extraction des déblais	37
4.2. Pentes de talus pour le sous-sol	37
4.3. Soutènement – Blindage - Paramètres intrinsèques :	37
ASSISE DE VOIRIES ET STRUCTURE DES CHAUSSEES	39
1. Résultats des essais en laboratoire	39
2. Généralités	39
3. Réemploi	40
4. Portance et couche de forme	40

5.	Contrôle	41
6.	Structures de chaussée	41
7.	Vérification au gel des structures	42
AMENAGEMENTS PERIPHERIQUES		43
1.	Dans le cas de la pente	43
2.	Dans le cas des soutènements	43
CONCLUSION, ALEAS RESIDUELS, SUITE A DONNER		45
1.	Conclusion	45
2.	Aléas résiduels (non exhaustifs)	45
3.	Suite à donner	46
CONDITIONS GENERALES		47
ANNEXES		51
	Plan de situation	52
	Plan d'implantation des sondages	53
	Sondages et essais	54
	Classification sismique du site	65
	Résultats des essais en laboratoire	66
	Calcul d'une fondation superficielle selon l'Eurocode 7	74
	Calcul d'une fondation profonde selon l'Eurocode 7	76
	Cartographie du potentiel radon	79

Présentation de notre mission

Loire Océan Développement envisage la construction de logements collectifs de type R+2 à R+6 avec sous-sol et d'une maison de santé, situés quartier du Chêne des Anglais, rue Jacques Cartier à Nantes (44).

L'étude géotechnique a été confiée à FONDASOL, Agence de Nantes, suite à l'acceptation du devis DE.AN.18.09.007-indice B du 4 septembre 2018 par la commande datée du 13 septembre 2018.

I. Mission selon la norme NF P 94-500

Il s'agit d'une mission de type **G1_PGC + G2_AVP** au sens de la norme NFP 94-500 (Missions Géotechniques Types – Révision du 30 Novembre 2013). Les objectifs de notre rapport sont de développer les points suivants :

- **Etude préliminaire du site**
Enquête bibliographique et visite du terrain,
- **Résultats des investigations** (plans d'implantation, coupes géologiques et diagrammes des essais in-situ et en laboratoire),
- **Analyse et synthèse du contexte géologique et géomécanique du site et de son influence sur le projet :**
 - Description de la géologie et établissement du modèle géologique du site,
 - Analyse de la compacité des terrains,
 - Niveaux de l'eau lors de nos investigations, leur influence sur le projet,
 - Analyse du contexte sismique du site (ordre de grandeur des vitesses sismiques, détermination de la classe de sol selon les règles parasismiques (EC8), accélération maximale à retenir selon la sismicité, la classe de sol et l'ouvrage),
 - Caractérisation des anomalies d'origine anthropique ou naturelle,
 - Qualification du risque de liquéfaction sous séisme.
- **Hypothèses géotechniques pour la justification des ouvrages :**
 - Types de fondations,
 - Contraintes de calculs ELS et ELU (fondations superficielles ou fondations profondes) et estimation des tassements (fondations superficielles), pour un profil type de fondation,
 - Type de soutènement et paramètres de calcul pour un profil type,
 - Détermination du type de niveau bas envisageable : dallage sur terre-plein ou plancher porté,
 - Dans le cas d'un dallage sur terre-plein, étude de son assise (épaisseur, constitution et critères de réception de la couche de forme ; détermination des modules d'Young conformément au DTU I3.3) pour un profil type,
 - Etude de l'assise des voiries et parkings (épaisseur, constitution et critères de réception de la couche de forme) pour un profil type,
- **Recommandations particulières pour la réalisation des travaux**
Préparation du terrain et phasage des travaux (drainage, terrassements, talutage, soutènements, avoisinants, etc.).

2. Programme d'investigations

Nous avons réalisé les investigations géotechniques suivantes :

- **7 sondages destructifs en Ø 63 mm à 8,0 m (x6) et 17,0 m (x1 en PR4) de profondeur, notés PRI à PR7.** Des échantillons (cuttings) ont été prélevés au fur et à mesure de l'avancement des sondages et mis en sacs soigneusement répertoriés, pour identification lithologique par l'ingénieur géotechnicien. Avec **36 essais pressiométriques** répartis tous les 1 à 1.5 m dans les forages précédents pour mesurer in-situ les caractéristiques de portance et de déformabilité. Comme les matériaux le permettent, ces essais ont été poussés à 5 MPa (50 bars) conformément à la norme NFP 94.110, **notés PRI à PR4.**
- **3 équipements piézométriques en 45/50 mm à 8,0 m de profondeur** pour relever le niveau d'eau en fin de forage et suivre ses fluctuations dans le temps. Un suivi mensuel du niveau d'eau dans les piézomètres installés est prévu sur une période de 6 mois pour commencer, entre décembre 2018 et mai 2019,
- **3 sondages de reconnaissance courts** à 1,5 m de profondeur (jumelés à un essais de pénétration statique léger de 25 kN jusqu'au refus à 1,0 m en RG1 ou jusque 1,60 m de profondeur (arrêt volontaire) en RG2 et RG3) pour étude des voiries et prélèvement d'échantillons pour essais en laboratoire, **notés RG1 à RG3,**
- **Essais en laboratoire** (jointés en annexe) comprenant :
 - 3 teneurs en eau
 - 3 valeurs au bleu du sol (VBS)
 - 3 analyses granulométriques par tamisage

Les sondages ont été réalisés au moyen d'une sondeuse hydraulique de type COMACCHIO et les échantillons ont été prélevés à la tarière continue ou au taillant avec injection d'eau ou de bentonite.

Le plan d'implantation des sondages est donné en annexe.

Descriptif général du site et approche documentaire

I. Description du site

Le terrain étudié est actuellement occupé par les bâtiments de l'Association Arbres (sur la parcelle 236), par la voirie de la rue Jacques Cartier et par des espaces verts (avec de nombreux arbres de taille adulte) sur la parcelle 626.



Vue du sondage PR5 dans l'enceinte de l'Association Arbres



Vue du sondage PR4 dans l'enceinte de l'Association Arbres



Vue du sondage RGI à l'extrémité de la rue Jacques Cartier



Vue du sondage PRI sur la voirie Jacques Cartier



Vue du sondage PR3 dans les espaces verts



Vue du sondage RG3 dans les espaces verts



Vue du sondage PR7 au fond de la parcelle 626 et des arbres imposants

D'après le plan de géomètre, l'altitude des points de sondage est la suivante :

Sondages	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	RG1	RG2	RG3
Altitude du TN (m NGF)	34.42	35.36	35.06	32.76	32.42	35.29	33.60	34.41	34.81	35.46

La dénivelée du sol est d'environ 3,0 m entre les points de sondage PR5 et RG3. Le point haut étant la rue Jacques Cartier et le point bas du site étant rue des Renards.

2. Contexte géologique

D'après la carte géologique du secteur au 1/50000 et notre connaissance du secteur, les terrains devraient être constitués sous un faible recouvrement **limoneux** par un **substratum de micaschistes**, plus ou moins altérés en tête.



3. Enquête documentaire

3.1. Inventaire des risques naturels connus

La commune a fait l'objet de plusieurs arrêtés de catastrophe naturelle repris ci-après.

Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
44PREF19990114	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

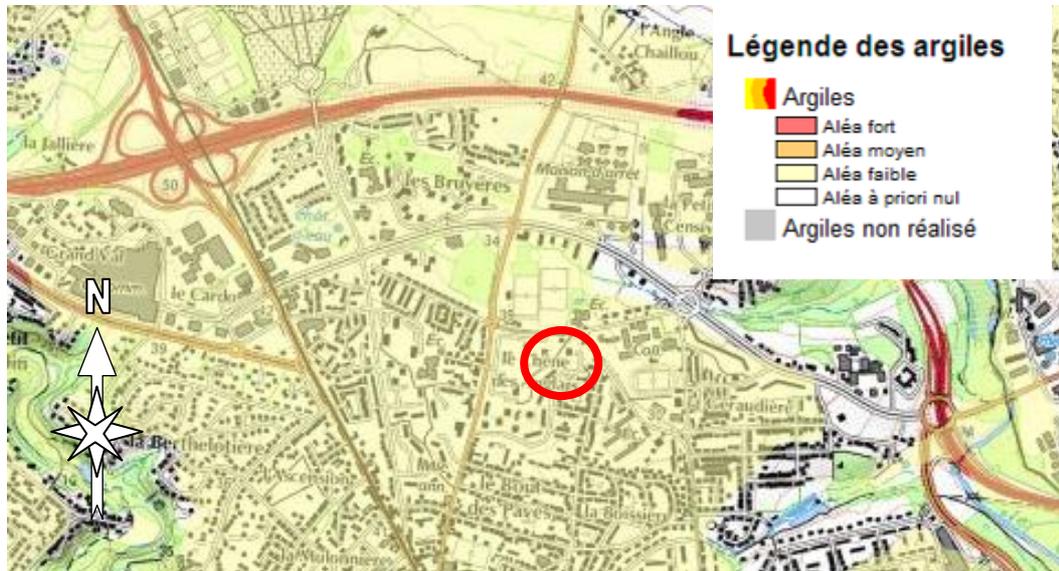
Inondations et coulées de boue : 6

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
44PREF20170190	08/12/1982	31/12/1982	11/01/1983	13/01/1983
44PREF19870002	15/09/1986	15/09/1986	27/01/1987	14/02/1987
44PREF19950044	17/01/1995	05/02/1995	21/02/1995	24/02/1995
44PREF20010013	05/01/2001	07/01/2001	12/02/2001	23/02/2001
44PREF20170229	10/05/2009	10/05/2009	16/10/2009	21/10/2009
44PREF20170004	09/07/2017	09/07/2017	26/09/2017	27/10/2017

Il appartient aux concepteurs du projet de s'assurer que le projet n'est pas concerné par les risques non-géotechniques déjà répertoriés.

3.2. Risque retrait/gonflement des argiles

D'après le site www.georisques.gouv.fr le risque d'aléa retrait/gonflement des argiles est faible pour ce site étudié.



3.3. Risque inondation par crue (rivière)

La commune de NANTES fait partie du Programme d'Action de Prévention contre les Inondations, des Territoires à Risque important d'Inondation et comprend un plan de prévention des risques PPRn Inondation auquel il convient de se référer.

PPRN	Aléa	Prescrit le	Enquêté le	Approuvé le	Révisé le	Annexé au PLU le	Deprescrit / annulé / abrogé le	Révisé
44DDTM19970006 - PPRi Sèvre Nantaise	Par une crue à débordement lent de cours d'eau	06/06/1997	14/04/1998	03/12/1998				
44DDTM20080006 - PPRi LOIRE Aval Agglo Nantaise	Par une crue à débordement lent de cours d'eau	05/07/2007	01/10/2013	31/03/2014				

Commune exposée à un territoire à risque important d'inondation (TRI) : Oui

Nom du TRI	Aléa	Cours d'eau	Arrêté du préfet coordonnateur de bassin	Arrête stratégie locale	Arrêté préfet / parties prenantes	Arrêté d'approbation de la partie locale	Arrêté TRI national
Nantes	Inondation - Par ruissellement et coulée de boue		26/11/2012	20/02/2015			06/11/2012

Commune faisant l'objet d'un programme de prévention (PAPI) : Oui

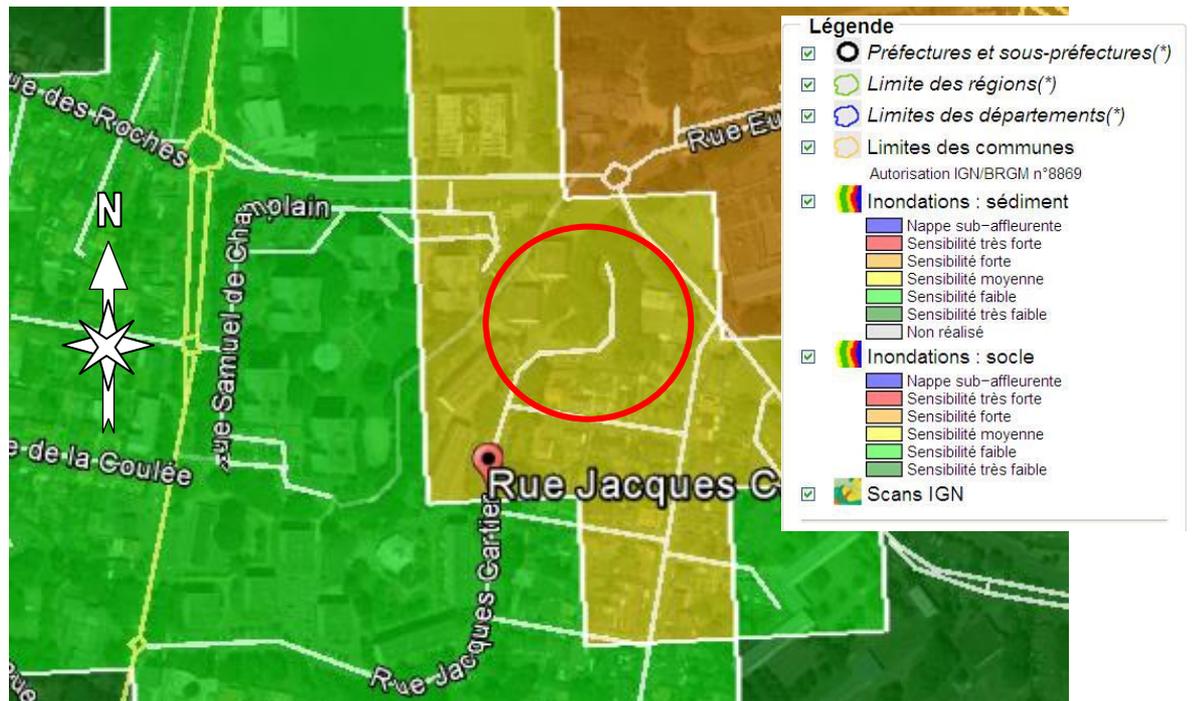
Nom du PAPI	Aléa	Date de labellisation	Date de signature	Date de fin de réalisation
44DREAL20130008 - PAPI Sèvre nantaise	Inondation	13/12/2011	08/03/2013	
44DREAL20180015 - Nantes	Inondation - Par remontées de nappes naturelles, Inondation - Par ruissellement et coulée de boue, Inondation - Par une crue à débordement lent de cours d'eau	21/06/2018		

D'après ces documents le site n'est pas concerné par le risque inondation par crue.

3.4. Risque inondation par remontée de nappe

Une carte des remontées de nappe est disponible sur le site www.georisques.gouv.fr. Elle indique que le terrain concerné par le projet se situe dans une zone de sensibilité moyenne, vis-à-vis du risque de remontée de nappe dans le socle.

Le suivi mensuel des piézomètres installés sera restant les meilleurs moyens pour caractériser ce risque. Ce suivi est actuellement prévu entre décembre 2018 et mai 2019.



3.5. Risque de pollution

L'objet de l'étude géotechnique n'est pas de détecter une éventuelle contamination des sols par des matières polluantes.

Nous pouvons préciser que les échantillons de sols prélevés ne présentaient pas d'odeurs suspectes.

3.6. Risque sismique

Le gouvernement a publié au journal officiel du 22 octobre 2010, deux décrets relatifs au nouveau zonage sismique national, et un arrêté fixant les règles de construction parasismique telles que les règles Eurocode 8.

Il s'agit des documents suivants :

- décret n° 2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique ;
- décret n° 2010-1255 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- arrêté du 19 juillet 2011 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite "à risque normal".

En vertu du décret n°2010-1255 daté du 22 octobre 2010, la commune se situe en zone de **sismicité 3** (sismicité « modérée »).

3.7. Risque rayonnements ionisants

Le radon est un gaz radioactif qui provient de la dégradation naturelle de l'uranium du sous-sol. Il reste diffus dans l'air mais a tendance à se concentrer dans les milieux fermés, tels que les bâtiments par exemple.

Le projet n'est pas situé dans un département prioritaire pour la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants (présence potentielle de radon dans le milieu naturel)

A titre informatif, la carte du potentiel radon établie par l'IRSN (source : irsn.fr et reprise en annexe), classe la commune du projet en **catégorie 3** (cas de formations géologiques présentant des teneurs en uranium les plus élevées).

L'arrêté daté du 27 juin 2018 délimite des zones à potentiel radon du territoire français, désormais à l'échelle communale.

Nous rappelons qu'il existe une obligation de mesures de concentration en RADON dans le cas de certains établissements recevant du public. En fonction des résultats des mesures de radon, des dispositions constructives pourront s'avérer nécessaires.

Ce risque n'étant pas géotechnique, il conviendra donc de se référer aux recommandations de l'IRSN pour limiter toute accumulation de ce gaz dans la construction (www.irsn.fr).

4. Documents à notre disposition pour cette étude

Pour mener à bien cette étude, les documents suivants nous ont été fournis :

- le dossier de consultation pour la réalisation de sondages géotechniques rédigé par L.O.D et envoyé par e-mail le 22 août 2018.

Nous avons également utilisé :

- la carte IGN du secteur,
- les données du BRGM,
- la carte géologique de Nantes au 1/50 000,
- les vues aériennes du secteur.

I. Résultats des sondages

Nos sondages ont mis en évidence la lithologie suivante du haut vers le bas à partir du terrain actuel :

- 10 à 20 cm de **terre végétale** reconnue au droit des sondages PR2, PR3, PR5, PR6, PR7, RGI et RG3,
- 3 à 5 cm **d'enrobé bitumineux** reposant sur un **remblai sablo-graveleux** gris foncé à gris clair et beige reconnu jusque 0,30 m (RG2), 0,40 m (PR1) à 0,50 m (PR4) de profondeur,
- un **ensemble de remblais limono-caillouteux, ou silteux** marron foncé avec cailloutis, ou limono-schisteux beige-ocre clair avec cailloutis de schiste et racines, reconnu jusque 0,50 m (PR2, PR3) à 1,10 m (PR4) de profondeur. Les limons silteux marron foncé avec cailloutis ont été considérés comme des remblais possibles. L'épaisseur moyenne de ces remblais est de 0,80 m environ au droit des 8 sondages PR1 à PR6, RGI et RG3,
- un **ensemble de blocs de béton** gris clair reconnus entre 0,80 m et 1,00 m de profondeur en RGI uniquement,
- un **limon argileux** marron foncé reconnu jusque 0,70 m en PR7 uniquement,
- un **ensemble de limon schisteux** marron, beige-ocre à localement blanchâtre reconnu jusque 5,00 m (PR6) à 15,50 m (PR4) de profondeur,
- un **micaschiste décomposé** beige-ocre à jaunâtre reconnu entre 6,50 m et 8,40 m en PR4 et à partir de 15,50 m de profondeur en PR4 (et jusque la base du sondage, soit 17,00 m de profondeur),
- un **micaschiste altéré** beige-jaunâtre reconnu à partir de 5,00 m de profondeur (et jusque la base du sondage, soit 8,00 m de profondeur) en PR6 uniquement.

Remarque :

La description des terrains et la position des interfaces comportent des imprécisions inhérentes à la méthode de forage destructif. Des fouilles à la pelle mécanique seront plus adaptées et plus précises pour connaître la terrassabilité des matériaux et les épaisseurs de sols remblayés.

2. Aspects géomécaniques - Essais in situ

Les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés ont été mesurées à partir des essais pressiométriques et des essais au pénétromètre statique avec les notations suivantes :

p_l^* : pression limite nette
 E_M : module de déformation pressiométrique
 R_p : résistance en pointe mesurée au pénétromètre statique de 25 kN.

Les résultats des mesures de la résistance du sol sont les suivants, avec :

- une compacité médiocre à bonne dans les remblais et limons de surface jusque vers 1,00 à 1,50 m de profondeur = limons fermes à raides selon l'Eurocode 7 (7 essais pressiométriques) :

$$\begin{aligned}0,88 &\leq p_l^* \leq 1,93 \text{ MPa} \\12,4 &\leq E_M \leq 36,7 \text{ MPa} \\1,55 &\leq R_p \leq 7,41 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- une compacité médiocre à bonne dans les limons schisteux jusque vers 5,00 à 15,00 m de profondeur = limons fermes à très raides selon l'Eurocode 7 (25 essais pressiométriques) :

$$\begin{aligned}0,76 &\leq p_l^* \leq 2,71 \text{ MPa} \\7,1 &\leq E_M \leq 28,2 \text{ MPa} \\5,45 &\leq R_p \leq 11,78 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- une bonne compacité dans le substratum décomposé à altéré = rocher altéré à fragmenté au sens de l'Eurocode 7 (4 essais pressiométriques) :

$$\begin{aligned}2,53 &\leq p_l^* \leq 4,76 \text{ MPa} \\26,5 &\leq E_M \leq 66,9 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Le refus a été rencontré au pénétromètre statique léger à 1,00 m de profondeur en RGI uniquement sur des blocs en béton (remblai d'origine inconnue). Dans les autres sondages, les bonnes caractéristiques mécaniques des sols pourraient être liées à la présence des arbres et à l'influence de leurs racines sur la teneur en eau des sols.

3. Niveaux d'eau

Lors de notre intervention, du 13 au 20 novembre 2018, nous avons noté un niveau d'eau **non-stabilisé** en fin de chantier à 5,50 m de profondeur, soit à la cote de 26,9 m NGF, en PR5 uniquement, après une période estivale particulièrement sèche.

Trois équipements piézométriques ont été installés au droit des sondages PR1, PR2 et PR5 jusque 8,00 m de profondeur, afin de suivre les fluctuations du niveau d'eau dans le sol.

Le terrain est manifestement le siège de circulations d'eau au sein du substratum schisteux.

On rappellera que des circulations d'eau dans les remblais de surface seront également toujours possibles en fonction des conditions météorologiques.

On rappellera que le site se situe en zone de sensibilité moyenne vis-à-vis du risque de remontée de nappe.

Compte tenu des variations des niveaux d'eau dans le temps et en fonction des conditions climatiques, il est vraisemblable que la nappe puisse interférer avec les terrassements et l'infrastructure.

L'intervention ponctuelle du géotechnicien dans le cadre de la réalisation de l'étude confiée ne lui permet pas de fournir des informations hydrogéologiques plus précises, dans la mesure où le niveau d'eau mentionné dans le rapport d'étude correspond nécessairement à celui relevé à un moment donné, sans possibilité d'apprécier la variation inéluctable des nappes et circulations d'eau qui dépend notamment des conditions météorologiques.

Pour obtenir des indications plus précises, il nous a été confié, dans le cadre d'une mission spécifique, le suivi seul des piézomètres installés en PR1, PR2 et PR5.

Le suivi seul des piézomètres, conduira à la rédaction d'un compte rendu factuel concernant la période hivernale 2018/2019, soit entre décembre 2018 et mai 2019 pour commencer.

En fonction de ce suivi, il sera probablement nécessaire de prévoir des études hydrogéologiques qui répondront en particulier aux problèmes spécifiques d'hydraulique du bâtiment : estimation des niveaux caractéristiques de la nappe (EH, EE, EB,...), débits d'exhaure associés en phase travaux, gestion des eaux souterraines...

Seule la mission de ce suivi nous a été confiée pour ce dossier.

Depuis le 1^{er} mai 2011 la commune se situe en **zone de sismicité 3**, correspondant à une accélération au niveau du rocher de : $a_{gr} = 1,1 \text{ m/s}^2$ (décret n°2010-1255 daté du 22 octobre 2010).

L'ouvrage est supposé de catégorie II (hypothèse à confirmer par le maître d'ouvrage). Soit un coefficient d'importance de $\gamma_I = 1$. Toutefois, s'agissant d'une maison de santé, l'ouvrage serait alors de catégorie III. Dans ce cas le coefficient d'importance sera de $8 \gamma_I = 1,2$.

Les investigations réalisées ont permis de déterminer que le sol rencontré était de **type B** selon l'Eurocode 8.

Dans le cas d'un sol de type B et pour une zone de sismicité 3, le paramètre de sol vaut **S = 1,35**.

En raison de la nature des sols et des résultats des essais pressiométriques effectués, il apparaît que les valeurs sont suffisamment élevées pour que les sols rencontrés soient considérés comme non liquéfiables.

Il n'y a pas de densification du sol à prévoir ; et de ce fait **la sismicité sera à prendre en compte** d'un point de vue structurel uniquement.

L'accélération maximale en surface sera pour un ouvrage de **catégorie II** de :

$$a_{max} = a_{gr} \times \gamma_I \times S = 1,49 \text{ m/s}^2 \text{ pour un ouvrage de catégorie II}$$

D'où pour un ouvrage de **catégorie II** :

Pour l'évaluation des composantes horizontales du mouvement sismique on a :

$$T_B = 0,05 \text{ s}$$

$$T_C = 0,25 \text{ s}$$

$$T_D = 2,50 \text{ s}$$

La valeur de palier maximum $S_e(H) = 3,71 \text{ m/s}^2$, en Z3 pour un sol de classe B et ouvrage de classe II.

Pour l'évaluation des composantes verticales du mouvement sismique on a :

$$T_B = 0,03 \text{ s}$$

$$T_C = 0,20 \text{ s}$$

$$T_D = 2,50 \text{ s}$$

avec : $avg/ag = 0,9$ depuis l'arrêté du 19 juillet 2011.

La valeur de palier maximum $S_e(V) = 2,97 \text{ m/s}^2$, en Z3 pour un ouvrage de classe II.

L'accélération maximale en surface sera pour un ouvrage de **catégorie III** de :

$$a_{\max} = a_{gr} \times \gamma_I \times S = 1,78 \text{ m/s}^2$$

D'où pour un ouvrage de **catégorie III** :

Pour l'évaluation des composantes horizontales du mouvement sismique on a :

$$T_B = 0,05 \text{ s}$$

$$T_C = 0,25 \text{ s}$$

$$T_D = 2,50 \text{ s}$$

La valeur de palier maximum $S_e(H) = 4,46 \text{ m/s}^2$, en Z3 pour un sol de classe B et ouvrage de classe III.

Pour l'évaluation des composantes verticales du mouvement sismique on a :

$$T_B = 0,03 \text{ s}$$

$$T_C = 0,20 \text{ s}$$

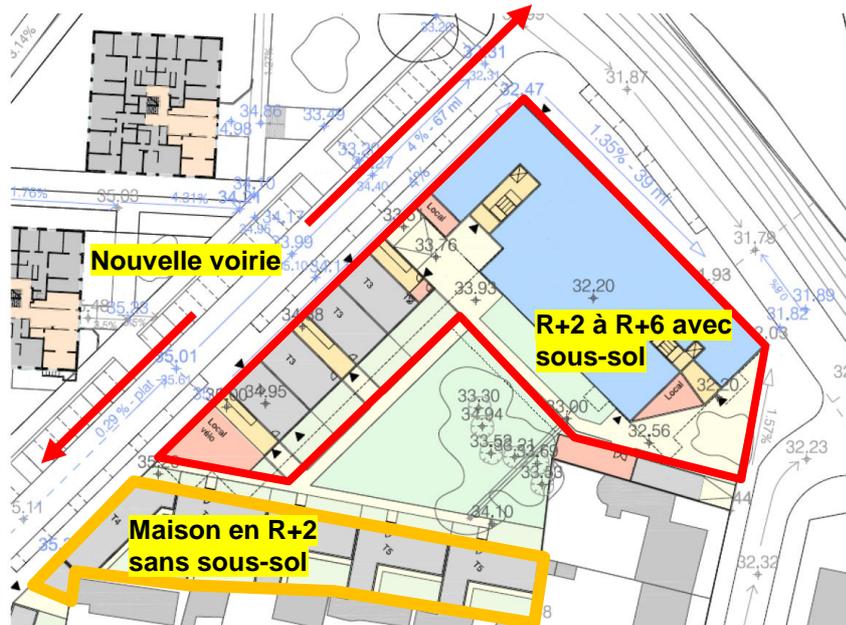
$$T_D = 2,50 \text{ s}$$

avec : $avg/ag = 0,9$ depuis l'arrêté du 19 juillet 2011.

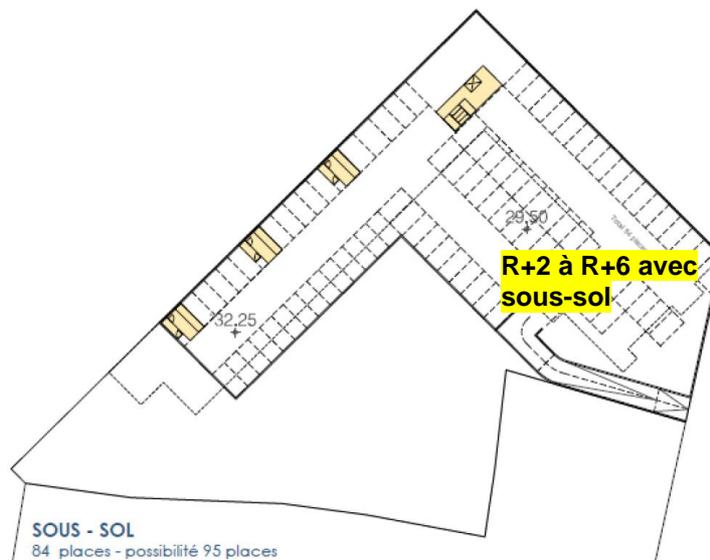
La valeur de palier maximum $S_e(V) = 3,56 \text{ m/s}^2$, en Z3 pour un ouvrage de classe III.

I. Description générale du projet

Il est envisagé la construction de logements collectifs et d'une maison de santé de type R+2 à R+6 avec sous-sol et de maisons en R+2 sans sous-sol. Il est aussi prévu une nouvelle voirie qui connectera la rue Jacques Cartier à la rue des Renards. La vue en plan du projet est la suivante :



Le niveau RDC des maisons en R+2 a été supposé au niveau moyen du terrain actuel au droit des sondages PR6 et PR7, soit vers 34,45 mNGF (à confirmer au stade projet).



D'après la vue en plan ci-dessus, le niveau de sous-sol serait alors sur deux niveaux décalés à 32,25 m NGF (en partie haute du site) et 29,50 m NGF (en partie basse du site). Ce qui reste à confirmer au stade projet.

Concernant la voirie, elle serait réalisée en déblais d'environ 2,7 m, en pente descendante de 4% vers la rue des Renards (sur 67 ml) de 35,01 m NGF à 32,31 m NGF.

Nous ne disposons pas d'autre information concernant ce projet au moment de la rédaction de ce rapport.

2. Mode de fondation envisageable

2.1. Rappel des contraintes liées au projet

- Terrassement jusque vers 29,0 à 31,8 m NGF environ pour le sous-sol du collectif en R+2 à R+6,
- Présence de circulations d'eau (fluctuante en fonction des saisons) vers 26,9 m NGF le 19.11.2018, soit actuellement vers 2,1 m sous le niveau de la plateforme support des terrassements. Un suivi piézométrique sur 6 mois est prévu pour couvrir la période hivernale 2018/2019, afin de cerner les fluctuations de la nappe sur cette période d'observation,
- Présence de constructions mitoyennes au projet dont le système de fondation n'a pas été reconnu à ce stade des études d'avant-projet,
- Présence de nombreux arbres dans l'emprise du projet.

2.2. Fondations

Compte tenu des caractéristiques du site et des éléments portés à notre connaissance concernant le projet, nous conseillons le système de fondation suivant :

A) CAS DE DESCENTE DE CHARGE FAIBLES (R+2)

- fondations **superficielles de type isolées ou continues** ancrées d'au moins 30 cm dans les limons schisteux marron à beige-ocre en place et non remaniés par les travaux de terrassements, ce qui correspond à une assise des fondations située à 0,80 m de profondeur sous le niveau de sous-sol, soit vers la cote de 31,5 m NGF. Pour les maisons en R+2 la profondeur d'assise des fondations serait entre 1,1 m (PR7) et 1,2 m (PR6) de profondeur sous le niveau du terrain actuel.

Le niveau d'assise minimum des fondations au droit de chaque sondage sera le suivant, compté à partir du niveau du terrain actuel :

Sondages	Collectif R+2 à R+6					Maisons R+2	
	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7
Altitude du TN (m NGF)	34.42	35.36	35.06	32.76	32.42	35.29	33.60
Sous-sol/RDC supposé à (m NGF)	32.25	32.25	32.25	29.50	29.50	34.45	34.45
Déblais (-) en m	2.2	3.1	2.8	3.3	2.9	0.8	-0.9
Profondeur fondation / Niv. bas (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	1.9
Assise de fondation (m NGF)	31.5	31.5	31.5	28.7	28.7	34.1	32.6
Profondeur fondation / TN (m)	3.0	3.9	3.6	4.1	3.7	1.2	1.1
Contrainte de sols aux ELS (MPa)	0.30						

On veillera à respecter cet ancrage de 30 cm dans les sols en place, ce qui pourra conduire à des approfondissements locaux en cas de surépaisseur de remblais ou de zones remaniées.

On respectera les conditions de hors-gel et les règles relatives aux fondations posées à des niveaux différents. Un rattrapage avec un gros béton est envisageable pour atteindre le fond de fouille.

B) CAS DE DESCENTES DE CHARGE FORTES (R+6)

- fondations **profondes sur pieux** forés à la tarière creuse ancrés dans le limon schisteux ou le micaschiste décomposé reconnu au-delà de 15,5 m de profondeur, d'après le sondage en PR4, en fonction des efforts de compression et d'arrachement à reprendre.

Nota : d'autres techniques de pieux (de type pieux forés boue ou tubés) sont possibles pour traverser plus facilement les remblais de la décharge. Il conviendra de sélectionner une machine de pieux de puissance adaptée à la nature et à la compacité des sols rencontrés.

Nota : on prévoira un joint de structure entre ouvrages fondés différemment. Ou alors on prévoira des pieux pour l'ensemble du projet.

2.3. Niveau bas des constructions avec sous-sol

D'un point de vue géotechnique, un **dallage sur terre-plein** pourra être réalisé sous réserve de respecter les modalités détaillées au paragraphe 4. Une étude hydrogéologique devra néanmoins en valider le principe même. En effet, la réalisation d'un dallage sur terre-plein ne pourra être envisagée qu'à la condition qu'il existe des possibilités de rejet des eaux souterraines, drainées notamment sous dallage par la mise en œuvre d'un complexe drainant, vers un exutoire adapté à rechercher (réseau existant, infiltration des eaux captées dans les zones de pleine terre, etc).

Dans le cas contraire, si un rejet de ces eaux n'est pas envisageable **ou en cas de réalisation de pieux**, il y aura lieu de s'orienter vers un cuvelage et donc vers une solution de **plancher porté** par les fondations via un réseau de longrines.

On rappellera également que les zones de décalage de niveau nécessiteront dans tous les cas un traitement particulier (plancher porté par les fondations, ou mur de soutènement permettant le compactage des matériaux en amont pour poser le dallage sur terre-plein).

On prévoira, par ailleurs, pour les murs enterrés périphériques des mesures adaptées au niveau d'étanchéité requis.

2.4. Niveau bas des constructions sans sous-sol

Compte tenu de la dénivelée du sol (de l'ordre de 1,70 m) entre PR6 et PR7, nous recommandons la réalisation d'une **solution de plancher porté par un réseau de longrines** reposant sur les fondations.

Dans ce cas il n'y a pas de couche de forme à prévoir, mais on veillera tout de même à maintenir une portance de plateforme suffisante, à la fois pour permettre aux engins de chantier de travailler dans de bonnes conditions, et également pour préserver la portance des sols constituant l'assise des fondations superficielles.

Cette solution de dallage permettra également d'éviter le remblaiement du terrain le long des mitoyens (cas des parcelles 240, 241, 244, 245, 248 et 249).

I. Portance suivant l'Eurocode 7

Les calculs de capacité portante et de tassements des fondations superficielles dans le cadre de la présente ébauche dimensionnelle respectent les prescriptions de la norme P94-261 (Eurocode 7).

Dans le cadre d'une G2 AVP nous nous limiterons à la reprise des charges verticale centrées ; la stabilité au glissement et à l'excentrement des charges devra être étudiée en G2_PRO.

Pour une fondation filante de $B=1$ m de large, la pression limite nette calculée sur une épaisseur de $1.5B$ sous la base de la fondation est :

$$\begin{aligned} P_{le}^* &= 1,04 \text{ MPa} \\ k_p &= 0,8 \text{ (pour un encastrement relatif } D_e/B > 0) \\ i\delta &= 1 \text{ (charges supposées verticales)} \\ i\beta &= 1 \text{ (charge éloignée de tout talus)} \end{aligned}$$

Nota : dans le cas d'une charge inclinée par rapport à la verticale, ou bien d'une fondation réalisée à proximité d'un talus, les coefficients respectivement $i\delta$ et $i\beta$ seront inférieurs à 1. On a alors dans ce cas, la contrainte nette évaluée à :

$$q_{net} = k_p \cdot P_{le}^* \cdot i\delta \cdot i\beta = 0,83 \text{ MPa}$$

Soient :

$$\text{Contrainte caractéristique : } q_{v;k} = \frac{q_{net}}{1.2}$$

$$\text{Contrainte de calcul à l'ELU : } q'_{ELU} - q_0 = q_{v;d} = \frac{q_{v;k}}{1.4}$$

$$\text{Contrainte de calcul à l'ELS : } q'_{ELS} - q_0 = q_{v;d} = \frac{q_{v;k}}{2.3}$$

Les contraintes de calcul sont, en négligeant q_0 :

$$\mathbf{q'_{ELU} = 0,49 \text{ MPa}}$$

$$\mathbf{q'_{ELS} = 0,30 \text{ MPa}}$$

Nota : Indépendamment de la descente de charge, la taille minimum des massifs isolés sera de 60 cm de côté et pour une semelle filante de 40 cm de large.

2. Tassements

En l'absence d'information sur les descentes de charges apportées par les bâtiments, nous avons estimé les tassements par la méthode pressiométrique, pour une semelle filante de 1 m de côté (valeur indicative à revoir en fonction des descentes de charge réelles) ancrée de 30 cm dans le limon schisteux marron à beige-ocre soumis à une contrainte verticale centrée à l'ELS quasi-permanent de 0,30 MPa.

Dans ces conditions, les tassements absolus prévisibles seront compris entre 0,5 et 1,0 cm. Les tassements différentiels seront de l'ordre du demi-centimètre. Ces tassements s'entendent pour des fonds de fouille homogènes et non remaniés.

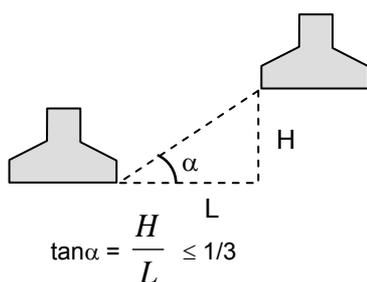
3. Sujétions de conception et d'exécution

3.1. Fondations superficielles

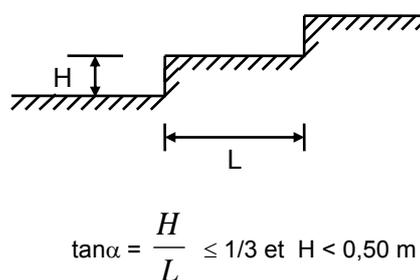
Conception

Règles relatives aux fondations posées à des niveaux différents:

Massifs isolés ou puits



Semelles filantes en redans



Démolition

Il conviendra de purger intégralement le terrain des constructions existantes, y compris les arbres, les fondations et les éventuelles cuves et réseaux enterrés. Nous recommandons de prévoir un relevé par un géomètre de toutes les fondations et infrastructures enterrées qui seront démolies et purgées. Ce relevé permettra de connaître le positionnement et la profondeur des anciens éléments enterrés pour le calpinage des fondations projetées.

Aucune fondation ne prendra appui dans ces zones purgées ou substituées.

Dans le cas où il serait envisagé de réaliser des puits à l'aide d'une tarière, il conviendrait alors de s'assurer de l'absence de blocs dans les remblais (risque de refus), par la réalisation de fouilles à la pelle mécanique préalablement avant le démarrage du chantier.

Exécution

Les fondations respecteront un encastrement de 30 cm dans le limon schisteux marron à beige-ocre **en place et non remanié** sous les remblais de surface.

Ce critère d'encastrement nécessitera des approfondissements du niveau d'assise des fondations dans le cas de rencontre de surépaisseurs de remblais.

On vérifiera soigneusement les fonds de fouille afin de déceler et purger toute poche de sols mous ou de remblais pouvant subsister au niveau d'assise retenu pour les fondations.

Des blocs compacts peuvent exister superficiellement dans ce type de terrain (comme au droit du sondage RGI entre 0,80 m et 1,00 m de profondeur). A leur rencontre ces points durs devront être purgés.

Les dénivellations des niveaux d'assise des fondations seront alors reprises par redans successifs en respectant la proportion $H/L < 1/3$ (réglementation sismique) et en partant du point le plus bas.

On prévoira l'utilisation d'une pompe de chantier reliée à un exutoire afin d'évacuer immédiatement toutes arrivées d'eau pouvant se produire en fond de fouille et préalable au bétonnage.

On bétonnera les fondations immédiatement après l'ouverture des fouilles ou sinon on coulera un béton de propreté à l'avancement.

On prévoira le talutage des fouilles avec une pente de 3 de base pour 2 de hauteur ou le blindage des fouilles sur toute la hauteur des éventuels remblais et des horizons instables.

Dans le cas de massifs isolés, les murs de remplissage reposeront sur des longrines en béton armé reposant sur les massifs de fondations.

Les terrassements pour les fondations pourront être réalisés à l'aide d'une pelle mécanique de puissance adaptée à la compacité des sols.

3.2. Terrassement pour la plateforme

La plateforme devra être réalisée en période hydrique favorable afin de ne pas risquer une perte générale et importante de portance des sols d'assises.

Dans le cas contraire, la portance et la traficabilité de la plate-forme ne permettront pas de réaliser des travaux de terrassement dans de bonnes conditions et nécessiteront inmanquablement des travaux supplémentaires afin d'obtenir une portance EV2 de 50 MPa sur la plate-forme finie.

Dans le cas où les travaux démarreraient à l'issue d'une période pluvieuse, on prévoira un drainage complet du terrain avec rejet des eaux collectées vers un exutoire suffisant.

Les fonds de forme devront être refermés dès l'arrivée de la pluie et à la veille des week-ends. On prévoira une forme de pente de 2 % orientée vers une tranchée drainante raccordée à un exutoire.

I. Généralités

Dans le cas où les descentes de charge sont trop importantes et dans le cas où une solution des fondations superficielles ne pourrait pas être retenue, alors on retiendra une solution de fondations profondes sur pieux.

Les paramètres nécessaires au dimensionnement des fondations profondes indiqués ci-après sont donc basés sur l'Eurocode 7. La norme propose 4 modèles de calcul. Nous retiendrons ici la procédure "Modèle de terrain".

La stabilité générale d'un pieu fait intervenir trois termes :

- terme de pointe
- terme de frottement axial
- terme de frottement négatif

VALEUR DU TERME DE POINTE

La résistance à la rupture de pointe est notée R_b . Elle est obtenue par la relation suivante :

$$R_b = A_b \times q_b$$

Dans laquelle :

A_b désigne la section de la pointe ;

q_b désigne la contrainte de rupture du sol sous la pointe et $q_b = k_p p_{le}^* + q_0$

Dans laquelle :

k_p désigne un coefficient semi-empirique, fonction de la nature géologique du sol, du type de pieu et de hauteur d'encastrement effective D_{ef} ;

p_{le}^* désigne la pression limite équivalente et est une pression limite pondérée qui tient compte de la distribution des pressions limites mesurées de part et d'autre de la pointe du pieu ;

q_0 désigne la contrainte verticale due au poids des terres qui s'exerce sur le plan de pose de la pointe des pieux de part et d'autre de ceux-ci et dans l'état définitif de la construction. Si γ désigne la densité apparente du sol, on a : $q_0 = \gamma h$. Ici q_0 sera négligé ce qui permet de négliger le poids du pieu.

VALEUR DU TERME DE FROTTEMENT AXIAL

La résistance à la rupture au frottement axial est notée R_s . Elle est obtenue par la relation suivante :

$$R_s = \sum_i (P_{si} \times q_{si} \times h_i)$$

Dans laquelle :

P_s désigne le périmètre du pieu ;

q_s désigne le frottement axial unitaire limite de chaque couche et

$$q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} \times f_{\text{sol}}(p_l^*(z))$$

Dans laquelle :

$\alpha_{\text{pieu-sol}}$ est défini en fonction de la catégorie des pieux et de la classe de sol ;

f_{sol} est fonction uniquement de la classe de sol.

h_i désigne la hauteur de pieu sur laquelle s'exerce le frottement dans la couche i .

VALEUR DU TERME DE FROTTEMENT NEGATIF

Ce frottement dû au tassement des couches de sol le long du pieu est à considérer comme une charge. Il doit donc être ajouté aux descentes de charges ou déduit de la capacité portante nette des pieux.

Tout aménagement pouvant engendrer des surcharges induiront un frottement négatif qu'il y aura lieu de prendre en compte sur les pieux.

2. Type de pieu

L'entrepreneur devra s'assurer que le type de pieux qu'il propose et le matériel qu'il met en œuvre lui permettra de traverser les matériaux reconnus sur le site et réaliser les ancrages correspondant aux capacités portantes retenues en fonction de la nature et la compacité des calcaires altérés.

Les pieux forés tubés sont des pieux de classe I et de catégorie 4 (virole récupérée) selon l'Eurocode 7.

Ici les pieux forés à la tarière creuse (pieux FTC) sont des pieux de classe 2 et de catégorie 6 selon l'Eurocode 7.

Remarque importante :

On rappellera ici que le toit du micaschiste décomposé peut être très variable. Des adaptations de la longueur des pieux (et donc des cages d'armature) seront donc à prévoir. Des sondages pressiométriques complémentaires profonds seront à réaliser pour réduire cet aléa (variation du toit du substratum plus ou moins altéré en tête).

3. Application au projet

TERME DE POINTE

Pour un ancrage effectif dans le micaschiste décomposé au-delà de 15,50 m/TN :

$$p_{le}^* = 3,50 \text{ MPa (cas du sondage PR4 par exemple)}$$

$$k_p = 2,00$$

Il est possible de se fonder dans les limons schisteux, toutefois le terme de pointe sera réduit et à adapter en fonction de la longueur du pieu.

Coefficients de modèle

Compte-tenu de la méthode d'évaluation utilisée et du type de pieux envisagé, on retient les coefficients suivants :

$$\gamma_{R;d1} = 1,15$$

$$\gamma_{R;d2} = 1,10$$

FROTTEMENT AXIAL EN PR1, SI PIEUX FTC

Désignation (désignation selon l'Eurocode 7)	Prof. de la base ⁽¹⁾	Module Pressio. E _M	Pression limite nette p _l * MPa	Classe de sol (P94-262)	qs retenue kPa
	m / TA	MPa	MPa		
Mort terrain / Sous-sol	3,00	-	-	-	0 (2)
Limon schisteux	8,00	11,0	1,1	Sol I (Limon)	64
Limon schisteux	11,00	18,0	1,7	Sol I (Limon)	67
Limon schisteux	15,50	20,5	2,4	Sol I (Limon)	71
Micaschiste décomposé	8,00	34,0	3,5	Sol 5 (Rocher)	184

(1) : au droit du sondage PR4.

(2) : compte-tenu des caractéristiques de ces terrains, le frottement positif axial sera négligé sur leur hauteur.

RESULTATS

A titre indicatif, nous avons indiqué ci-après les capacités portantes d'un pieu foré à la tarière creuse Ø 600 mm ancré dans le limon schisteux ou le micaschiste décomposé.

9.1 En fonction de la longueur

Longueur du pieu (m)	D =	17.0	16.0	15.0	14.0	13.0	12.0	11.0	10.0
----------------------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

Portance (compression)

ELS	Caractéristiques	R _{ccr,d} =	2 164	1 948	1 407	1 236	1 154	1 072	962	827
	Quasi-permanents	R _{ccr,d} =	1 768	1 594	1 151	1 012	945	877	787	677
ELU	Fondamentaux	R _{cd} =	2 932	2 683	1 868	1 626	1 530	1 435	1 292	1 109
	Sismiques	R _{cd} =	2 932	2 683	1 868	1 626	1 530	1 435	1 292	1 109
	Accidentels	R _{cd} =	3 226	2 952	2 054	1 789	1 684	1 578	1 422	1 220

Résistance de traction

ELS	Caractéristiques	R _{tt,r,d} =	-868	-725	-626	-571	-516	-460	-405	-353
	Quasi-permanents	R _{tt,r,d} =	-637	-532	-459	-418	-378	-338	-297	-259
ELU	Fondamentaux	R _{td} =	-1 187	-991	-855	-780	-704	-629	-554	-482
	Sismiques	R _{td} =	-1 187	-991	-855	-780	-704	-629	-554	-482
	Accidentels	R _{td} =	-1 300	-1 085	-937	-854	-772	-689	-606	-528

Il faudra veiller à limiter les charges aux capacités intrinsèques en compression d'un pieu en béton. Dans ces exemples nous avons supposé un f_{c28} = 25MPa.

On notera qu'au-delà de 15,5 m de profondeur en PR4 (pour un pieu de Ø 600 mm) la portance des pieux sera limitée par la capacité intrinsèque en compression du béton et par la puissance de la tarière.

4. Sujétions de conception et d'exécution des pieux

Conception

Concernant le dimensionnement des pieux, on notera que :

- en cas de surcharge appliquée sur la plate-forme (remblais), on retiendra un terme de frottement négatif venant réduire la capacité portante nette des pieux. Ce fluage vertical des sols, pouvant créer des frottements négatifs le long du fût des pieux et ainsi diminuer leur capacité portante, n'a pas été pris en compte dans le présent rapport G2 AVP dans la mesure où nous avons préconisé un plancher porté par les fondations profondes. Il conviendra d'en tenir compte au stade G2 PRO,
- dans le cas de pieux à la tarière creuse, on prévoira un système d'asservissement permettant de garantir le bétonnage des fondations ainsi qu'un enregistrement des paramètres de forage (couple de rotation, pression d'injection, vitesse d'avancement, pression sur l'outil, profondeur), permettant de vérifier l'encastrement dans la couche d'ancrage du micaschiste décomposé à altéré ;
- un étalonnage de l'enregistreur de paramètres avec la réalisation d'un forage d'essai pourra être effectué à proximité de nos sondages.

Les pieux recevant des efforts d'arrachement ou des efforts horizontaux notables (liés à la justification au séisme), devront être armés toute hauteur. Si les pieux en béton doivent être armés toute hauteur, alors on utilisera alors une technique d'exécution adaptée.

Nous recommandons des diamètres de pieux supérieurs ou égaux à 400 mm, pour diminuer les risques de flambement et de striction, à vérifier au stade G2 PRO.

Construction des fondations :

La technique d'exécution retenue devra permettre d'atteindre les fiches et niveaux d'assise demandés en tenant compte de la résistance du substratum schisteux et des possibles passages très médiocres dans les limons schisteux.

En cas de refus de pieux FTC, cela se traduira par la réalisation d'avant trou à l'aide d'un BRH à moins de 5 m de profondeur ou le carottage des horizons compacts à plus de 5 m de profondeur.

Le trépannage des pieux est proscrit compte tenu de la présence d'ouvrages mitoyens à proximité du projet.

Compte tenu de la présence de remblais de surface (avant et après démolition des existants), on prévoira la réalisation possible d'avant-trous à la pelle mécanique munie d'un brise roche hydraulique afin de s'affranchir des remblais indurés pouvant être rencontrés dans les horizons de surface. Dans ce cas, on prévoira le comblement de ces avant-trous avec un matériau sablo-graveleux soigneusement compacté avant la foration.

Afin d'éviter la prise en compte d'un effet de groupe pour les pieux, on respectera une distance entraxe supérieure à trois fois le diamètre du pieu utilisé.

On veillera à ne pas circuler avec les engins à proximité des pieux fraîchement bétonnés afin d'éviter l'apparition d'efforts horizontaux venant cisailer les fondations.

Au droit du site où les sols seront remaniés (par la démolition des existants ou l'essouchage des arbres, il sera alors nécessaire de prévoir une piste de chantier (plateforme de travail) dimensionnée de façon adaptée et pouvant assurer la stabilité et la traficabilité de la machine de pieux.

1. Assise de dallage sur terre-plein

Le dallage des bâtiments avec sous-sol pourra être réalisé sur terre-plein en prévoyant la réalisation d'une couche de forme en bons matériaux, sous réserve qu'une étude hydrogéologique en valide le principe au préalable (cf. paragraphe 2.3).

Etant donné la destination du bâtiment, on cherchera à asseoir le dallage sur une plateforme de type PF2 ($EV2 > 50$ MPa), avec $k_w > 50$ MPa/m (cf. DTU I3.3).

2. Dispositions constructives

Le dallage du sous-sol pourra être réalisé sur terre-plein, en prévoyant :

- le terrassement du sous-sol et le soutènement des fouilles,
- la purge des remblais ou des sols remaniés par les terrassements et des sols altérés par les intempéries,
- un géotextile anticontaminant et antipoinçonnant,
- un drainage périphérique et sous dallage permettant d'assurer la pérennité de la portance de plate-forme et, dans le cas d'une exigence d'étanchéité peu contraignante, des parois verticales drainantes et un drainage sous dallage raccordés à un dispositif de relevage relié à un exutoire (nous rappelons que les matériaux filtrants de granulométrie 20/40 mm par exemple ne rentrent pas en compte pour le calcul de l'épaisseur de la couche de forme),
- la réalisation d'une couche de forme en bons matériaux.

A titre d'exemple, dans le cadre d'une ébauche, pour obtenir une plate-forme d'assise de type PF2 ($K_w \geq 50$ MPa/m et $EV2 \geq 50$ MPa) (Cf. DTU I3.3), on prévoirait une couche de forme sous dallage de **50 cm minimum** constituée de la manière suivante (de haut en bas) :

- 20 cm de GNT 0/31,5 mm
- 30 cm de GNT 0/60 ou 0/80 mm

L'épaisseur finale de la couche de forme dépendra des épaisseurs de purges réalisées et du niveau zéro à atteindre par le dallage.

Le rattrapage des purges sera réalisé par des matériaux de type 0/100 mm (granulométrie maximum) soigneusement compactés.

Les matériaux retenus devront être conformes à la norme NFPI I-300 et en particulier répondre aux exigences suivantes : $VBS < 0,1$ et $MDE < 45$.

3. Caractéristiques des sols supports de dallage à long terme

On trouvera dans le tableau inséré ci-après les caractéristiques à retenir pour le dimensionnement du dallage à partir du DTU 13.3 :

Sol	Profondeur sous le niveau du TN	EM (MPa)	α	Es (MPa)
Couche de forme	0,45	–	–	50
Limon schisteux	8,00	11	1/2	22
Limon schisteux	15,50	20	1/2	40
Micaschiste décomposé	Au-delà	34	1/2	68

α : le coefficient rhéologique du sol (estimé)

EM : le module de déformation pressiométriques de cette couche (mesuré).

On retiendra pour le module de déformation du sol à long terme : $E_s = k \frac{E_M}{\alpha}$

avec k coefficient facteur de la distorsion variant de 1 à 2.

A ce stade on retiendra $k = 1$

4. Contrôle

La plate-forme d'assise des dallages sera contrôlée par des essais à la plaque (3 au minimum) avec un ratio de 1 essai pour 500 m² de plateforme au-delà de 1500 m².

Les critères de réception seront les suivants:

Module de Westergaard : $K_w \geq 50$ MPa/m
Module de 2^{ème} cycle : $EV_2 \geq 50$ MPa
Indice de compactage : $k = EV_2/EV_1 \leq 2,0$

Niveaux bas des bâtiments sans sous-sol

Compte tenu de la dénivellée du sol (de l'ordre de 1,70 m) entre PR6 et PR7, nous recommandons la réalisation d'une **solution de plancher porté par un réseau de longrines** reposant sur les fondations.

Dans ce cas il n'y a pas de couche de forme à prévoir, mais on veillera tout de même à maintenir une portance de plateforme suffisante, à la fois pour permettre aux engins de chantier de travailler dans de bonnes conditions, et également pour préserver la portance des sols constituant l'assise des fondations superficielles.



Vue du sondage PR7 à 33,6 m NGF et des bâtiments mitoyens

Cette solution de dallage permettra d'éviter de remblayer, contre des murs existants qui n'ont pas été calculés pour cela.

Cette zone du projet sera à étudier plus en détail une fois le niveau bas du RDC mieux calé en altitude et les caractéristiques des fondations existantes reconnues.

Précautions vis-à-vis des avoisinants

Le projet sera réalisé à proximité immédiate de bâtiments existants conservés.

Des fouilles de reconnaissance des fondations des avoisinants devront être effectuées après démolition des existants, afin de définir les caractéristiques géométriques des fondations existantes (profondeurs et débords éventuels).

Les fondations projetées seront descendues au minimum à la même profondeur que les fondations existantes.

On évitera tout affouillement des fondations existantes et on mettra en place un système d'étaieement interdisant tout mouvement de la fondation des bâtiments existants en phase chantier comme en phase définitive.

Dans le cas où un dispositif de soutènement ne permettrait pas d'assurer la stabilité des existants, on prévoira de les reprendre en sous-œuvre.

Dans le cas de fondations excentrées pour tenir compte des débords des fondations existantes, on réalisera des longrines en béton armé permettant la reprise en console des murs du projet. Les fondations du nouveau projet seront donc à adapter en fonction des fondations existantes afin d'éviter toute interaction entre celles-ci.

La définition, la réalisation et le contrôle des travaux devront être confiés à des entreprises spécialisées.

On réalisera un joint franc entre le bâtiment existant et le bâtiment projeté.

Nous recommandons vivement, pour l'étude de stabilité, la réalisation d'une mission de type G2_PRO permettant le dimensionnement des ouvrages enterrés (soutènement, reprise en sous-œuvre ...).

I. Protection contre les eaux

Au moment de notre chantier (fin novembre 2018), les niveaux d'eau relevés se situaient en fin de chantier vers 26,9 m NGF dans le piézomètre installé en PR5 uniquement.

Les excavations prévues pour le sous-sol devraient atteindre la cote de 29,0 à 31,8 m NGF, soit actuellement 2,1 cm au-dessus du niveau d'eau relevé fin novembre 2018.

Le niveau d'eau mentionné dans ce rapport est celui observé au moment de notre intervention et ne reflète pas les variations du niveau des infiltrations. Il n'est pas le niveau le plus défavorable que le site puisse connaître.

C'est pourquoi, le suivi dans le temps du niveau dans le piézomètre sera réalisé sur la période hivernale entre décembre 2018 et mai 2019, soit pendant une période de 6 mois pour commencer.

2. Protection contre les eaux en phase définitive de l'ouvrage

Le niveau d'étanchéité visé pour les parties enterrées du sous-sol devra nous être précisé par le maître d'ouvrage.

Ici nous avons étudié le cas où l'étanchéité de la paroi n'est pas obligatoire et des infiltrations limitées peuvent être acceptées par le maître d'ouvrage (à confirmer).

Nous attirons l'attention sur le fait que les eaux souterraines recueillies dans le système de drainage d'un sous-sol ne peuvent être rejetées dans le réseau d'eaux pluviales que sous certaines conditions imposées par la commune.

Dans l'agglomération Nantaise, aucun rejet d'eau direct de drainage n'est toléré vers le réseau public.

Pour répondre à cette interdiction et si le maître d'ouvrage souhaite s'orienter vers un dispositif sans entretien, **on prévoira alors un cuvelage étanche** sur la hauteur concernée par la remontée de la nappe (« cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation » intérieur, ou « cuvelage avec revêtement d'étanchéité » extérieur Cf. NF P 11 221-I, DTU 14.1). On intégrera le phénomène de sous-pressions dans le dimensionnement de l'ouvrage, sur une hauteur à définir par une étude hydrogéologique (définition des niveaux caractéristiques de la nappe).

Une solution alternative consiste à prévoir des murs relativement étanches (à justifier suivant le DTU 14.1 « cuvelage ») et prévoir pour la gestion des eaux souterraines la **mise en œuvre d'un tapis drainant actif** (avec pompe de relevage).

Dans ce cas il faut prévoir une infiltration à la parcelle (ce qui nécessite une étude spécifique visant notamment à préciser la perméabilité des horizons susceptibles d'absorber les eaux de rejet).

Pour réduire les arrivées d'eau dans le tapis drainant (type 20/40 mm situé sous le dallage du niveau bas), il peut être envisagé que le voile extérieur du projet (continu) repose sur une fondation (continue) qui fonctionnera comme une bêche hydraulique (ou à défaut de réaliser, en plus des fondations, une bêche hydraulique spécifique).

Pour les murs, il s'agira d'un cuvelage à structure relativement étanche, qui ne comporte pas de revêtement de cuvelage, ni de drainage périphérique, le gros œuvre arrêtant quasi-totalement les venues d'eau (par la réalisation d'une bêche hydraulique).

Les éventuels suintements d'eau au travers du sous-sol seront repris à partir de l'intérieur du sous-sol par un système de pentes plus prononcées au niveau du parking et par un système de cunettes périphériques reliées à un dispositif de relevage vers un exutoire existant ou à créer. De ce fait il conviendra de tenir compte de la poussée hydrostatique sur le voile sur la hauteur concernée par la remontée de la nappe comptée à partir de la base du voile. L'infiltration à la parcelle des eaux du tapis drainant (moindre) restera à réaliser, comme décrit précédemment.

Attention, cette solution de tapis drainant actif doit impérativement être confirmée par le suivi piézométrique et validée par une étude hydrogéologique qui confirmera les options de rejet des eaux souterraines, pour ce site spécifique.

Remarque :

En cas de réalisation d'un joint de construction ou de dilatation, il faudra mettre en place un joint étanche entre les différentes parties de chaque bâtiment.

Les éventuels suintements d'eau au travers du sous-sol seront repris à partir de l'intérieur du sous-sol, au niveau du parking, par un système de cunettes périphériques reliées à un dispositif de relevage vers un exutoire existant ou à créer.

Dans la solution qui prévoit **un drainage sous dallage (tapis drainant actif)**, et en fonction du suivi piézométrique que nous recommandons de réaliser, on devra s'attendre à un pompage permanent à certaines périodes de l'année.

3. Protection contre les eaux en phase provisoire chantier :

Selon le niveau de la nappe au moment du chantier (niveau à vérifier avant ouverture de la fouille générale dans les piézomètres installés en PR1, PR2 et PR5) des dispositions particulières pourraient s'avérer nécessaires.

Le cas échéant, on prévoira au minimum :

- un système de drainage provisoire permettant de rabattre la nappe sous le niveau du fond de fouille. Ce système de drainage sera réalisé par une technique adaptée dimensionnée et calculée afin de ne pas avoir d'incidence sur les ouvrages mitoyens.
- un pompage adapté avec liaison vers un réseau d'évacuation.

4. Exécution

Démolition :

Il conviendra de purger intégralement le terrain des constructions existantes.

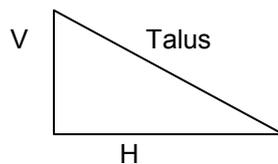
Terrassements :

4.1. Extraction des déblais

Les terrassements généraux seront réalisés en déblais. Ils pourront être réalisés à l'aide d'une pelle mécanique classique, sauf au droit des démolitions où un BRH sera à prévoir en cas de rencontre d'obstacles indurés (anciennes fondations, cuves en béton etc.).

4.2. Pentés de talus pour le sous-sol

Si il y a de la place disponible autour de la fouille et en l'absence d'eau au moment des travaux jusque 29,0 à 31,8 m NGF et de surcharges en tête de talus (mitoyens, murs, installations de chantier...), on pourra retenir pour les pentes de talus les valeurs suivantes à court terme :



Remblais et limons argileux de surface : $H/V \approx 3 / 2$

Limons schisteux : $H/V \approx 3 / 2$

Micaschistes décomposés : $H/V \approx 1 / 1$

On rappellera que la profondeur de la fouille atteindra 3,00 m environ.

Remarque :

Les parois des talus devront être protégées des arrivées d'eau par un polyane (et/ou de filets de protection en cas de blocs instables) et on disposera, en fond de fouille des tranchées drainantes reliées à des pompes de relevage raccordées à un exutoire.

Une cunette sera aussi réalisée en crête de talus et reliée au système d'eaux pluviales, afin de collecter les eaux de ruissellement.

4.3. Soutènement – Blindage - Paramètres intrinsèques :

Il est exclu de réaliser des terrassements en déblais sans assurer la stabilité des parois de fouilles et des ouvrages avoisinants (voiries et murs des parcelles mitoyennes...) par un dispositif approprié limitant les déplacements en phase provisoire comme en phase définitive à des valeurs seuils à définir.

Il conviendra de prévoir un soutènement adéquat, par exemple paroi berlinoise (réalisée avec du béton projeté, ou parement en bois, entre profilés) ou un dispositif similaire adapté au soutènement des terres **hors arrivées d'eau importantes et si le niveau de l'eau est favorable pendant la durée du chantier.**

Cet ouvrage de soutènement devra faire l'objet d'une étude spécifique par un bureau d'étude spécialisé qui devra en évaluer les risques de déformation.

En l'absence d'essais de laboratoire, dans le cas de l'éventuelle réalisation d'un soutènement, nous avons estimé de la façon suivante les caractéristiques intrinsèques à long terme des matériaux rencontrés sur le site :

Type de sol	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Remblai limoneux	18	0	25
Limon schisteux	19	5	25
Micaschiste décomposé	22	10	30

(*) : La cohésion effective apparente s'applique au massif dans son ensemble, hors directions structurales favorables à une cinématique de rupture rocheuse (plans, dièdre, fauchage). Le relevé de fracturation permettant de préciser les conditions cinématiques de mouvement ne peut être fait qu'à l'ouverture des terrassements en pleine masse. Ils sont à réaliser dans le cadre de la G3 de l'entreprise, et à soumettre au visa du géotechnicien en charge de la mission G4 et du contrôleur technique.

Les valeurs des poids volumiques, de cohésion et d'angle de frottement sont fournies à titre indicatif, sur la base des résultats des sondages et essais in-situ.

Nous recommandons vivement, pour l'étude de stabilité, la réalisation d'une mission de type G2_PRO permettant le dimensionnement des ouvrages de soutènement.

I. Résultats des essais en laboratoire

Des échantillons de sols ont été prélevés au droit des futures voiries au droit des sondages RG1, RG2 et RG3 entre 0,50 et 1,00 m de profondeur, pour identification GTR des sols. Les analyses en laboratoire comprennent :

- 2 mesures de la teneur en eau,
- 2 granulométries par tamisage,
- 2 mesures du Limites d'Atterberg,

Les résultats sont repris ci-dessous :

Affaire N° : AN.180351		Nom de l'affaire : NANTES - LOD		Ingénieur d'étude, visa : A.ANDREI		Date : 27/11/2018		Nom : B.JOURDES		RESPONSABLE DU LABORATOIRE : F. BOUTON		Page : 1 / 1																			
Forage	Prof. moyenne (m)	Nature	Wn	p	p _c	p _s	W _L	W _p	I _p	VBS	Ca	CO ₂	D _{max}	Passant à			Proctor		Proctor+IPI		IPI	L _a	M _{U2}	FS	SE	FR	DG	Classification			
			%	T/m ³	T/m ³	T/m ³	%	%	%	(-)	%	mm	50 mm	2 mm	80 µm	63 µm	2 µm	2 mm	80 µm	W _{open}	P _{open}	W _{open}	P _{open}	%	%	%	%	%	%		
Remarques :			*Wn = teneur en eau sur 0,50 (NF P11-306)			*p _c ne peut être calculé uniquement si le matériau < 400µm (NF P94-051)																									
Normes			B4-054 B4-053 B4-052 B4-051 & 32			B4-069 B4-048 B4-056 & 37																									
Nombre d'essais			3			3			3			3			3																
RG1	0.75	Limon sableux	6.6							0.61	12	100.0	84.0	42.8	39.0		84.0	42.8											A1		
RG2	0.75	Limon sableux	10.5							0.66	12	100.0	95.0	56.1	52.3		95.0	56.1											A1		
RG3	0.75	Limon sableux	10.5							0.73	16	100.0	88.1	49.6	44.9		88.1	49.6											A1		

D'après nos observations des sols et les résultats des essais en laboratoire, la plateforme supérieure des terrassements (P.S.T.) est constituée par des sols fins limoneux de type A1 entre 0,50 et 1,00 m de profondeur sous le niveau du terrain actuel, autrement dit des sols **déformables à très déformables et sensibles à l'eau**.

2. Généralités

Sous l'emprise du tracé, les zones de terre végétale, les remblais et limons superficielles seront décapés pour la mise en place de la couche de forme. Les sols remaniés par de quelconques opérations seront purgés.

Les zones où l'humidité des sols ne parviendra pas à être maîtrisée par le drainage seront également purgées.

Les plates-formes devront être réalisées en période hydrique favorable afin de ne pas risquer une perte générale et importante de portance des sols d'assises.

Dans le cas contraire, la portance et la traficabilité de la plate-forme ne permettront pas de réaliser des travaux de terrassement dans de bonnes conditions et nécessiteront immanquablement des travaux supplémentaires afin d'obtenir une portance EV2 de 50 MPa sur la plate-forme finie.

Les fonds de forme devront être refermés dès l'arrivée de la pluie et à la veille des week-ends. On prévoira une forme de pente de 2 % orientée vers une tranchée drainante raccordée à un exutoire.

N'ayant pas renseignement particulier concernant les trafics prévus sur les voiries, nous prendrons l'hypothèse d'un trafic inférieur à 25 Poids Lourds par Jour et par sens (PL / j).

Le dimensionnement des chaussées sera effectué conformément au Guide pour la construction des chaussées à faible trafic du CETE OUEST de 2002, en adoptant une plate-forme support de chaussée de portance PF2- (EV2 \geq 50 MPa).

D'après ce catalogue, les voiries supporteront un trafic de classe t_5 (< 25 PL / j).

3. Réemploi

Les matériaux AI sont des sols fins, peu plastiques, changeant brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

Réemploi des matériaux AI en remblai

Les matériaux de type AI ne sont réutilisables en remblai que dans un état hydrique « m », dans des conditions météorologiques limitées, moyennant un contrôle sévère de la teneur en eau, un compactage adapté à l'état hydrique.

Réemploi des matériaux AI en couche de forme

Les limons supposés de type AI ne pourront pas être réutilisés en couche de forme, puisque sensibles à l'eau. Ou alors dans un état hydrique « h » à « s », après traitement associant de la chaux et/ou des liants hydrauliques des sols limoneux.

La réutilisation des sols en couche de forme ne pourra être possible qu'après la réalisation d'essais en laboratoire complémentaires et spécifiques qui confirmeront ou non que le traitement de ces sols AI est bénéfique. Cette étude de traitement reste à réaliser.

4. Portance et couche de forme

Les matériaux constituant l'assise de la couche de forme (P.S.T.) sont classifiés AI selon le GTR. Ils correspondent à une catégorie de matériaux **déformables à très déformables et sensibles à l'eau.**

Après décapage de la terre végétale, on mettra en œuvre une couche de forme. Celle-ci sera réalisée en matériau d'apport type 0/63 mm, propre, exempt d'argile (VBS \leq 0,1), dur (LA ou MDE < 45), bien gradué et non gélif.

Avec mise en place préalable d'un géotextile, cette couche de forme aurait une épaisseur minimum de 60 cm (ou encore 75 cm sans géotextile). La portance serait alors au moins égale à une portance PF2-.

Tableau 3 - Epaisseurs des couches de forme en matériaux granulaires			
Qualification de la Portance de la P.S.T.	Contexte de réalisation (*)	Epaisseur de C. de F. pour une classe de plate-forme PF2-	Epaisseur de C. de F. pour une classe de plate-forme PF2+
Sols déformables à très déformables	Déblai sans drainage	0,75 m (0,20 m de 0/63 + 0,55 m de 0/150) ou 0,60 m (0,20 m de 0/63 + 0,40 m de 0/150) sur géotextile.	1,00 m (0,20 m de 0/63 + 0,80 m de 0/150) ou 0,85 m (0,20 m de 0/63 + 0,65 m de 0/150) sur géotextile.
	Déblai avec drainage profond	0,60 m (0,20 m de 0/63 + 0,40 m de 0/150) ou 0,50 m de 0/63 sur géotextile.	0,80 m (0,20 m de 0/63 + 0,60 m de 0/150)
Sols peu déformables mais sensibles à l'eau	Déblai sans drainage	0,45 m de 0/63	0,60 m (0,20 m de 0/63 + 0,40 m de 0/150)
	Remblai ou déblai avec drainage	0,30 m de 0/63	0,45 m de 0/63
Sols très peu déformables insensibles à l'eau	Remblai ou déblai.	Couche de réglage de 10 cm d'épaisseur de 0/31,5 ou 0/20.	Couche de réglage de 20 cm d'épaisseur de 0/31,5 ou 0/20. Si EV2 > 120 MPa obtention de PF3

De ce tableau on notera **qu'en cas de drainage latéral profond** de chaque côté de la future voirie alors l'épaisseur de **la couche de forme pourrait être réduite à 50 cm sur géotextile.**

L'épaisseur de la couche de forme devra être plus importante si elle est mise en œuvre lors d'une période défavorable (pluvieuse).

La réalisation de planches d'essais validées par des essais à la plaque permettra d'optimiser l'épaisseur de cette couche de forme à mettre en œuvre au moment des travaux.

La rencontre en phase chantier au niveau de l'arase terrassement d'éléments fortement inhomogènes (blocs de schistes par exemple) nécessiterait la purge de ceux-ci afin d'éviter les phénomènes de point dur.

5. Contrôle

La plate-forme d'assise sera contrôlée par des essais à la plaque (3 au minimum).

Les critères de réception seront les suivants:

- Module de 2^{ème} cycle : $EV_2 \geq 50 \text{ MPa}$
- Indice de compactage : $k = EV_2/EV_1 \leq 2,0$ (à confirmer suivant le type de matériaux mis effectivement en oeuvre)

6. Structures de chaussée

Les structures de chaussée correspondront à une plate-forme de portance PF₂- (module à la plaque compris entre 50 et 80 MPa).

A titre d'exemple, dans le cadre d'une ébauche dimensionnelle, nous proposons les **structures souples** suivantes pour des voiries soumises à un trafic t₅ (structures à mettre en œuvre au-dessus de la couche de forme):

☞ Exemple n° 1 : Structure GNT (Grave Non Traitée ordinaire) :

☞ 6 cm de Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG)

☞ 16 cm de GNT 0/31.5

☞ Exemple n°2 : Structure GB3 (Grave Bitume de classe 3) :

☞ 4 cm Béton Bitumineux Mince (BBM)

☞ 12 cm de GB3

Nous attirons votre attention sur la nécessité de prévoir une structure souple. Les structures rigides de type Béton ou Grave Ciment sont exclues. En effet la présence de remblais sur des épaisseurs variables engendrera des tassements différentiels inévitables. Une structure souple sera mieux adaptée et évitera la formation de cassures nettes. Des rechargements de la chaussée qui se sera déformée seront donc à prévoir localement.

7. Vérification au gel des structures

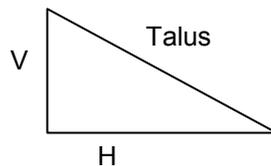
Cette vérification sera à réaliser en phase projet ou par l'entreprise de terrassement une fois la composition précise de la structure connue (épaisseur traitée, structure mise en œuvre).

La nouvelle voirie, elle sera réalisée en déblais, en pente descendante de 4% (sur 67 ml) de 35,01 m NGF à 32,31 m NGF, ce qui générera des talus à réaliser ou des soutènements.

I. Dans le cas de la pente

On prévoira un talutage des pentes périphériques à la future voirie.

En l'absence d'eau et de surcharges en tête de talus (mitoyens, murs, installations de chantier...), on pourra retenir pour les pentes de talus les valeurs suivantes à court terme :



Dans les remblais ou sols remaniés : $H / V \approx 3 / 2$

Dans les limons schisteux : $H / V \approx 3 / 2$

Les parois des talus devront être protégées des intempéries par du polyane ou bien végétalisées.

Une cunette sera réalisée en tête et en pied de talus afin de collecter les eaux de ruissellement, elle devra être raccordée à un exutoire existant ou à créer.

2. Dans le cas des soutènements

Là où il n'y a pas de place pour le talutage, il est exclu de réaliser des terrassements en déblais sans assurer la stabilité des parois de fouilles et des ouvrages avoisinants (murs et clôture des parcelles mitoyennes...) par un dispositif approprié limitant les déplacements en phase provisoire comme en phase définitive à des valeurs seuils à définir.

Il conviendra de prévoir un soutènement adéquat, par exemple paroi berlinoise (réalisée avec du béton projeté entre profilés) ou mur en béton préfabriqué ou un dispositif similaire adapté au soutènement des terres **hors arrivées d'eau importantes et si le niveau de l'eau est favorable pendant la durée du chantier.**

Cet ouvrage de soutènement devra faire l'objet d'une étude spécifique par un bureau d'étude spécialisé qui devra en évaluer les risques de déformation.

Cette étude devra également tenir compte des circulations d'eau qui apparaîtront derrière l'ouvrage de soutènement par un dispositif adapté (massif drainant, drains, barbacanes, nappe drainantes, exutoire etc....).

En l'absence d'essais de laboratoire, dans le cas de l'éventuelle réalisation d'un soutènement, nous avons estimé de la façon suivante les caractéristiques intrinsèques à long terme des matériaux rencontrés sur le site :

Type de sol	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
Remblais	15	0	25
Limon schisteux	19	5	25
Micaschiste compact	22	10	30

Les valeurs des poids volumiques, de cohésion et d'angle de frottement sont fournies à titre indicatif, sur la base des résultats des sondages et essais in-situ.

Nous recommandons vivement, pour l'étude de stabilité, la réalisation d'une mission de type G2_PRO permettant le dimensionnement des ouvrages de soutènement..

Conclusion, aléas résiduels, suite à donner

I. Conclusion

Le présent rapport conclut la mission d'étude géotechnique d'avant-projet G2AVP confiée à Fondasol. Il sera toutefois complété une fois les résultats des essais en laboratoire disponibles.

Nous avons indiqué dans cette étude les recommandations sur les fondations à prévoir pour les ouvrages projetés ainsi que les précautions à prendre lors de la réalisation des travaux de fondations, de terrassement et de dallages, en tenant compte des ouvrages mitoyens.

Un suivi piézométrique mensuel est en cours, qui permettra de préciser les variations du niveau d'eau sur la période hivernale 2018/2019, soit une période de 6 mois pour commencer.

En complément nous recommandons la réalisation d'une étude hydrogéologique pour préciser le mode de gestion des eaux souterraines (définition des niveaux caractéristiques EB, EH, EE, des débits de pompage, du mode de gestion des eaux souterraines) une fois les niveaux de sous-sol mieux définis.

Rappelons que toute modification du projet (superficie, implantation, niveau, conception,...) peut rendre les conclusions de cette étude inadaptées (Cf. Conditions générales d'exploitation du rapport, figurant en annexe de ce document).

2. Aléas résiduels (non exhaustifs)

A ce stade de l'étude plusieurs aléas résiduels ont été identifiés :

- épaisseur de remblai générée après démolition inconnue,
- zone du site non investiguée du fait des constructions existantes,
- la sensibilité des sols limoneux de surface aux variations de teneur en eau. En effet, il s'agit de sols classés AI, d'après les essais en laboratoire réalisés.
- caractéristiques géométriques des fondations avoisinantes existantes inconnues (le long des futures maisons en R+2 par exemple), nécessitant un repérage préalable et des adaptations du projet en conséquence,
- présence d'eau possible à faible profondeur correspondant à des circulations d'eau d'origine météorique dans les remblais de surface ou les sols en place, nécessitant au minimum une pompe de chantier en phase travaux,
- présence de circulations d'eau sans connaissance des fluctuations possibles de la nappe. Un suivi piézométrique et une étude hydrogéologique permettront de confirmer les options étudiées dans ce rapport (débit d'exhaure du tapis drainant, perméabilité des sols de surface ...),
- mesure de l'agressivité des eaux et des sols sur les bétons à prévoir,
- sondages réalisés avant démolition sans possibilité de connaître les épaisseurs de remblais qui seront générées après démolition. Des adaptations du niveau d'assise des fondations et des épaisseurs de couche de forme seront donc à prévoir,

- joint de construction à prévoir entre les parties en fondations superficielles et les parties en fondations profondes,
- des sondages pressiométriques complémentaires profonds seront à réaliser après démolition, si cette solution devait être retenue pour les collectifs en R+6, en cas de descente de charge trop importante.

Fondasol se tient à la disposition du maître d'ouvrage pour effectuer les missions complémentaires qui permettraient de réduire ces aléas.

3. Suite à donner

Conformément à la norme NFP 94-500, les calculs et valeurs dimensionnelles donnés dans le présent rapport en mission G2_AVP ne sont que des ébauches destinées à donner un premier aperçu des sujétions techniques d'exécution et ne constituent pas un dimensionnement du projet.

Selon la norme NF P 94-500, la présente mission G2_AVP doit être suivie d'une mission d'étude géotechnique de projet G2_PRO visant notamment à préciser les points qui demandent une analyse spécifique, notamment :

- d'optimiser et de justifier les choix constructifs, de définir le phasage des travaux et les dispositions particulières,
- d'établir les notes de dimensionnement niveau projet de tous les ouvrages géotechniques (fondations, soutènements, talus, etc...), pour toutes les phases, en fonction des descentes de charges que nous ne connaissons pas au stade G2_AVP,
- d'évaluer les tassements et les déplacements prévisibles des ouvrages enterrés,
- de prendre en compte les éventuels effets des sollicitations sismiques sur la conception des ouvrages géotechniques,
- de préciser les éventuels risques géotechniques résiduels, ainsi que les dispositions constructives à envisager et les études à mener pour les lever,
- de fournir un avis sur les valeurs seuils à respecter.

Rappelons que selon l'enchaînement des missions au sens de la norme NFP 94-500 :

- l'élaboration du projet nécessite une mission géotechnique de type G2_PRO,
- En l'absence de géotechnicien missionné, la mission G2PRO incombe de fait à l'équipe de maîtrise d'œuvre.
- les études géotechniques d'exécution doivent être établies dans le cadre d'une mission G3
- et une mission G4 de supervision géotechnique d'exécution des travaux doit être réalisée.

FONDASOL reste à la disposition du maître d'ouvrage et des autres intervenants, pour participer à toute mission d'assistance technique complémentaire pour la conception des fondations et pour contrôler la bonne adaptation des travaux mis en œuvre aux conditions géotechniques du site.

Le Prestataire n'est pas responsable des délais de fabrication ou d'approvisionnement de fournitures lorsqu'elles font l'objet d'un contrat de négoce passé par le Client ou le Prestataire avec un autre Prestataire.

11. Avertissement, préambule

Toute commande et ses avenants éventuels impliquent de la part du co-contractant, ci-après dénommé « le Client », signataire du contrat et des avenants, acceptation sans réserve des présentes conditions générales.

Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres, sauf conditions particulières contenues dans le devis ou dérogation formelle et explicite. Toute modification de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit du Prestataire.

2. Déclarations obligatoires à la charge du Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)

Dans tous les cas, la responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages publics ou privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à sa mission.

Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles DICT (le délai de réponse est de 15 jours) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.

Conformément à l'article L 411-1 du code minier, le Client s'engage à déclarer à la DREAL tout forage réalisé de plus de 10 m de profondeur. De même, conformément à l'article R 214-1 du code de l'environnement, le Client s'engage à déclarer auprès de la DDT du lieu des travaux les sondages et forages destinés à la recherche, à la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

3. Cadre de la mission, objet et nature des prestations, prestations exclues, limites de la mission

Le terme « prestation » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'un prix nouveau à négocier. Il est entendu que le Prestataire s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Son obligation est une obligation de moyen et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Le Prestataire réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement), confirmée par le bon de commande ou un contrat signé du Client.

La mission et les investigations éventuelles sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.

Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement convenue dans le devis ; dans ce cas, la solidarité ne s'exerce que sur la durée de la mission.

Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil. La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés.

Si le Prestataire déclare être titulaire de la certification ISO 9001, le Client agit de telle sorte que le Prestataire puisse respecter les dispositions de son système qualité dans la réalisation de sa mission.

4. Plans et documents contractuels

Le Prestataire réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité.

5. Limites d'engagement sur les délais

Sauf indication contraire précise, les estimations de délais d'intervention et d'exécution données aux termes du devis ne sauraient engager le Prestataire. Sauf stipulation contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard et si tel devait être le cas elles seraient plafonnées à 5% de la commande. En toute hypothèse, la responsabilité du Prestataire est dérogée de plein droit en cas d'insuffisance des informations fournies par le Client ou si le Client n'a pas respecté ses obligations, en cas de force majeure ou d'événements imprévisibles (notamment la rencontre de sols inattendus, la survenance de circonstances naturelles exceptionnelles) et de manière générale en cas d'événement extérieur au Prestataire modifiant les conditions d'exécution des prestations objet de la commande ou les rendant impossibles.

6. Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public, d'autre part de fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes. Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, entrant dans ces domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée au Prestataire avant toutes interventions.

Sauf spécifications particulières, les travaux permettant l'accessibilité aux points de sondages ou d'essais et l'aménagement des plates-formes ou grutages nécessaires aux matériels utilisés sont à la charge du Client.

Les investigations peuvent entraîner d'inévitables dommages sur le site, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part de son exécutant. Les remises en état, réparations ou indemnisations correspondantes sont à la charge du Client.

7. Implantation, nivellement des sondages

Au cas où l'implantation des sondages est imposée par le Client ou son conseil, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation. La mission ne comprend pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre Expert avant remodelage du terrain. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

8. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

9. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, le Prestataire a été amené à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions.

L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inévitables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte de terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.

L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des missions de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

10. Rapport de mission, réception des travaux, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. La date de la fin de mission est celle de l'approbation par le Client du dernier document à fournir dans le cadre de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au

Client, et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

11. Réserve de propriété, confidentialité, propriété des études, diagrammes

Les coupes de sondages, plans et documents établis par les soins du Prestataire dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par le Prestataire qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire du Prestataire, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable écrit du Prestataire. Si dans le cadre de sa mission, le Prestataire mettait au point une nouvelle technique, celle-ci serait sa propriété. Le Prestataire serait libre de déposer tout brevet s'y rapportant, le Client bénéficiant, dans ce cas, d'une licence non exclusive et non cessible, à titre gratuit et pour le seul ouvrage étudié.

12. Modifications du contenu de la mission en cours de réalisation

La nature des prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le client et ceux recueillis lors de l'établissement de l'offre. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement de son offre touchant à la géologie, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant en cours de mission autorisent le Prestataire à proposer au Client un avenant avec notamment modification des prix et des délais. A défaut d'un accord écrit du Client dans un délai de deux semaines à compter de la réception de la lettre d'adaptation de la mission. Le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution de sa mission, les prestations réalisées à cette date étant rémunérées intégralement, et sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Dans l'hypothèse où le Prestataire est dans l'impossibilité de réaliser les prestations prévues pour une cause qui ne lui est pas imputable, le temps d'immobilisation de ses équipes est rémunéré par le client.

13. Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité du Prestataire et pourra entraîner des poursuites judiciaires. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet et à son environnement ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, nécessite une adaptation du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission.

Le client doit faire actualiser le dernier rapport de mission en cas d'ouverture du chantier plus de 1 an après sa livraison. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

14. conditions d'établissement des prix, variation dans les prix, conditions de paiement, acompte et provision, retenue de garantie

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois. Au-delà, ils sont actualisés par application de l'indice "Sondages et Forages TP 04" pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant celui du mois de l'établissement du devis.

Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur le coût de la mission.

Dans le cas où le marché nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies. Lors de la passation de la commande ou de la signature du contrat, le Prestataire peut exiger un acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières et correspond à un pourcentage du total estimé des honoraires et frais correspondants à l'exécution du contrat. Le montant de cet acompte est déduit de la facture ou du décompte final. En cas de sous-traitance dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.

Les paiements interviennent à réception de la facture et sans escompte. En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité de retard sera exigible sans qu'un rappel soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture.

En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.

Si la carence du Client rend nécessaire un recouvrement contentieux, le Client s'engage à payer, en sus du principal, des frais, dépens et émoluments ordinairement et légalement à sa charge, une indemnité fixée à 15% du montant en principal TTC de la créance avec un minimum de 150 euros et ce, à titre de dommages et intérêts conventionnels et forfaitaires. Cette indemnité est due de plein droit, sans mise en demeure préalable, du seul fait du non-respect de la date.

Un désaccord quelconque ne saurait constituer un motif de non paiement des prestations de la mission réalisées antérieurement. La compensation est formellement exclue : le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue des honoraires dus.

15. Résiliation anticipée

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de conciliation. En cas de force majeure, cas fortuit ou de circonstances indépendantes du Prestataire, celui-ci a la faculté de résilier son contrat sous réserve d'en informer son Client par lettre recommandée avec accusé de réception. En toute hypothèse, en cas d'inexécution par l'une ou l'autre des parties de ses obligations, et 8 jours après la mise en demeure visant la présente clause résolutoire demeurée sans effet, le contrat peut être résilié de plein droit. La résiliation du contrat implique le paiement de l'ensemble des prestations régulièrement exécutées par le Prestataire au jour de la résiliation et en sus, d'une indemnité égale à 20 % des honoraires qui resteraient à percevoir si la mission avait été menée jusqu'à son terme.

16. Répartition des risques, responsabilités et assurances

Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte tenu de sa compétence. Ainsi par exemple, l'attention du Client est attirée sur le fait que le béton armé est inévitablement fissuré, les revêtements appliqués sur ce matériau devant avoir une souplesse suffisante pour s'adapter sans dommage aux variations d'ouverture des fissures. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution de la mission spécifiquement confiée. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la mission doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une mission complémentaire. A défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la mission complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir de données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des prestations est entachée d'une incertitude fonction de la représentativité de ces données ponctuelles extrapolées à l'ensemble du site. Toutes les pénalités et indemnités qui sont prévues au contrat ou dans l'offre remise par le Prestataire ont la nature de dommages et intérêts forfaitaires, libératoires et exclusifs de toute autre sanction ou indemnisation.

Assurance décennale obligatoire

Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-1 du Code des assurances. Ce contrat impose une obligation de déclaration préalable et d'adaptation de la garantie pour les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€. Il est expressément convenu que le client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Le client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Le client prendra en charge toute éventuelle surcotisation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voire inusuels sont exclus du présent contrat et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. A défaut de respecter ces engagements, le client en supportera les conséquences financières.

Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Ouvrages non soumis à l'obligation d'assurance

Les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire qui en référera à son assureur pour détermination des conditions d'assurance. Les limitations relatives au montant des chantiers auxquels le Prestataire participe ne sont pas applicables aux missions portant sur des ouvrages d'infrastructure linéaire, c'est-à-dire routes, voies ferrées, tramway, etc. En revanche, elles demeurent applicables lorsque sur le tracé linéaire, la/les mission(s) de l'assuré porte(nt) sur des ouvrages précis tels que ponts, viaducs, échangeurs, tunnels, tranchées couvertes... En tout état de cause, il appartiendra au client de prendre en charge toute éventuelle surcotisation qui serait demandée au prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le client et le maître d'ouvrage.

Le Prestataire assume les responsabilités qu'il engage par l'exécution de sa mission telle que décrite au présent contrat. A ce titre, il est responsable de ses prestations dont la déféctuosité lui est imputable. Le Prestataire sera garanti en totalité par le Client contre les conséquences de toute recherche en responsabilité dont il serait l'objet du fait de ses prestations, de la part de tiers au présent contrat, le client ne garantissant cependant le Prestataire qu'au delà du montant de responsabilité visé ci-dessous pour le cas des prestations déféctueuses. La responsabilité globale et cumulée du Prestataire au titre ou à l'occasion de l'exécution du contrat sera limitée à trois fois le montant de ses honoraires sans pour autant excéder les garanties délivrées par son assureur, et ce pour les dommages de quelque nature que ce soit et quel qu'en soit le fondement juridique. Il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs ou non à un dommage matériel tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements.

17. Cessibilité de contrat

Le Client reste redevable du paiement de la facture sans pouvoir opposer à quelque titre que ce soit la cession du contrat, la réalisation pour le compte d'autrui, l'existence d'une promesse de porte-fort ou encore l'existence d'une stipulation pour autrui.

18. Litiges

En cas de litige pouvant survenir dans l'application du contrat, seul le droit français est applicable. Seules les juridictions du ressort du siège social du Prestataire sont compétentes, même en cas de demande incidente ou d'appel en garantie ou de pluralité de défendeurs.

Juillet 2014

Enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

Tout ouvrage est en interaction avec son environnement géotechnique. C'est pourquoi, au même titre que les autres ingénieries, l'ingénierie géotechnique est une composante de la maîtrise d'œuvre indispensable à l'étude puis à la réalisation de tout projet.

Le modèle géologique et le contexte géotechnique général d'un site, définis lors d'une mission géotechnique préalable, ne peuvent servir qu'à identifier des risques potentiels liés aux aléas géologiques du site. L'étude de leurs conséquences et de leur réduction éventuelle ne peut être faite que lors d'une mission géotechnique de conception. En effet, les contraintes géotechniques de site sont conditionnées par la nature de l'ouvrage et variables dans le temps, puisque les formations géologiques se comportent différemment en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises (géométrie de l'ouvrage, intensité et durée des efforts, cycles climatiques, procédés de construction, phasage des travaux notamment).

L'ingénierie géotechnique doit donc être associée aux autres ingénieries, à toutes les étapes successives d'étude et de réalisation d'un projet, et ainsi contribuer à une gestion efficace des risques géologiques afin de fiabiliser le délai d'exécution, le coût réel et la qualité des ouvrages géotechniques que comporte le projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions types d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 et 2.

Les éléments de chaque mission sont spécifiés dans les chapitres 7 à 10 (*de la norme*). Les exigences qui y sont présentées sont à respecter pour chacune des missions, en plus des exigences générales décrites au chapitre 5 de la présente norme.

L'objectif de chaque mission, ainsi que ses limites, sont rappelés en tête de chaque chapitre.

Les éléments de la prestation d'investigations géotechniques sont spécifiés au chapitre 6 (*de la norme*).

Tableau 1 - Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Étape	Phase d'avancement du projet	Missions d'ingénierie géotechnique		Objectifs	Prestations d'investigations géotechniques*
Études géotechniques préalables	Étude préliminaire Esquisse APS	Étude géotechnique de site - G1 ES		Spécificités géotechniques du site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
		Étude géotechnique des Principes Généraux de Construction - G1 PGC		Premières adaptations du projet au site	
Études géotechniques de conception	APD/AVP	Étude géotechnique G2 AVP		Définition et comparaison des solutions envisageables	Fonction du site et de la complexité du projet
	PRO	Étude géotechnique G2 PRO		Conception et justifications du projet	Fonction du site et des choix constructifs
	DCE/ACT	Étude géotechnique G2 DCE/ACT		Consultation et choix de l'entreprise de travaux	
Études géotechniques d'exécution	EXE/VISA	Études géotechniques d'exécution G3	Supervision géotechnique des études d'exécution G4	Conformité des études d'exécution	Fonction des méthodes de construction et des adaptations envisagées
	DET/AOR	Suivi géotechnique d'exécution G3	Supervision géotechnique d'exécution G4	Conformité des travaux	Fonction des conditions rencontrées et du comportement des ouvrages
Cas particulier	Diagnostic	Diagnostic géotechnique G5		Influence d'un élément géotechnique sur un ouvrage	Fonction de la spécificité des éléments étudiés
NOTE * À définir par l'ingénierie géotechnique chargée de la mission correspondante.					

« Classification des missions types d'ingénierie géotechnique » en page suivante

Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PRELABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elles sont à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elles comprennent deux phases :

Phase ÉTUDE DE SITE (G1ES)

Réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS, elle permet une première identification des risques géotechniques d'un site :

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser, en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION (G1 PGC)

Réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS elle permet de réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées :

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser, en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à ce stade de l'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels) ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, amélioration de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE CONCEPTION (G2)

Elles permettent l'élaboration des projets des ouvrages géotechniques et réduisent les conséquences des risques géologiques importants identifiés. Elles sont à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et sont réalisées en étroite collaboration avec la maîtrise d'œuvre. Elles comprennent trois phases :

Phase Avant Projet (G2 AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie sur des données géotechniques adaptées :

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser, en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (G2 PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser, en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT (G2 DCE/ACT)

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques :

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel)
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser, en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

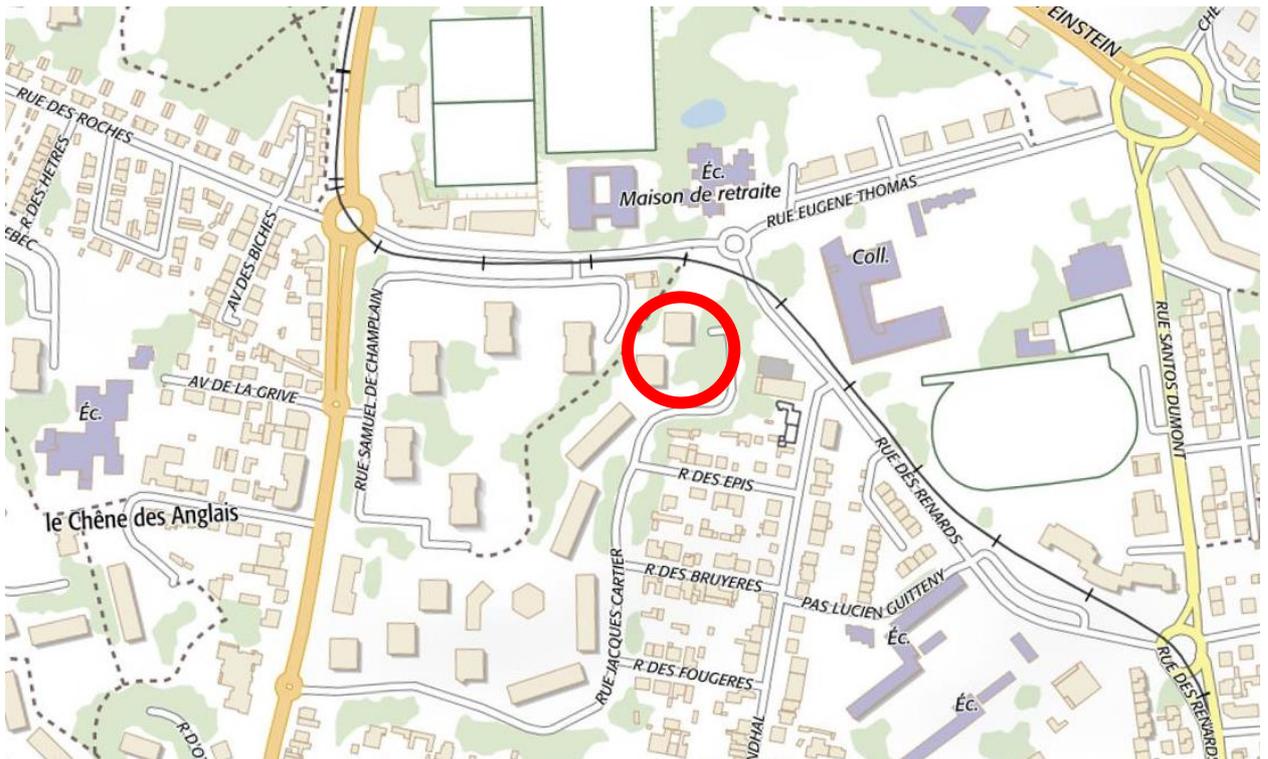
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

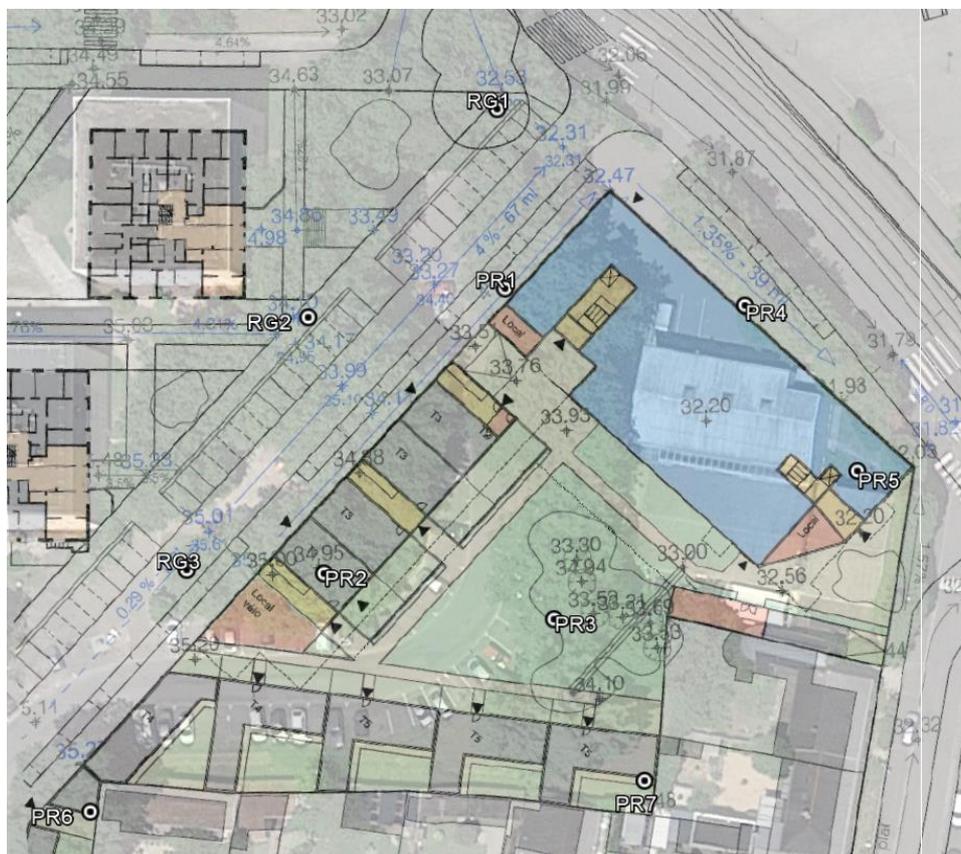
DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

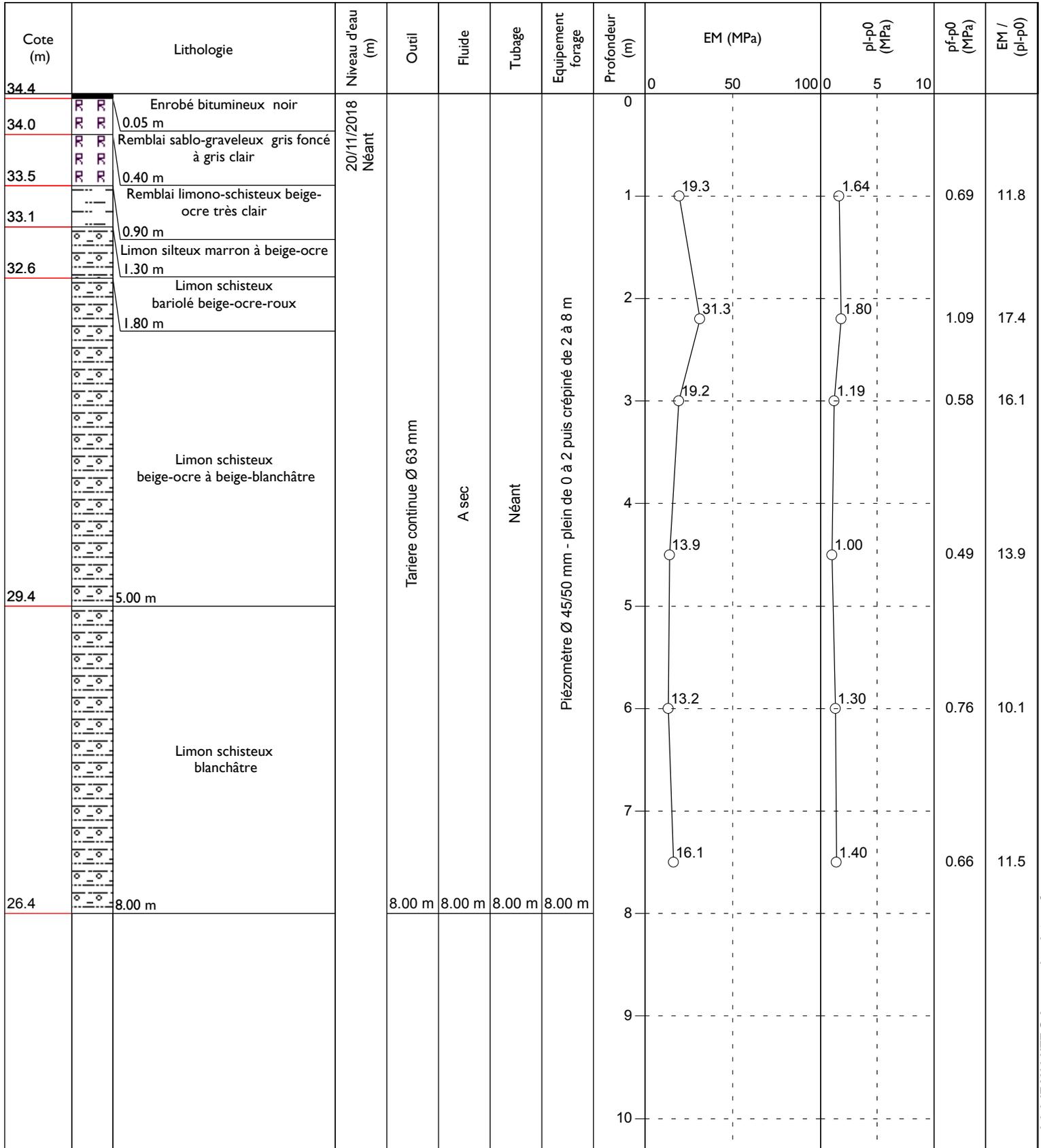
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant :

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



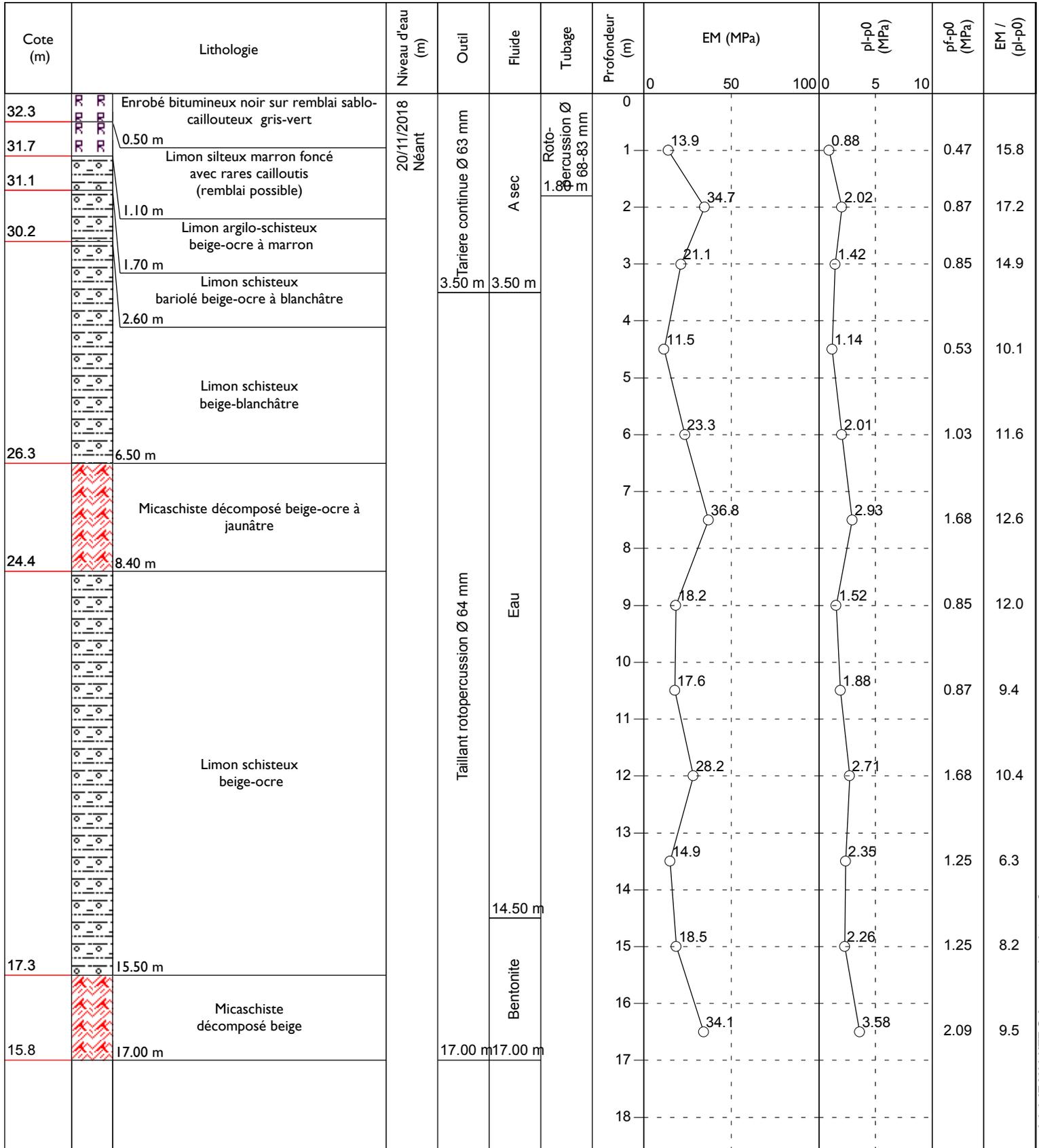


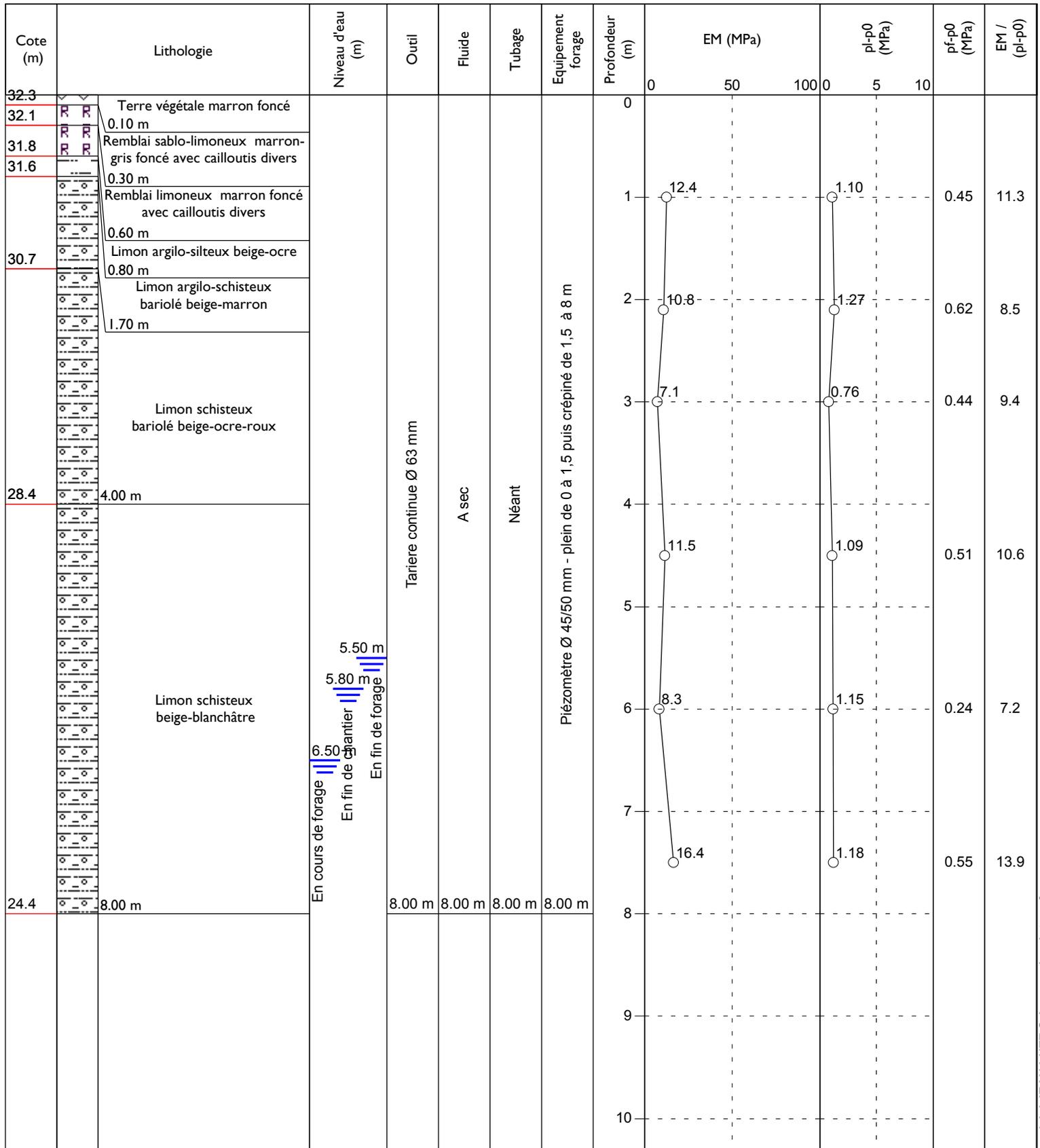




Cote (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Fluide	Tubage	Equipement forage	Profondeur (m)	EM (MPa)		pf-p0 (MPa)	EM / (pf-p0)
								0	50		
35.2	Terre végétale marron foncé avec racines	20/11/2018 Néant	Tariere continue Ø 63 mm	A sec	Néant	Piézomètre Ø 45/50 mm - plein de 0 à 2 puis crépiné de 2 à 8 m	0				
34.9	0.20 m										
	Remblai limono-caillouteux marron foncé avec débris de brique						1	36.7	1.68	1.07	21.8
	0.50 m										
33.7	1.70 m										
	Limon schisteux beige-ocre										
	Limon schisteux beige-ocre-roux										
31.3	4.10 m						2	16.4	0.91	0.57	18.0
	Limon schisteux beige-marron										
							3	15.0	0.95	0.55	15.8
28.9	6.50 m						4				
	Limon schisteux beige-ocre-marron										
							5	23.0	1.36	0.69	16.9
							6	20.8	1.47	0.89	14.1
27.4	8.00 m						7				
	Limon schisteux beige-ocre-marron										
							8	26.5	2.53	1.45	10.5
							9				
							10				

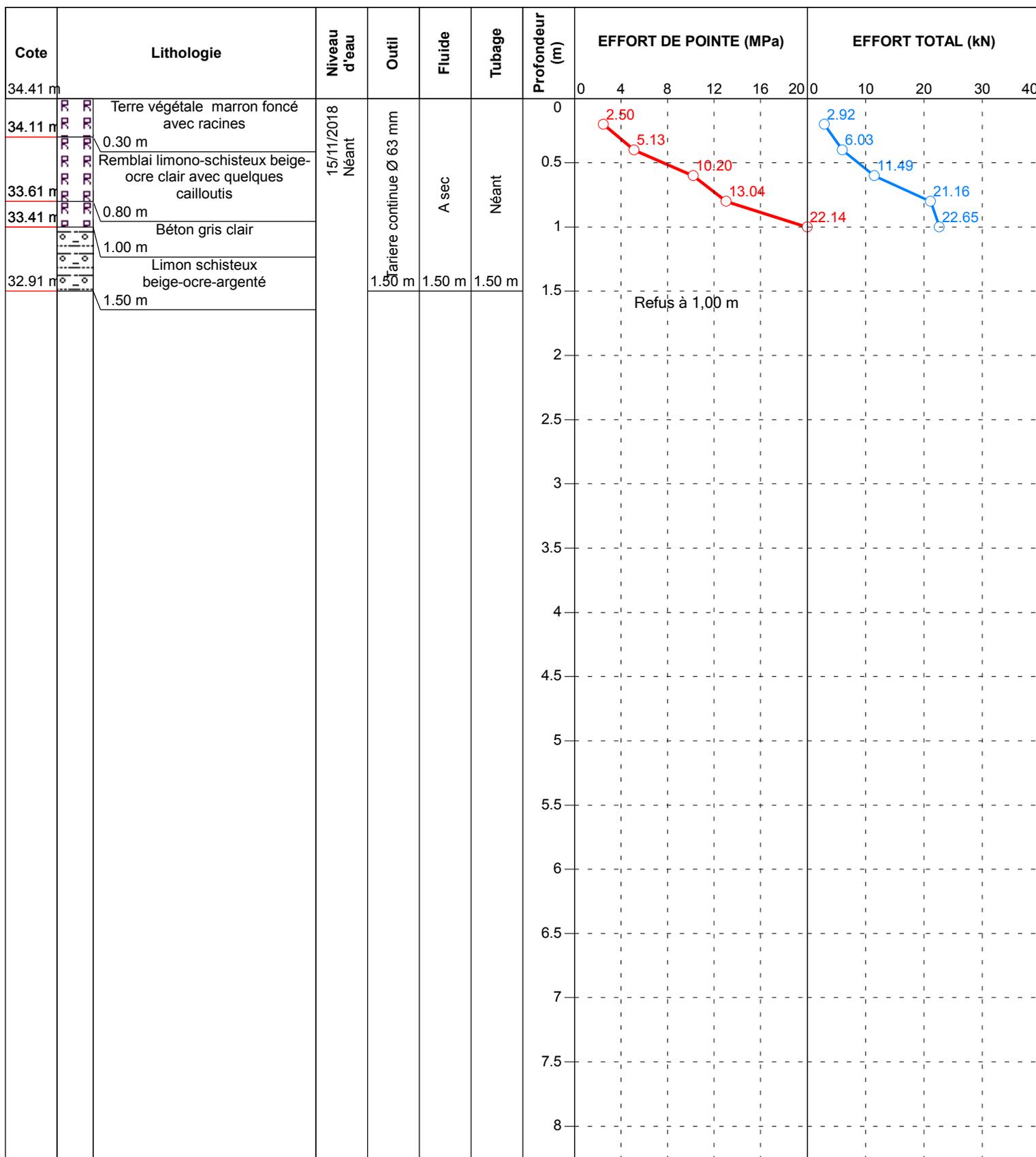
Cote (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Fluide	Tubage	Profondeur (m)	EM (MPa)		pf-p0 (MPa)	EM / (pf-p0)
							0	50		
34.9	Terre végétale marron foncé	14/11/2018 Néant	Tariere continue Ø 63 mm	A sec	Néant	0				
34.6	0.20 m Limon silteux marron foncé avec rares cailloutis (remblai possible)					1	25.5	1.47	0.87	17.3
	0.50 m Limon schisteux beige-ocre avec nombreux cailloutis de schiste					2	18.5	1.41	0.78	13.1
33.5	1.60 m					3	19.0	1.21	0.78	15.7
32.8	2.30 m Limon schisteux marron foncé					4	10.1	0.93	0.49	10.8
32.5	2.60 m Limon schisteux beige-ocre-roux					5	15.5	1.32	0.67	11.7
31.8	3.30 m Limon schisteux beige-ocre à jaunâtre friable					6	10.1	1.34	0.78	7.6
30.3	4.80 m Limon schisteux blanchâtre					7				
29.0	6.10 m Limon schisteux beige-jaunâtre					8				
27.1	8.00 m Limon schisteux beige-blanchâtre					9				
		10								





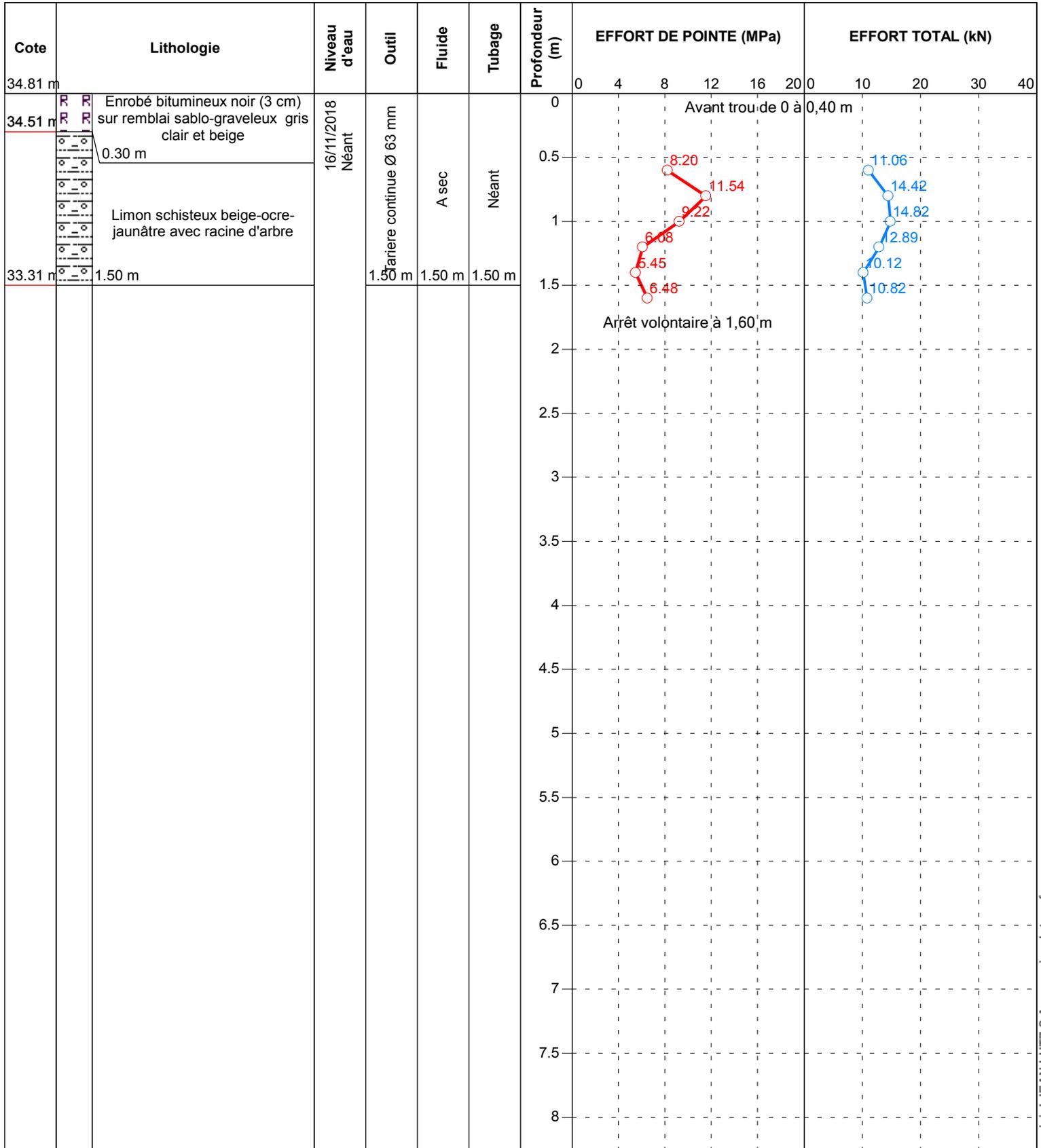
Forage : RG1

EXGTE B3.20.5/GTE



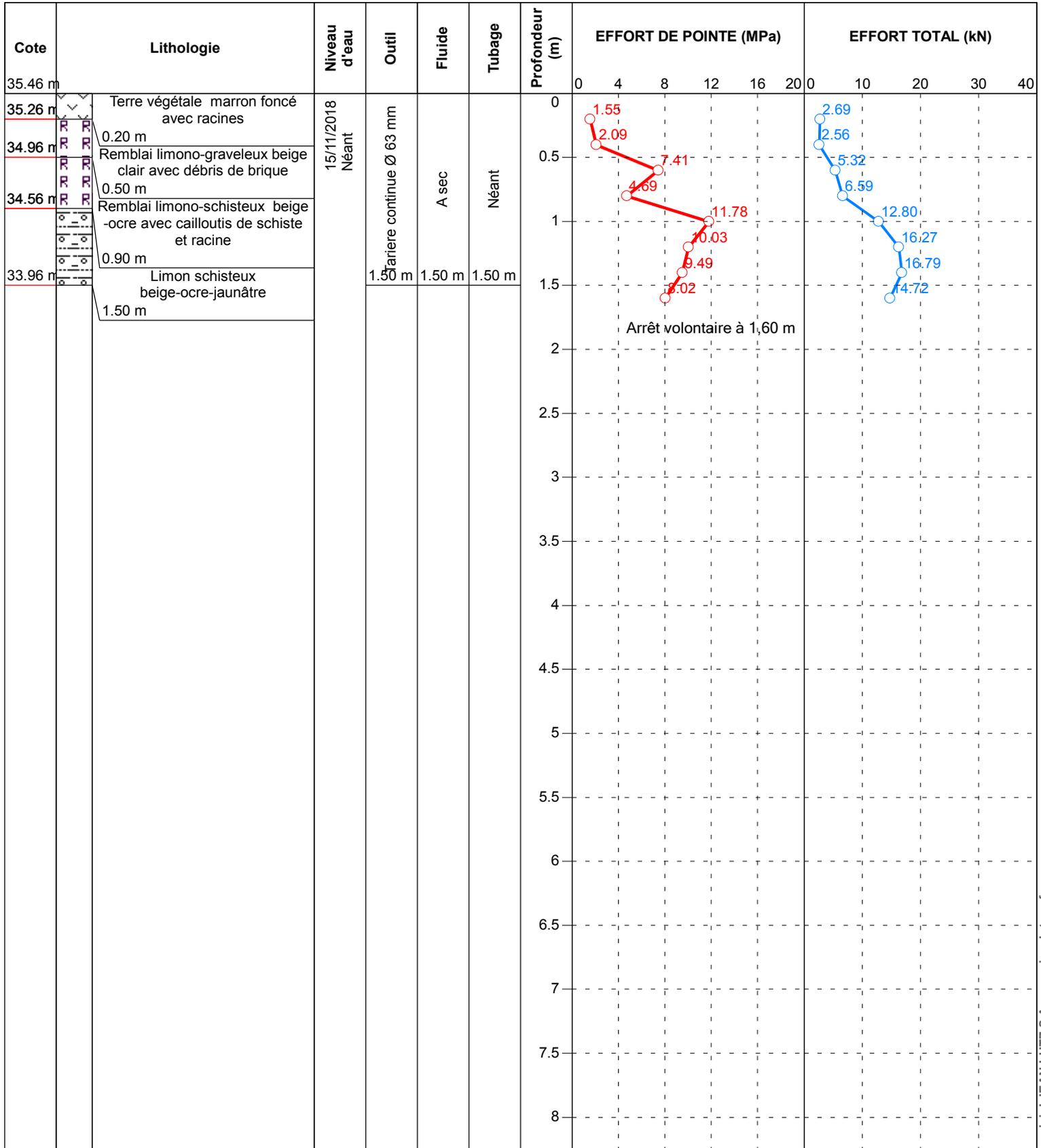
Forage : RG2

EXGTE B3.20.5/GTE



Forage : RG3

EXGTE B3.20.5/GTE



RÉCAPITULATIF D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Affaire N° : AN.180351		Nom de l'affaire : NANTES - LOD			Ingénieur d'étude, visa : A.ANDREI				RESPONSABLE DU LABORATOIRE : F. BOUTON										Page 1 / 1												
Indice mémo :									Date 27/11/2018		Nom B.JOURDES						Visa 														
Forage	Prof. moyenne (m)	Nature	Wn	ρ	ρ _d	ρ _s	W _L	W _p	I _p	VBS	Ca CO ₃	D _{max}	Passant à				Passant à			Proctor		Proctor+IPI		IPI	L _A	M _{DE}	FS	SE	FR	DG	Classification
													50 mm	2 mm	80 μm	63 μm	2 μm	2 mm	80 μm	W _{opn}	ρ _{dopn}	W _{opn}	ρ _{dopn}								
Normes			94-050	94-053	94-053	94-054	94-051 & 52			94-068	94-048	94-056 & 57						94-093					94-078	1097-1	1097-2	18-576	933-8	94-066	94-067	11-300	
Remarques:			*Wn = teneur en eau sur 0/20 (NF P11-300)				*Ic ne peut être calculé uniquement si le matériau < 400μm (NF P94-051)																								
Nombre d'essais			3							3		3	3	3	3																
RG1	0.75	Limon sableux	6.6							0.61		12	100.0	84.0	42.8	39.0		84.0	42.8											A1	
RG2	0.75	Limon sableux	10.5							0.66		12	100.0	95.0	56.1	52.3		95.0	56.1											A1	
RG3	0.75	Limon sableux	10.5							0.73		16	100.0	88.1	49.6	44.9		88.1	49.6											A1	

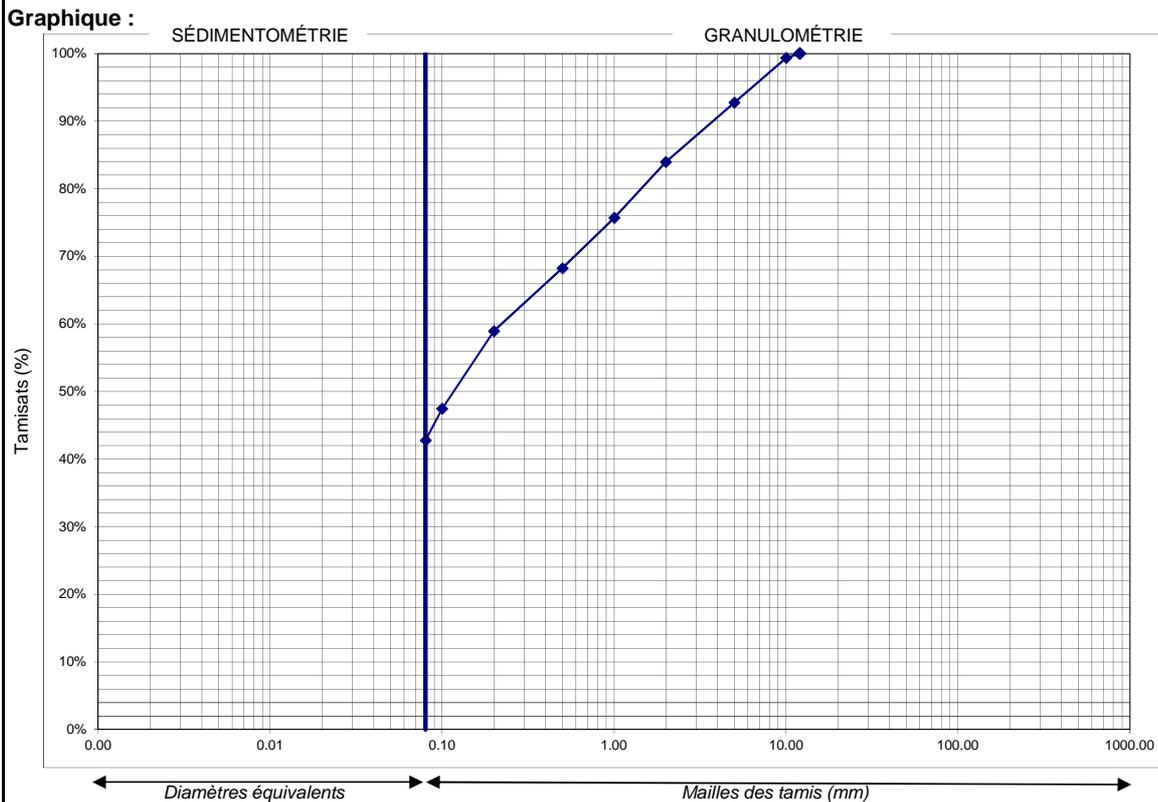
**ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE À SEC
APRÈS LAVAGE ET SÉDIMENTATION**
(réalisé selon les normes NF P 94-056 et NF P 94-057)

Nom de l'affaire : NANTES LOD
N° d'affaire : AN.180351 **Laboratoire :** TOULOUSE

Quantité de matériau Normalisée: OUI
Sondage : RG1 Date d'essai de prélèvement: 15/11/2018
Profondeur (m) : 0.50 à 1.00 m Date d'essai : 26/11/2018
Cote (m) : à m Mode de prélèvement : Pelle mécanique
Profondeur moyenne : 0.75 m Date de réception : 21/11/2018

NATURE DU SOL TESTÉ ET CONDITION D'ESSAI :

Classification NF P 11-300 : A1	Nature du sol selon Classification granulométrique	limon sableux
Nature du sol : Limon sableux	Maille Maximum utilisée ou Diamètre maximum : dm = 20 mm	Température d'étuvage : 105°C
% de passants à : 50 mm = 100.00% 2 mm = 83.95% 20 mm = 100.00% 80 µm = 42.79% 5 mm = 92.74% 2 µm =		% estimé d'éléments > d _m Plus gros élément Dmax = 12 mm



Facteurs d'uniformité Cu : Impossible à déterminer Facteur de courbure Cc : Impossible à déterminer

DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES (NF P 94-056)

Résultats :															
Mailles (X) mm	80	63.0	50	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.08	0.063	
Passant %	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.36	92.74	83.95	75.70	68.25	58.94	47.44	42.79	39.01	
Refus %						0.64	7.26	16.05	24.30	31.75	41.06	52.56	57.21	60.99	

Observations :

IDENTIFICATION D'UN SOL EN LABORATOIRE

Nom de l'affaire : NANTES LOD
N° d'affaire : AN.180351 **Laboratoire :** TOULOUSE

Quantité de matériau Normalisée: OUI
Sondage : RG1 **Date de prélèvement :** 15/11/2018
Profondeur (m) : 0.50 à 1.00 **Date de réception :** 21/11/2018
Cote (m) : à **Mode de prélèvement :** Pelle mécanique
Profondeur moyenne : 0.75 m
Nature matériau : Limon sableux **Étuve (°C)**

x	
105°C	50°C

TENEUR EN EAU PONDÉRALE (NF P 94-050)

Date de l'essai : 22/11/2018

Observations : **Résultat :**
Teneur en eau :
w_n = 6.6 %

MASSE VOLUMIQUE DES SOLS FINS (NF P 94-053) - MÉTHODE D'IMMERSION DANS L'EAU

Date de l'essai : **Résultats :**
Conditions : **ρ =** t/m³
Conditions de conservations : **Autres paramètres :**
Conditions de préparation : immersion dans l'eau **ρ_d =** t/m³
Température de la salle d'essai : °C **γ =** kN/m³
Observations : **γ_d =** kN/m³
Nom de l'opérateur :

LIMITES D'ATTERBERG
Limite de liquidité: Méthode du cône (NF P 94-052-1) et limite de plasticité (NF P 94-051)

Limite de liquidité W_L :

Mesure N°	1	2	3	4
Enfoncement (mm)				
w (%) (NF P 94-050)				

Date de l'essai :

Limite de plasticité W_p :

Mesure N°	1	2	3
w (%) (NF P 94-050)			

Résultats :
W_L = %
W_p = %
I_p =

Observations :

ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE (NF P 94-068)

Date de l'essai : 27/11/2018 **Fraction 0/5mm dans la fraction**
Proportion : C = **92.74**

Observations : **Résultat :**
Valeur de bleu du sol :
VBS = 0.61

ÉQUIVALENT DE SABLE (NF EN 933-8)

Date de réception de l'échantillon : **Résultats :**
Observations : **SE₁ =** %
SE₂ = %
Équivalent de sable :
SE = %

COEFFICIENT DE FRIABILITÉ DES SABLES (NF P 18-576)

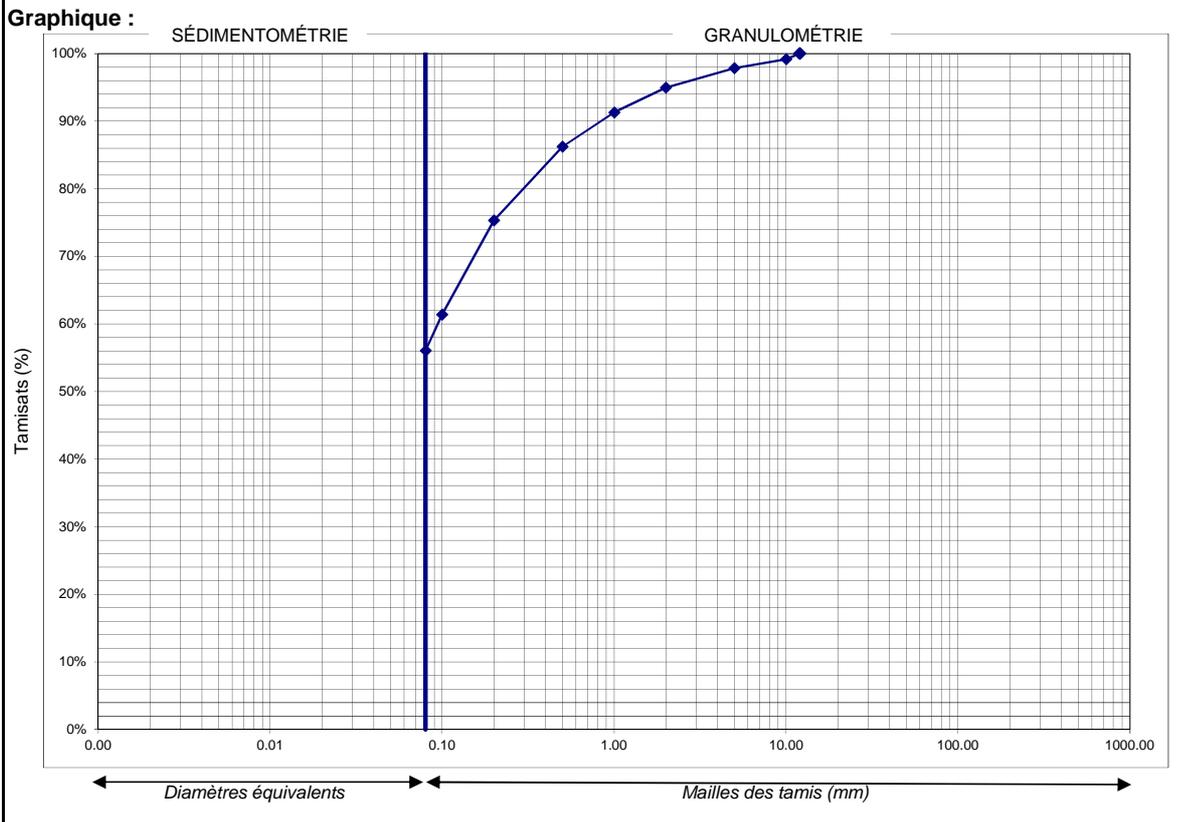
Observations : **Résultat :**
F_s = %

**ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE À SEC
APRÈS LAVAGE ET SÉDIMENTATION**
(réalisé selon les normes NF P 94-056 et NF P 94-057)

Nom de l'affaire :	NANTES LOD		
N° d'affaire :	AN.180351	Laboratoire :	TOULOUSE

Quantité de matériau Normalisée:	non		
Sondage :	RG2	Date d'essai de prélèvement:	15/11/2018
Profondeur (m) :	0.50 à 1.00 m	Date d'essai :	26/11/2018
Cote (m) :	à m	Mode de prélèvement :	Pelle mécanique
Profondeur moyenne :	0.75 m	Date de réception :	21/11/2018

NATURE DU SOL TESTÉ ET CONDITION D'ESSAI :			
Classification NF P 11-300 :	A1	Nature du sol selon Classification granulométrique	limon sableux
Nature du sol :	Limon sableux	Maille Maximum utilisée ou Diamètre maximum : dm = 20 mm	% estimé d'éléments > d_m
% de passant à :			Température d'étuvage : 105°C Plus gros élément Dmax = 12 mm
50 mm = 100.00%	2 mm = 94.96%		
20 mm = 100.00%	80 µm = 56.05%		
5 mm = 97.85%	2 µm =		



Facteurs d'uniformité Cu : Impossible à déterminer | Facteur de courbure Cc : Impossible à déterminer

DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES (NF P 94-056)														
Résultats :														
Mailles (X) mm	80	63.0	50	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.08	0.063
Passant %	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.16	97.85	94.96	91.30	86.21	75.29	61.40	56.05	52.33
Refus %						0.84	2.15	5.04	8.70	13.79	24.71	38.60	43.95	47.67

Observations :

IDENTIFICATION D'UN SOL EN LABORATOIRE

Nom de l'affaire : NANTES LOD
N° d'affaire : AN.180351 **Laboratoire :** TOULOUSE

Quantité de matériau Normalisée: non
Sondage : RG2 **Date de prélèvement :** 15/11/2018
Profondeur (m) : 0.50 à 1.00 **Date de réception :** 21/11/2018
Cote (m) : à **Mode de prélèvement :** Pelle mécanique
Profondeur moyenne : 0.75 m
Nature matériau : Limon sableux **Étuve (°C)**

x	
105°C	50°C

TENEUR EN EAU PONDÉRALE (NF P 94-050)
Date de l'essai : 22/11/2018
Observations : **Résultat :**
Teneur en eau :
w_n = 10.5 %

MASSE VOLUMIQUE DES SOLS FINS (NF P 94-053) - MÉTHODE D'IMMERSION DANS L'EAU
Date de l'essai : **Résultats :**
Conditions : **ρ = t/m³**
Conditions de conservations : **Autres paramètres :**
Conditions de préparation : immersion dans l'eau **ρ_d = t/m³**
Température de la salle d'essai : °C **γ = kN/m³**
Observations : **γ_d = kN/m³**
Nom de l'opérateur :

LIMITES D'ATTERBERG
Limite de liquidité: Méthode du cône (NF P 94-052-1) et limite de plasticité (NF P 94-051)
Limite de liquidité W_L :

Mesure N°	1	2	3	4
Enfoncement (mm)				
w (%) (NF P 94-050)				

Date de l'essai :
Limite de plasticité W_p :

Mesure N°	1	2	3
w (%) (NF P 94-050)			

Résultats :
W_L = %
W_p = %
I_p =
Observations :

ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE (NF P 94-068)
Date de l'essai : 26/11/2018 **Fraction 0/5mm dans la fraction**
Proportion : C = **97.85**
Observations : **Résultat :**
Valeur de bleu du sol :
VBS = 0.66

ÉQUIVALENT DE SABLE (NF EN 933-8)
Date de réception de l'échantillon : **Résultats :**
Observations : **SE₁ = %**
SE₂ = %
Équivalent de sable :
SE = %

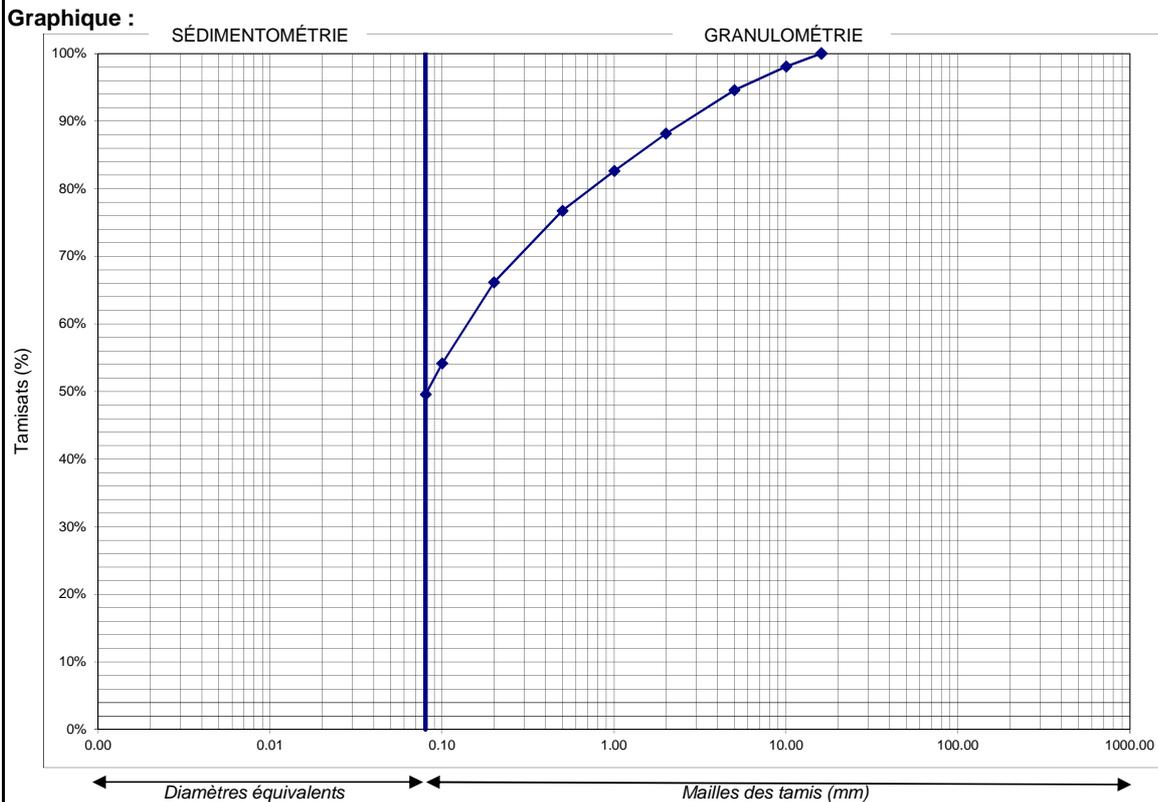
COEFFICIENT DE FRIABILITÉ DES SABLES (NF P 18-576)
Observations : **Résultat :**
F_s = %

**ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE À SEC
APRÈS LAVAGE ET SÉDIMENTATION**
(réalisé selon les normes NF P 94-056 et NF P 94-057)

Nom de l'affaire :	NANTES LOD		
N° d'affaire :	AN.180351	Laboratoire :	TOULOUSE

Quantité de matériau Normalisée:	non		
Sondage :	RG3	Date d'essai de prélèvement:	15/11/2018
Profondeur (m) :	0.50 à 1.00 m	Date d'essai :	26/11/2018
Cote (m) :	à m	Mode de prélèvement :	Pelle mécanique
Profondeur moyenne :	0.75 m	Date de réception :	21/11/2018

NATURE DU SOL TESTÉ ET CONDITION D'ESSAI :			
Classification NF P 11-300 :	A1	Nature du sol selon Classification granulométrique	limon sableux
Nature du sol :	Limon sableux	Maille Maximum utilisée ou Diamètre maximum : dm = 20 mm	Température d'étuvage : 105°C
% de passant à :			% estimé d'éléments > d _m
50 mm = 100.00%	2 mm = 88.15%		Plus gros élément Dmax = 16 mm
20 mm = 100.00%	80 µm = 49.55%		
5 mm = 94.58%	2 µm =		



Facteurs d'uniformité Cu : Impossible à déterminer | Facteur de courbure Cc : Impossible à déterminer

DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES (NF P 94-056)

Résultats :														
Mailles (X) mm	80	63.0	50	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.08	0.063
Passant %	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.09	94.58	88.15	82.63	76.75	66.16	54.15	49.55	44.92
Refus %						1.91	5.42	11.85	17.37	23.25	33.84	45.85	50.45	55.08

Observations :

IDENTIFICATION D'UN SOL EN LABORATOIRE

Nom de l'affaire : NANTES LOD
N° d'affaire : AN.180351 **Laboratoire :** TOULOUSE

Quantité de matériau Normalisée: non
Sondage : RG3 **Date de prélèvement :** 15/11/2018
Profondeur (m) : 0.50 à 1.00 **Date de réception :** 21/11/2018
Cote (m) : à **Mode de prélèvement :** Pelle mécanique
Profondeur moyenne : 0.75 m
Nature matériau : Limon sableux **Étuve (°C)**

x	
105°C	50°C

TENEUR EN EAU PONDÉRALE (NF P 94-050)
Date de l'essai : 22/11/2018
Observations : **Résultat :**
Teneur en eau :
w_n = 10.5 %

MASSE VOLUMIQUE DES SOLS FINS (NF P 94-053) - MÉTHODE D'IMMERSION DANS L'EAU
Date de l'essai : **Résultats :**
Conditions : **ρ =** t/m³
Conditions de conservations : **Autres paramètres :**
Conditions de préparation : immersion dans l'eau **ρ_d =** t/m³
Température de la salle d'essai : °C **γ =** kN/m³
Observations : **γ_d =** kN/m³
Nom de l'opérateur :

LIMITES D'ATTERBERG
Limite de liquidité: Méthode du cône (NF P 94-052-1) et limite de plasticité (NF P 94-051)
Limite de liquidité W_L :

Mesure N°	1	2	3	4
Enfoncement (mm)				
w (%) (NF P 94-050)				

Date de l'essai :
Limite de plasticité W_p :

Mesure N°	1	2	3
w (%) (NF P 94-050)			

Résultats :
W_L = %
W_p = %
I_p =
Observations :

ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE (NF P 94-068)
Date de l'essai : 26/11/2018 **Fraction 0/5mm dans la fraction**
Proportion : C = **94.58**
Observations : **Résultat :**
Valeur de bleu du sol :
VBS = 0.73

ÉQUIVALENT DE SABLE (NF EN 933-8)
Date de réception de l'échantillon : **Résultats :**
Observations : **SE₁ =** %
SE₂ = %
Équivalent de sable :
SE = %

COEFFICIENT DE FRIABILITÉ DES SABLES (NF P 18-576)
Observations : **Résultat :**
F_s = %

Calcul d'une fondation superficielle selon l'Eurocode 7

I - Contrainte de calcul sous charge verticale centré

I.1 - Contrainte nette du terrain sous la fondation superficielle

Selon la norme NF P 94-261, la contrainte de rupture du sol nette a pour expression :

$$q_{net} = k_p \cdot P_{le}^* \cdot i\delta \cdot i\beta \quad \text{ou} \quad q_{net} = k_c \cdot q_{ce} \cdot i\delta \cdot i\beta$$

(méthode pressiométrique) (méthode pénétrométrique)

Avec :

k_p, k_c : facteurs de portance

P_{le}^* : pression limite nette équivalente

q_{ce} : résistance de pointe équivalente

$i\delta$: coefficient de réduction lié à l'inclinaison du chargement

$i\beta$: coefficient de réduction lié à la proximité d' un talus

les valeurs de $i\delta$ et $i\beta$ sont données dans l'annexe D de la norme ,elles sont égales à 1 pour une charge verticale et un terrain plat

I.2 - Contrainte caractéristique du terrain sous la fondation superficielle

La contrainte caractéristique verticale $q_{v;k}$ est déduite de q_{net} par application d'un coefficient de modèle $\gamma_{R;d,v}$ égal à 1,2.

$$q_{v;k} = \frac{q_{net}}{1.2}$$

I.3 - Contrainte de calcul

On note :

q_d : contrainte sous fondation relative aux charges de structure, poids du béton de fondation compris

q_0 : contrainte verticale effective dans le sol au niveau de la base de la fondation en faisant abstraction de celle-ci

La contrainte de calcul doit vérifier :

aux Etats Limites Ultimes $q_d - q_0 \leq \frac{q_{v;k}}{1.4} = q_{v;d}$

aux Etats Limites de Service $q_d - q_0 \leq \frac{q_{v;k}}{2,3} = q_{v;d}$

2 - Tassements par la méthode pressiométrique

Selon l'annexe H de la norme P94-261, le tassement final d'une fondation s'exprime par la relation :

$$sf = \left(\frac{\alpha_c B \lambda_c}{E_c} + \frac{2B_0}{E_d} \left(\lambda_d \frac{B}{B_0} \right)^{\alpha_d} \right) \frac{(q' - \sigma'_{v0})}{9}$$

Où :

E_c, E_d : modules pressiométriques représentatifs de la couche compressible située sous la fondation (E_c : domaine sphérique, E_d : domaine déviatorique)

α_c, α_d : coefficients rhéologiques dans les domaines sphérique et déviatorique

λ_c, λ_d : coefficients de forme fonction du rapport L/B

où : L = Longueur de semelle

B = Largeur de semelle

B_0 : largeur de référence égale à 0.60 m

σ'_{v0} : contrainte verticale effective dans le sol au niveau de la base de la fondation avant travaux

q' : contrainte verticale moyenne, calculée à l'ELS quasi-permanent, appliquée au sol par la fondation

Les valeurs de calcul de E_c et E_d sont calculées conformément à l'annexe H de la norme P94-261.

Calcul d'une fondation profonde selon l'Eurocode 7

I – Principes de calcul

La capacité portante des pieux s'exprime à partir de l'effort mobilisable à la base R_b et de celui mobilisable en frottement axial R_s , à partir des relations suivantes :

I.1 – Terme de pointe :

- Méthode pressiométrique :

$$R_b = A_b \times k_p \times p_{le}^* \quad (p_{le}^* : \text{pression limite nette équivalente})$$

- Méthode pénétrométrique :

$$R_b = A_b \times k_c \times q_{ce} \quad (q_{ce} : \text{résistance de pointe équivalente})$$

I.2 – Terme de frottement axial :

$$R_s = P_s \int_0^D q_s(z) \times dz$$

On définit ensuite les valeurs caractéristiques de pointe et de frottement :

$$R_{b;k} = \frac{R_b}{\gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}}$$

$$R_{s;k} = \frac{R_s}{\gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}}$$

Puis, les valeurs de calcul :

$$\text{E.L.U:} \quad R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

$$\text{E.L.S:} \quad R_{c;cr;k} = 0.5 R_{b;k} + 0.7 R_{s;k} \quad (\text{charge de fluage})$$

Pour les pieux réalisés sans refoulement.

$$R_{c;cr;k} = 0.7 R_{b;k} + 0.7 R_{s;k} \quad (\text{charge de fluage})$$

Pour les pieux réalisés avec refoulement.

$$R_{c;cr;d} = \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}} \quad (\text{charge de service})$$

2 – Coefficients de modèle

$\gamma_{R;d1}$ et $\gamma_{R;d2}$ sont des coefficients de modèle dépendant de la méthode d'évaluation utilisée et du type de pieux réalisé.

2.1 – Méthode pressiométrique

	Procédure du « pieu modèle » (utilisation des coefficients ξ ou de l'annexe D de la norme NF EN 1990)		Procédure du « modèle de terrain »	
	$\gamma_{R;d1}$ Compression	$\gamma_{R;d1}$ Traction	$\gamma_{R;d2}$ Compression	$\gamma_{R;d2}$ Traction
Pieux non ancrés dans la craie de classe 1 à 7 hors pieux de catégorie 10 et 15	1,15	1,4	1,1	
Pieux ancrés dans la craie de classe 1 à 7 hors pieux de catégorie 10, 15, 17, 18, 19 et 20	1,4	1,7		
Pieux de catégorie 10, 15, 17, 18, 19 et 20	2,0	2,0		

2.2 – Méthode pénétrométrique

	Procédure du « pieu modèle » (utilisation des coefficients ξ ou de l'annexe D de la norme NF EN 1990)		Procédure du « modèle de terrain »	
	$\gamma_{R;d1}$ Compression	$\gamma_{R;d1}$ Traction	$\gamma_{R;d2}$ Compression	$\gamma_{R;d2}$ Traction
Pieux non ancrés dans la craie de classe 1 à 7 hors pieux de catégorie 10 et 15	1,18	1,45	1,1	
Pieux ancrés dans la craie de classe 1 à 7 hors pieux de catégorie 10, 15, 17, 18, 19 et 20	1,45	1,75		
Pieux de catégorie 10, 15, 17, 18, 19 et 20	2,0	2,0		

3 – Coefficients partiels

Les coefficients dépendent de la classe et de la catégorie du pieu :

	Compression	Traction
γ_b, γ_s ELU durables et transitoires	1,1	1,15
γ_b, γ_s ELU accidentels	1,0	1,05
γ_{cr} ELS caractéristiques	0,9	1,1
γ_{cr} ELS quasi-permanent	1,1	1,5

Cartographie du potentiel radon

La cartographie du potentiel du radon des formations géologiques établie par l'IRSN conduit à classer les communes en 3 catégories :

Catégorie 1

Les communes à potentiel radon de catégorie 1 sont celles localisées sur les formations géologiques présentant les teneurs en uranium les plus faibles. Ces formations correspondent notamment aux formations calcaires, sableuses et argileuses constitutives des grands bassins sédimentaires (bassin parisien, bassin aquitain) et à des formations volcaniques basaltiques (massif central, Polynésie française, Antilles...).

Dans les communes à potentiel radon de catégorie 1, une grande majorité de bâtiments présente des concentrations en radon faibles. Les résultats de la campagne nationale de mesure en France métropolitaine montrent ainsi que seulement 20% des bâtiments dépassent 100 Bq.m-3 et moins de 2% dépassent 400 Bq.m-3.

Catégorie 2

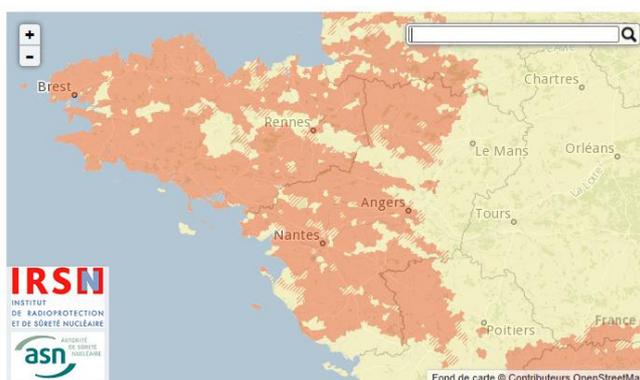
Les communes à potentiel radon de catégorie 2 sont celles localisées sur des formations géologiques présentant des teneurs en uranium faibles mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments.

Les communes concernées sont notamment celles recoupées par des failles importantes ou dont le sous-sol abrite des ouvrages miniers souterrains... Ces conditions géologiques particulières peuvent localement faciliter le transport du radon depuis la roche jusqu'à la surface du sol et ainsi augmenter la probabilité de concentrations élevées dans les bâtiments.

Catégorie 3

Les communes à potentiel radon de catégorie 3 sont celles localisées sur les formations géologiques présentant des teneurs en uranium les plus élevées. Les formations concernées sont notamment celles constitutives des grands massifs granitiques français (massif armoricain, massif central, Guyane française...), certaines formations volcaniques (massif central, Polynésie française, Mayotte...) mais également certains grès et schistes noirs.

Dans les communes à potentiel radon de catégorie 3, la proportion des bâtiments présentant des concentrations en radon élevées est plus importante que dans le reste du territoire. Les résultats de la campagne nationale de mesure en France métropolitaine montrent ainsi que plus de 40% des bâtiments de ces communes dépassent 100 Bq.m-3 et plus de 6% dépassent 400 Bq.m-3.



Depuis 2002 et 2008, la réglementation française oblige **certaines ERP** (écoles, établissements sanitaires et sociaux...) et **lieux de travail souterrains** (grottes, voies de stationnement et de circulation...), situés dans les **31 départements identifiés comme prioritaires**, à mesurer leur concentration en radon. Les mesures doivent être réalisées par des professionnels agréés, et conformément aux normes en vigueur. Et si cette valeur est supérieure à 400 Bq/m³, à mettre en oeuvre des actions de remédiation, c'est-à-dire des travaux visant à réduire la teneur en radon.

Concernant l'habitat, un décret est en cours d'adoption, qui devrait rendre obligatoire le dépistage chez les particuliers. Le seuil retenu est différent (300 Bq/m³), sur la base des dernières recommandations internationales. Le Haut Conseil de santé publique (HCSP) a donné un avis favorable en mars 2010 au seuil de 300 Bq/m³ retenu par la DGS pour l'habitat et les lieux ouverts au public.

Ingénieur chargé d'affaire :
antoine.andrei@fondasol.fr

Agence de Nantes
12 rue Léon Gaumont
44700 Orvault
T : 02 51 77 86 50
F : 02 51 78 65 15



fondasol

TERRITOIRE(S) D'EXIGENCE

www.fondasol.fr



MA-GEO

PROJET DE RENOUVELLEMENT URBAIN DE NANTES NORD

▲ **Diagnostic écologique, Définition des enjeux, des impacts et des mesures**

Octobre 2020



BIBLIOGRAPHIE

ABBAYES H. (DES), CLAUSTRES G., CORILLION R. & DUPONT P., 1971. - *Flore et végétation du Massif armoricain. I. Flore vasculaire*. Presses universitaires de Bretagne, Saint-Brieuc, 1226 p.

ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2009. - Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénope) ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 544 pages.

BARATAUD M., 2014. - Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. 2ème éd. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaire et biodiversité), 344 pages.

BENSETTITI F., BIRET F., ROLAND J. & LACOSTE J.-P. (COORD.), 2004. - « Cahiers d'habitats » Natura 2000. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers*. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 399 p.

BENSETTITI F., GAUDILLAT V. & HAURY J. (COORD.), 2002. - « Cahiers d'habitats » Natura 2000. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3 - Habitats humides*. MATE/MAP/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 457 p.

BRETAGNE VIVANTE - SEPNEB, 2014. - Atlas des Amphibiens et des Reptiles de Bretagne et de Loire-Atlantique. Penn ar Bed n°216/217/218, 200 pages.

BUORD M., DAVID J., GARRIN M., ILIOU B., JOUANNIC J., PASCO PIERRE-YVES & WIZA S. (coord.), 2017. - Atlas des papillons diurnes de Bretagne. Locus Solus, Lopérec, 324 pages.

CSRPN, 2015. - Liste rouge régionale et responsabilité biologique régionale des Reptiles et Batraciens de Bretagne.

CSRPN, 2015. Liste rouge régionale et Responsabilité biologique régionale. Oiseaux nicheurs et migrateurs de Bretagne. www.observatoire-biodiversite-bretagne.fr

DELASSUS L., MAGNANON S., COLASSE V., GLEMAREC E., GUITTON H., LAURENT É., THOMASSIN G., BIRET F., CATTEAU E., CLEMENT B., DIQUELOU S., FELZINES J.-C., FOUCAULT B. DE, GAUBERVILLE C., GAUDILLAT V., GUILLEVIC Y., HAURY J., ROYER J.-M., VALLET J., GESLIN J., GORET M., HARDEGEN M., LACROIX P., REIMRINGER K., WAYMEL J. & ZAMBETTAKIS C., 2014. - *Classification phytosociologique et phytosociologique des végétations de Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire*. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, Les cahiers scientifiques et techniques 1, 262 p.

DORTEL F., 2018 – UNE NOUVELLE LISTE DES PLANTES VASCULAIRES DETERMINANTES POUR LA REGION DES PAYS DE LA LOIRE : METHODE ET LISTE APPROUVEES PAR LE CSRPN DU 13/06/2018. DREAL PAYS DE LA LOIRE, NANTES : CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE BREST, 15 P.+ ANNEXES

DORTEL F., GESLIN J., 2016 - LISTE DES PLANTES VASCULAIRES INVASIVES DES PAYS DE LA LOIRE. LISTE 2015. DREAL PAYS DE LA LOIRE. BREST : CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE BREST, 36 P., 3 ANNEXES.

DORTEL F., MAGNANON S., BRINDEJONC O., 2015 - LISTE ROUGE DE LA FLORE VASCULAIRE DES PAYS DE LA LOIRE - EVALUATION DES MENACES SELON LA METHODOLOGIE ET LA DEMARCHE DE L'UICN : DOCUMENT VALIDE PAR L'UICN LE 21/10/2015 ET PAR LE CSRPN LE 26/11/2015. DREAL PAYS DE LA LOIRE /REGION DES PAYS DE LA LOIRE. BREST : CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE BREST, 53P. & ANNEXES

DUBOS T., 2016. - Observatoire des Chauves-souris de Bretagne. Bilan final, 35 pages.

DULAC P., 2016. Le suivi des oiseaux communs en Pays de la Loire (STOC-EPS). Analyse des données 2001-2015. Ligue pour la Protection des Oiseaux Pays de la Loire, Conseil régional Pays de la Loire, Angers, 73 pages.

GOB (coord.), 2012. Atlas des oiseaux nicheurs de Bretagne. Groupe ornithologique breton, Bretagne vivante-SEPNB, LPO 44, Groupe d'études ornithologiques des Côtes-d'Armor, Delachaux et Niestlé. 512 p.
Dubois P.-J., Le Maréchal P., Olioso G. et Yésou P. (2008). Nouvel inventaire des oiseaux de France. Delachaux et Niestlé, Paris. 560 p.

GRAND D. & BOUDOT J-P., 2006. - Les libellules de France, Belgique et Luxembourg. Collection Parthénope, éditions Biotope.

GRECIA, 1999. - Liste des espèces déterminantes ZNIEFF provisoire de Bretagne.

GRECIA, 2004. - Les invertébrés continentaux de Bretagne. Edition Biotope, 144 pages.

GMB, 2015. - Atlas des mammifères de Bretagne. Ed. Locus Solus, 304 pages.

GUITTON H., 2015 -

HARDEGEN M., 2014 – Inventaire et cartographie de la végétation en espaces naturels. Eléments pour la rédaction d'un cahier des charges pour la cartographie de la végétation des sites Natura 2000 et des Espaces naturels sensibles de Bretagne. Conservatoire botanique national de Brest. Brest : Conservatoire botanique national de Brest. 25 p & annexes.

HAURY J. & CLERGEAU PH., 2014 - *Espèces invasives en Bretagne. Plantes et vertébrés continentaux.* Agrocampus Ouest / MNHN. Région Bretagne. 144 p.

JIGUET F., 2012 - 100 Oiseaux rares et menacés de France. Ed. Delachaux & Niestlé, MNHN, Paris, France. 222 p.

JIGUET F., 2016 - Les résultats nationaux du programme STOC de 1989 à 2015.

www.vigienature.mnhn.fr

KERBIRIOU C. ET AL., 2015 - Vigie-Chiro : 9 ans de suivi des tendances des espèces communes. Symbiose, nouvelle série n°34 & 35, 4 pages.

LAFRANCHIS T., 2000. - Les papillons de jour de France, Belgique et Luxembourg et leurs chenilles. Collection Parthénope, éditions Biotope.

LACROIX P., LE BAIL J., BRINDEJONC O., 2009. – Liste « rouge » départementale des plantes vasculaires rares et/ou en regression en Loire-Atlantique. Conservatoire Botanique National de Brest, Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien, Région des Pays de la Loire, 49 pages + annexes.

LE GARFF B. (coord.), 2014. - Atlas des Amphibiens et des Reptiles de Bretagne et de Loire-Atlantique. Penn Ar Bed n°216, 217, 218, Bulletin naturaliste de Bretagne Vivante société pour l'étude et la protection de la nature en Bretagne, 200 pages.

MARCHADOUR B. (COORD.), 2009 - Mammifères, Amphibiens et Reptiles prioritaires en Pays de la Loire. Coordination régionale LPO Pays de la Loire, Conseil régional des Pays de la Loire, 125 pages.

MULLER S. (COORD.) 2004. - *Plantes invasives en France.* Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 168 p.

PROVOST M., 2013. - *Flore vasculaire de Basse-Normandie. Tome 1*. Presses Universitaires de Caen. Broché. 410 p.

REGION DES PAYS DE LA LOIRE, 2019. GUIDE TECHNIQUE « UNE NAISSANCE, UN ARBRE »

SARDET E. & DEFAUT B. (coord.), 2004. - « Liste rouge nationale et listes rouges par domaines biogéographiques des orthoptères de France ».

SORDELLO R., COMOLET-TIRMAN J., DE MASSARY J.C., DUPONT P., HAFFNER P., ROGEON G., SIBLET J.P., TOUROULT J., TROUVILLIEZ J., 2011. Trame verte et bleue – Critères nationaux de cohérence – Contribution à la définition du critère sur les espèces. Rapport MNHN-SPN. 57 p.

SOCIETE BOTANIQUE DE FRANCE (COORD. TISON J.-M. & DE FOUCAULT B.), 2014. - *Flora Gallica - Flore complète de la France*. Éditions Biotope, 1195 p.

UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016. La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine. Paris, France.

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des espèces floristiques observées sur l'aire d'étude en 2019 et 2020

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Acer campestre</i> L. subsp. <i>campestre</i>	Érable champêtre, Acéaille	
<i>Acer negundo</i> L.	Érable negundo, Érable frêne, Érable Négondo	x
<i>Acer platanoides</i> L.	Érable plane, Plane	
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Érable sycomore, Grand Érable	
<i>Achillea millefolium</i> L. subsp. <i>millefolium</i>	Achillée millefeuille, Herbe au charpentier, Sourcils-de-Vénus	
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Marronnier d'Inde, Marronnier commun	x
<i>Agrimonia eupatoria</i> L.	Aigremoine, Francormier	
<i>Agrostis capillaris</i> L.	Agrostide capillaire	
<i>Agrostis stolonifera</i> L. subsp. <i>stolonifera</i>	Agrostide stolonifère	
<i>Aira caryophyllea</i> L.	Canche caryophyllée	
<i>Ajuga reptans</i> L.	Bugle rampante, Consyre moyenne	
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	Arbre à soies	x
<i>Alcea rosea</i> L.	Rose trémière, Passerose	
<i>Allium</i> sp.	Ail sp.	
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Aulne glutineux, Verne	
<i>Alopecurus pratensis</i> L. subsp. <i>pratensis</i>	Vulpin des prés	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amarante réfléchie, Amaranthe à racine rouge, Blé rouge	
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Mouron rouge, Fausse Morgeline	
<i>Angelica sylvestris</i> L.	Angélique sauvage, Angélique sylvestre, Impérateur sauvage	
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	Flouve odorante	
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	Cerfeuil des bois, Persil des bois	
<i>Aphanes microcarpa</i> (Boiss. & Reut.) Rothm.	Alchémille à petites graines	
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	Arabette de thalius, Arabette des dames	
<i>Araucaria</i> sp.	Araucaria	
<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.	Bardane à petites têtes, Bardane à petits capitules	
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl	Fromental élevé, Ray-grass français	
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Armoise commune, Herbe de feu	
<i>Arum italicum</i> Mill.	Gouet d'Italie, Pied-de-veau	
<i>Arum maculatum</i> L.	Gouet tacheté, Chandelle	
<i>Asplenium scolopendrium</i> L.	Scolopendre, Scolopendre officinale	
<i>Atriplex prostrata</i> Boucher ex DC.	Arroche hastée	
<i>Avena barbata</i> Pott ex Link subsp. <i>barbata</i>	Avoine barbue	
<i>Bellis perennis</i> L. subsp. <i>perennis</i>	Pâquerette	
<i>Betula pendula</i> Roth	Bouleau verruqueux	
<i>Betula</i> sp.	Bouleau	
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	Brome mou	
<i>Bromus willdenowii</i> Kunth	Brome faux Uniola, Brome purgatif	
<i>Bryonia dioica</i> Jacq.	Racine-vierge	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Buddleja davidii</i> Franch.	Buddleja du père David, Arbre à papillon, Arbre aux papillons	
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Callune, Béruée	
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R.Br.	Liset, Liseron des haies	
<i>Campanula rapunculus</i> L.	Campanule raiponce	
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.)	Bourse-à-pasteur	
<i>Cardamine hirsuta</i> L.	Cardamine hérissée, Cresson de muraille	
<i>Carex divulsa</i> Stokes	Laîche écartée	
<i>Carex ovalis</i> Gooden.	Laîche Patte-de-lièvre, Laîche des lièvres	
<i>Carex remota</i> L.	Laîche espacée	
<i>Carex spicata / muricata</i> subsp. <i>lamprocarpa</i>	Laîche sp.	
<i>Carpinus betulus</i> L.	Charme, Charmille	
<i>Castanea sativa</i> Mill.	Chataignier, Châtaignier commun	
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	Catalpa, Arbre aux haricots	x
<i>Cedrus libani</i> A.Rich.	Cèdre du Liban, Cèdre du mont Liban	x
<i>Centaurea</i> sp.	Centaurée	
<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC. subsp. <i>ruber</i>	Valériane rouge	
<i>Cerastium fontanum</i> Baumg.	Céraiste commune	
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	Céraiste aggloméré	
<i>Chelidonium majus</i> L.	Grande chélidoine, Herbe à la verrue, Éclair	
<i>Chenopodium album</i> L.	Chénopode blanc, Senousse	
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Cirse des champs, Chardon des champs	
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Cirse commun, Cirse à feuilles lancéolées, Cirse lancéolé	
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret	Conopode dénudé, Grand Conopode	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Liseron des champs, Vrillée	
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Conyze du Canada	
<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E.Walker	Vergerette de Barcelone	
<i>Cornus sanguinea</i> L. subsp. <i>sanguinea</i>	Sanguine	
<i>Coronopus didymus</i> (L.) Sm.	Corne-de-cerf didyme	
<i>Corylus avellana</i> L.	Noisetier, Avelinier	
<i>Cotoneaster</i> sp.	Cotoneaster	
<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	Crépide capillaire, Crépis à tiges capillaires	
<i>Cymbalaria muralis</i> P.Gaertn., B.Mey. & Scherb.	Cymbalaire, Ruine de Rome, Cymbalaire des murs	
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Genêt à balai, Juniesse	
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Dactyle aggloméré, Pied-de-poule	
<i>Daucus carota</i> L.	Carotte sauvage, Daucus carotte	
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Digitaire sanguine, Digitaire commune	
<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray	Dryoptéris dilaté, Fougère dilatée	
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	Fougère mâle	
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	Chiendent commun, Chiendent rampant	
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Épilobe hérissé, Épilobe hirsute	
<i>Epilobium lanceolatum</i> Sebast. & Mauri	Épilobe à feuilles lancéolées	
<i>Epilobium tetragonum</i> L. subsp. <i>tetragonum</i>	Épilobe à quatre angles	
<i>Epipactis helleborine</i> (L.) Crantz	Épipactis à larges feuilles, Elléborine à larges feuilles	
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	Vergerette de Karvinski	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér.	Érodium à feuilles de cigue, Bec de grue, Cicutaire	
<i>Erodium moschatum</i> (L.) L'Hér.	Bec de Cigogne musqué, Bec-de-grue musqué	
<i>Euphorbia amygdaloides</i> L. subsp. <i>amygdaloides</i>	Herbe à la faux	
<i>Euphorbia peplus</i> L.	Euphorbe omblette, Essule ronde	
<i>Fagus sylvatica</i> L.	Hêtre	
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Fétuque Roseau	
<i>Frangula alnus</i> Mill.	Bourgène	
<i>Fraxinus excelsior</i> L. subsp. <i>excelsior</i>	Frêne élevé, Frêne commun	
<i>Fumaria muralis</i> Sond. ex W.D.J.Koch subsp. <i>muralis</i>	Fumeterre des murs	
<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumeterre officinale, Herbe à la veuve	
<i>Galium aparine</i> L.	Gaillet gratteron, Herbe collante	
<i>Galium mollugo</i> L.	Gaillet commun, Gaillet Mollugine	
<i>Galium palustre</i> L.	Gaillet des marais	
<i>Geranium dissectum</i> L.	Géranium découpé, Géranium à feuilles découpées	
<i>Geranium molle</i> L.	Géranium à feuilles molles	
<i>Geranium purpureum</i> Vill.	Géranium pourpre	
<i>Geranium robertianum</i> L.	Herbe à Robert	
<i>Geum urbanum</i> L.	Benoîte commune, Herbe de saint Benoît	
<i>Glechoma hederacea</i> L.	Lierre terrestre, Gléchome Lierre terrestre	
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Févier d'Amérique	x
<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R.Br.	Glycérie flottante, Manne de Pologne	
<i>Hedera helix</i> L.	Lierre grimpant, Herbe de saint Jean	
<i>Heracleum sphondylium</i> L.	Patte d'ours, Berce commune, Grande Berce	
<i>Hieracium pilosella</i> L.	Piloselle	
<i>Holcus lanatus</i> L.	Houlque laineuse, Blanchard	
<i>Hordeum murinum</i> L.	Orge sauvage, Orge Queue-de-rat	
<i>Hypericum humifusum</i> L.	Millepertuis couché, Petit Millepertuis	
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Millepertuis perforé, Herbe de la Saint-Jean	
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	Porcelle enracinée	
<i>Ilex aquifolium</i> L.	Houx	
<i>Impatiens parviflora</i> DC.	Balsamine à petites fleurs, Impatiente à petites fleurs	
<i>Juglans regia</i> L.	Noyer commun, Calottier	
<i>Juncus bufonius</i> L.	Jonc des crapauds	
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	Jonc aggloméré	
<i>Juncus effusus</i> L.	Jonc épars, Jonc diffus	
<i>Juncus inflexus</i> L.	Jonc glauque	
<i>Lactuca serriola</i> L.	Laitue scariote, Escarole	
<i>Lactuca virosa</i> L.	Laitue vireuse, Laitue sauvage	
<i>Lapsana communis</i> L.	Lampsane commune, Graceline	
<i>Lathyrus nissolia</i> L.	Gesse sans vrille, Gesse de Nissole	
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Gesse des prés	
<i>Laurus nobilis</i> L.	Laurier-sauce	
<i>Leontodon saxatilis</i> Lam.	Liondent faux-pissenlit, Léontodon des rochers	
<i>Lepidium rudérale</i> L.	Passerage des décombres, Passerage rudérale	
<i>Leucanthemum</i> sp.	Marguerite cultivée	
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	Marguerite commune, Leucanthème commun	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Troëne, Raisin de chien	
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	Linaire commune	
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Liquidambar	x
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Liriodendron	x
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Ivraie multiflore, Ray-grass d'Italie	
<i>Lolium perenne</i> L.	Ivraie vivace	
<i>Lonicera periclymenum</i> L.	Chèvrefeuille des bois, Cranquillier	
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Lotier corniculé, Pied de poule, Sabot-de-la-mariée	
<i>Lotus uliginosus</i> Schkuhr	Lotus des marais, Lotier des marais	
<i>Luzula campestris</i> (L.) DC.	Luzule champêtre	
<i>Lychnis flos-cuculi</i> L.	Oeil-de-perdrix	
<i>Lythrum hyssopifolia</i> L.	Salicaire à feuilles d'hyssope, Salicaire à feuilles d'Hysope	
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Salicaire commune, Salicaire pourpre	
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Pommier cultivé	x
<i>Malva neglecta</i> Wallr.	Petite mauve	
<i>Malva sylvestris</i> L.	Mauve sauvage, Mauve sylvestre, Grande mauve	
<i>Matricaria discoidea</i> DC.	Matricaire fausse-camomille, Matricaire discoïde	
<i>Matricaria recutita</i> L.	Matricaire Camomille	
<i>Medicago arabica</i> (L.) Huds.	Luzerne tachetée	
<i>Medicago lupulina</i> L.	Luzerne lupuline, Minette	
<i>Medicago sativa</i> L.	Luzerne cultivée	
<i>Melilotus albus</i> Medik.	Mélicot blanc	
<i>Melissa officinalis</i> L. subsp. <i>officinalis</i>	Mélisse officinale	
<i>Mentha aquatica</i> L.	Menthe aquatique, Baume d'eau, Baume de rivière, Bonhomme de rivière, Menthe rouge, Riolet, Menthe à grenouille	
<i>Mercurialis annua</i> L.	Mercuriale annuelle, Vignette	
<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv.	Sabline à trois nervures, Moehringie à trois nervures	
<i>Morus</i> sp.	Murier cultivé	x
<i>Myosotis arvensis</i> Hill	Myosotis des champs	
<i>Oenanthe crocata</i> L.	Oenanthe safranée	
<i>Oenanthe</i> sp.	Oenanthe	
<i>Ornithopus perpusillus</i> L.	Ornithope délicat, Pied-d'oiseau délicat	
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalis corniculé, Trèfle jaune	
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Coquelicot	
<i>Parietaria judaica</i> L.	Pariétaire des murs, Pariétaire de Judée, Pariétaire diffuse	
<i>Parthenocissus inserta</i> / <i>quinquefolia</i>	Vigne-vierge	
<i>Pastinaca sativa</i> L.	Panais cultivé, Pastinacier	
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud.	Paulownia, Arbre d'Anna Paulowna	x
<i>Phalaris arundinacea</i> L. subsp. <i>arundinacea</i>	Fromenteau	
<i>Phleum pratense</i> L.	Fléole des prés	
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	Roseau, Roseau commun, Roseau à balais	
<i>Picris echioides</i> L.	Picride fausse Vipérine	
<i>Pinus</i> sp.	Pin	x
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pin sylvestre	x
<i>Plantago coronopus</i> L. subsp. <i>coronopus</i>	Plantain Corne-de-cerf	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantain lancéolé, Herbe aux cinq coutures	
<i>Plantago major</i> L.	Plantain majeur, Grand plantain, Plantain à bouquet	
<i>Platanus aceriflora</i>	Platane	x
<i>Poa annua</i> L.	Pâturin annuel	
<i>Poa pratensis</i> L.	Pâturin des prés	
<i>Poa trivialis</i> L. subsp. <i>trivialis</i>	Gazon d'Angleterre	
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Renouée des oiseaux, Renouée Traînage	
<i>Polystichum setiferum</i> (Forssk.) T.Moore ex Woyn.	Polystic à frondes soyeuses, Fougère des fleuristes, Aspidium à cils raides	
<i>Populus nigra</i> L.	Peuplier commun noir, Peuplier noir	x
<i>Populus tremula</i> L.	Peuplier Tremble	
<i>Populus x canadensis</i> Moench	Peuplier du Canada, Peuplier hybride euraméricain	
<i>Potentilla anserina</i> L. subsp. <i>anserina</i>	Potentille des oies	
<i>Potentilla reptans</i> L.	Potentille rampante, Quintefeuille	
<i>Primula veris</i> L. subsp. <i>veris</i>	Bréelle	
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Brunelle commune, Herbe au charpentier	
<i>Prunus avium</i> / <i>cerasus</i>	-	
<i>Prunus laurocerasus</i> L.	Laurier-cerise, Laurier-palme	
<i>Prunus serrulata</i>	Cerisier du Japon	x
<i>Prunus spinosa</i> L.	Épine noire, Prunellier, Pelossier	
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Fougère aigle, Porte-aigle	
<i>Pterocarya fraxinifolia</i> (Poir.) Spach	Noyer du Caucase, Pterocarier à feuilles de frêne, Ptérocaryer du Caucase	
<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh.	Pulicaire dysentérique	
<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>ilex</i>	Chêne vert	x
<i>Quercus pubescens</i> Willd. subsp. <i>pubescens</i>	Chêne pubescent	x
<i>Quercus robur</i> L. subsp. <i>robur</i>	Chêne pédonculé, Gravelin	
<i>Quercus rubra</i> L.	Chêne rouge d'Amérique	x
<i>Ranunculus acris</i> L.	Bouton d'or, Pied-de-coq, Renoncule âcre	
<i>Ranunculus ficaria</i> L.	Ficaire à bulbilles	
<i>Ranunculus repens</i> L.	Renoncule rampante	
<i>Ranunculus sardous</i> Crantz	Renoncule sarde, Sardonie	
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Ravenelle, Radis sauvage	
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	Renouée du Japon	
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Robinier faux-acacia, Carouge	x
<i>Rosa gr. canina</i>	Eglantier	
<i>Rubus caesius</i> L.	Rosier bleue, Ronce à fruits bleus, Ronce bleue	
<i>Rubus</i> sp.	Ronce	
<i>Rumex acetosa</i> L.	Oseille des prés, Rumex oseille	
<i>Rumex acetosella</i> L.	Petite oseille, Oseille des brebis	
<i>Rumex conglomeratus</i> Murray	Patience agglomérée, Oseille agglomérée	
<i>Rumex crispus</i> L.	Patience crépue, Oseille crépue	
<i>Rumex obtusifolius</i> L. subsp. <i>obtusifolius</i>	Patience sauvage	
<i>Rumex pulcher</i> L. subsp. <i>pulcher</i>	Rumex joli	
<i>Rumex sanguineus</i> L.	Patience sanguine	
<i>Ruscus aculeatus</i> L.	Fragon, Petit houx, Buis piquant	
<i>Sagina apetala</i> Ard.	Sagine apétale, Sagine sans pétales	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Sagina procumbens</i> L. subsp. <i>procumbens</i>	Sagine couchée	
<i>Salix alba</i> L.	Saule blanc, Saule commun	
<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Saule à feuilles d'Olivier	
<i>Salix x sepulcralis</i> Simonk.	Saule pleureur	x
<i>Sambucus ebulus</i> L.	Sureau yèble, Herbe à l'aveugle	
<i>Scrophularia auriculata</i> L.	Scrofulaire aquatique, Scrofulaire de Balbis	
<i>Scrophularia nodosa</i> L.	Scrophulaire noueuse	
<i>Senecio jacobaea</i> L.	Herbe de saint Jacques	
<i>Senecio vulgaris</i> L. subsp. <i>vulgaris</i>	Séneçon commun	
<i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.	Compagnon rouge, Robinet rouge	
<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop.	Herbe aux chantres, Sisymbre officinal	
<i>Smyrniolus olusatrum</i> L.	Maceron cultivé	
<i>Solanum dulcamara</i> L.	Douce amère, Bronde	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Laiteron rude, Laiteron piquant	
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Laiteron potager, Laiteron lisse	
<i>Stachys sylvatica</i> L.	Épiaire des bois, Ortie à crapauds	
<i>Stellaria graminea</i> L.	Stellaire graminée	
<i>Stellaria holostea</i> L.	Stellaire holostée	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. subsp. <i>media</i>	Mouron des oiseaux, Morgeline	
<i>Symphytum officinale</i> L. subsp. <i>officinale</i>	Grande consoude	
<i>Tamus communis</i> L.	Sceau de Notre Dame	
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	Tanaisie commune, Sent-bon	
<i>Taraxacum gr. officinale</i>	Pissenlit	
<i>Teucrium scorodonia</i> L. subsp. <i>scorodonia</i>	Germandrée, Saugue des bois, Germandrée Scorodaine	
<i>Thuja plicata</i> D. Don ex Lamb.	Thuya géant, Cèdre de l'Ouest	x
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Tilleul à petites feuilles, Tilleul des bois	
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop. subsp. <i>platyphyllos</i>	Tilleul à grandes feuilles	
<i>Tragopogon porrifolius</i> L. subsp. <i>porrifolius</i>	Salsifis à feuilles de poireau, Salsifis blanc, Salsifis du Midi	
<i>Trifolium campestre</i> Schreb. subsp. <i>campestre</i>	Trèfle champêtre, Trèfle jaune, Trance	
<i>Trifolium dubium</i> Sibth.	Trèfle douteux, Petit Trèfle jaune	
<i>Trifolium pratense</i> L.	Trèfle des prés, Trèfle violet	
<i>Trifolium repens</i> L.	Trèfle rampant, Trèfle blanc, Trèfle de Hollande	
<i>Trifolium subterraneum</i> L.	Trèfle semeur, Trèfle souterrain, Trèfle enterreur	
<i>Ulex europaeus</i> L.	Ajonc d'Europe, Bois jonc, Jonc marin, Vigneau, Landier	
<i>Ulmus minor</i> Mill.	Petit orme, Orme cilié	
<i>Umbilicus rupestris</i> (Salisb.) Dandy	Nombril de vénus, Oreille-d'abbé	
<i>Urtica dioica</i> L.	Ortie dioïque, Grande ortie	
<i>Valerianella locusta</i> (L.) Laterr.	Mache doucette, Mache	
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Molène bouillon-blanc, Herbe de saint Fiacre	
<i>Verbena bonariensis</i> L.	Verveine	
<i>Veronica arvensis</i> L.	Véronique des champs, Velvete sauvage	
<i>Veronica hederifolia</i> L.	Véronique à feuilles de lierre	
<i>Veronica officinalis</i> L.	Véronique officinale, Herbe aux ladres	
<i>Veronica persica</i> Poir.	Véronique de Perse	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce plantée ornementale non indigène
<i>Veronica serpyllifolia</i> L. subsp. <i>serpyllifolia</i>	Véronique à feuilles de Serpolet	
<i>Viburnum opulus</i> L.	Viorne obier, Viorne aquatique	
<i>Vicia cracca</i> L.	Vesce cracca, Jarosse	
<i>Vicia hirsuta</i> (L.) S.F.Gray	Vesce hérissée, Ers velu	
<i>Vicia sativa</i> L.	Vesce cultivée, Poisette	
<i>Vinca minor</i> L.	Petite pervenche, Violette de serpent	
<i>Viola odorata</i> L.	Violette odorante	
<i>Viola riviniana</i> Rchb.	Violette de Rivinus, Violette de rivin	
<i>Vulpia bromoides</i> (L.) S.F.Gray	Vulpie queue-d'écureuil, Vulpie faux Brome	
<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C.Gmel.	Vulpie queue-de-rat, Vulpie Queue-de-souris	

(Les espèces patrimoniales sont indiquées en vert, les espèces considérées comme « invasives avérées » ou « invasives potentielles » sont en rouge)

Annexe 2 : Liste et statuts des espèces d'oiseaux observées sur l'aire d'étude

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Législation nationale	Liste rouge PDL	Statut biologique PDL			Niveau de priorité PDL			Liste rouge France			Statut européen			Statut mondial	
				Nicheur	Hivernant	Migrateur	Nicheur	Hivernant	Migrateur	Nicheur	Hivernant	De passage	Liste rouge Europe	Directive Oiseaux	Berne	Bonn	Liste rouge mondiale
Espèces des milieux forestiers																	
Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	-	-	LC
Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	A3 (1)	LC	N	H	-	B5	-	-	LC	-	-	LC	-	An. 2	-	LC
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 3	-	LC
Mésange huppée	<i>Lophophanes cristatus</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	-	LC	-	An. 2	-	LC
Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	An. 2	-	LC
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	A3 (1)	LC	-	-	-	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	NT	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Sittelle torchepot	<i>Sitta europaea</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	-	LC	-	An. 2	-	LC
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	An. 2	-	LC
Espèces de bocage et de forêts																	
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	A3 (1)	NT	N	H	M	-	-	-	VU	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	NT	-	DD	LC	-	An. 2	-	LC
Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	NA	LC	-	An. 3	-	LC
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Tarin des aulnes	<i>Spinus spinus</i>	A3 (1)	NA	-	H	M	-	-	-	LC	DD	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Espèces des milieux ouverts et semi-ouverts																	
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	A3 (1)	EN	NR	H	M	B2	-	-	VU	DD	NA	NT	-	An. 2	-	NT
Espèces des milieux aquatiques																	
Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	An. 2	-	LC
Oiseaux côtiers et marins																	
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	NT	LC	NA	LC	-	An. 3	-	LC
Rapaces																	
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	A3 (1)	LC	N	HR	M	-	-	-	NT	NA	NA	LC	-	An. 2	An. 2	LC
Espèces des milieux bâtis																	
Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	An. 2	-	LC
Choucas des tours	<i>Corvus monedula</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	-	-	LC
Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbica</i>	A3 (1)	LC	N	-	M	B4	-	-	NT	-	DD	LC	-	An. 2	-	LC
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	A3 (1)	LC	N	-	M	-	-	-	NT	-	DD	LC	-	An. 3	-	LC
Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	NA	LC	-	-	-	LC
Pie bavarde	<i>Pica pica</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	-	LC	-	-	-	LC
Pigeon biset domestique	<i>Columba livia</i>	A3 (1)	LC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LC	-	An. 3	-	-
Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Serin cini	<i>Serinus serinus</i>	A3 (1)	NT	N	H	M	-	-	-	VU	-	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Tourterelle turque	<i>Streptopelia decaocto</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	NA	LC	-	An. 3	-	LC
Verdier d'Europe	<i>Chloris chloris</i>	A3 (1)	NT	-	-	-	-	-	-	VU	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Espèces ubiquistes																	
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	An. 2	-	LC
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	-	LC	-	-	-	LC
Étourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	A3 (2)	LC	-	-	-	-	-	-	LC	LC	NA	LC	-	-	-	LC
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Merle noir	<i>Turdus merula</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 3	-	LC
Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	-	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 2	-	LC
Pic vert	<i>Picus viridis</i>	A3 (1)	LC	N	H	-	B4	-	-	LC	-	-	LC	-	An. 2	-	LC
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	A3 (2)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	LC	NA	LC	-	-	-	LC
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	A3 (1)	LC	N	H	M	-	-	-	LC	NA	NA	LC	-	An. 3	-	LC

Législation nationale : Art.3(1) : Arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. Art.3(2) : Arrêté du 29 octobre 2009 relatif à la protection et à la commercialisation de certaines espèces d'oiseaux sur le territoire national.

Liste rouge des oiseaux nicheurs Pays de la Loire : EN : En danger. VU : Vulnérable. NT : Quasi-menacée. LC : Préoccupation mineure. DD : Données insuffisantes. NA : Non applicable.

Marchadour B., Beaudoin J.-C., Beslot E., Boileau N., Montfort D., Raitière W., Tavenon D. & Yésou P., 2014. Liste rouge des populations d'oiseaux nicheurs des Pays de la Loire. Coordination régionale LPO Pays de la Loire, Bouchemaine, 24 p.

Niveaux et catégories de priorité Pays de la Loire : Niveaux de priorité : **En rouge** : très élevé. **En orange** : élevé. **En vert** : non prioritaire.

Nicheurs : B1 : espèces menacées en Pays de la Loire et dont une part significative de la population biogéographique niche dans la région.
 B2 : espèces menacées en Pays de la Loire et dont une part non significative de la population biogéographique niche dans la région.
 B3 : espèces non menacées en Pays de la Loire mais dont une part significative de la population biogéographique niche dans la région.
 B4 : espèces menacées en Pays de la Loire et dont une part non significative de la population biogéographique niche dans la région.
 B5 : espèces peu communes en Pays de la Loire et menacées du fait de leur rareté (limite d'aire,...). Une part non significative de la population biogéographique niche dans la région.

Hivernants et migrateurs : G1 : espèces menacées et prioritaires en Europe pour lesquelles la région héberge une part significative de la population biogéographique.

G2 : espèces non menacées et non prioritaires en Europe mais pour lesquelles la région héberge une part significative de la population biogéographique.
G3 : espèces menacées et prioritaires en Europe pour lesquelles la région héberge une part non significative de la population biogéographique.
G4 : espèces non menacées et non prioritaires en Europe et pour lesquelles la région héberge une part non significative de la population biogéographique.
MARCHADOUR B. & SÉCHET E. (coord.), 2008. Avifaune prioritaire en Pays de la Loire. Coordination régionale LPO Pays de la Loire, conseil régional des Pays de la Loire, 221 p.
Liste rouge nationale : EN : En danger. VU : Vulnérable. NT : Quasi-menacée. LC : Préoccupation mineure. DD : Données insuffisantes. NA : Non applicable.
UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS (2016). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine. Paris, France.
Liste rouge européenne : EN : En danger. VU : Vulnérable. NT : Quasi-menacée. LC : Préoccupation mineure. DD : Données insuffisantes. NA : Non applicable.
BirdLife International (2015). European Red List of Birds. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities.
Directive Oiseaux : Directive 2009/147/CE du parlement européen et du conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages.
Annexe 1 : espèces faisant l'objet de mesures de conservation spéciale concernant leur habitat, afin d'assurer leur survie et leur reproduction dans leur aire de distribution.
Convention de Berne : Convention de Berne du 19/09/1979 relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. Convention adoptée par la France le 22/08/1990 (Décret n° 90-756).
Annexe 2 : espèces strictement protégées. Annexe 3 : espèces dont l'exploitation est réglementée.
Convention de Bonn : Convention de Bonn du 23/06/1979 relative à la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage. Convention adoptée par la France le 23/10/1990 (Décret n° 90-962).
Annexe 2 : espèces dont l'état de conservation est défavorable.
Liste rouge mondiale: IUCN (2012). 2011 IUCN RED List of Threatened Species. www.iucnredlist.org

Renouée du Japon, de Sakhaline et de Bohème

L'élimination totale des foyers de renouées n'a été que rarement observée. On peut tout de même espérer stabiliser et contrôler leur extension. Une intervention rapide permet de restreindre les moyens à mettre en place pour contrôler cette espèce : plus un foyer de colonisation est traité rapidement, moins il faudra mobiliser de ressources pour le gérer.

Méthodes :

- Les fauches répétées affaiblissent la plante : il est conseillé de les pratiquer tous les 15 jours ou 6 à 8 fois par an et ce, du mois de mai au mois d'octobre. Il est possible de détruire les nouveaux pieds de renouées en déterrants tout le rhizome (encore assez jeune et donc encore peu profondément enfoui).
- La plantation d'espèces ligneuses locales à croissance rapide (ex : Saule, Aulne) permet d'apporter un ombrage au sol et de limiter le développement des renouées. Ainsi, en milieu alluvial (bord de rivière), la reconstitution des peuplements forestiers et des ripisylves (là encore avec des espèces locales) constitue certainement le moyen de contrôle le plus efficace des espaces envahis.
- La couverture du sol avec du géotextile ou de la bâche épaisse et opaque permet d'empêcher la plante d'accéder à la lumière et aux jeunes pousses de se développer et s'avère particulièrement utile pour replanter ultérieurement de jeunes ligneux. Il est nécessaire de s'assurer très régulièrement de son imperméabilité vis-à-vis des repousses de renouées qui peuvent le traverser, et de le réparer le cas échéant.

Ces trois méthodes gagnent en efficacité quand elles sont employées de façon simultanée.

La lutte mécanique par terrassement, très lourde à mettre en oeuvre et d'un coût très élevé, est rarement envisageable : la terre est à excaver sur une profondeur de 3-4m puis à tamiser. Toutes les parties végétales récupérées sont ensuite brûlées ou alors enfouies dans une fosse très profonde dans laquelle elles sont mélangées à de la chaux vive.

Suivis :

- Maintenir une veille sur les secteurs gérés de manière à prévenir d'éventuelles repousses.

Ce qu'il est déconseillé de faire :

Attention, à proximité des zones humides, les opérations de fauche comportent un risque en raison des probabilités de dispersion de fragments susceptibles de bouturer : ne pas utiliser de tondo-broyeurs et les produits de fauche doivent être impérativement évacués.

Les traitements chimiques sont aussi parfois employés : les résultats obtenus sont souvent éphémères (même si les parties aériennes sont affectées, les rhizomes situés jusqu'à 3 m sous la surface ne sont pas atteints). Quoiqu'il en soit, l'arrêté du 12/09/2006 interdit tout traitement chimique à moins de 5 mètres minimum de tout point d'eau, cours d'eau, étang, plan d'eau, figurant sur les cartes au 1/25000ème de l'Institut Géographique National. Par ailleurs, il est important de rappeler les nuisances de telles substances sur la santé humaine et sur l'environnement.

L'extraction des rhizomes est très fastidieuse et illusoire, car ceux-ci peuvent atteindre 10 m de longueur et s'enfoncer jusqu'à 3 mètres de profondeur. De plus, les volumes de terre extraits nécessiteraient d'être traités (et non entreposés pour éviter toute autre contamination) ce qui paraît inenvisageable.



Figure 21 : Renouée du Japon *Reynoutria japonica* (TBM environnement, 2019)

Robinier faux-acacia :

Une intervention rapide permet de restreindre les moyens mis en place pour contrôler le Robinier faux-acacia : plus un foyer de colonisation est traité rapidement, moins il faudra mobiliser de ressources pour le gérer. Lorsque les individus sont stressés (taille, coupe, blessure...), ceux-ci rejettent vigoureusement à partir de la souche.

Méthodes :

- Les semis et les jeunes individus peuvent être arrachés manuellement.
- L'écorçage consiste à réaliser deux entailles circulaires distantes d'au moins 15 cm autour du tronc et de quelques centimètres de profondeur, jusqu'à l'aubier (partie de l'arbre, située sous l'écorce). L'écorce située entre les deux entailles est ensuite retirée. La sève élaborée ne circule plus vers les racines, mais les feuilles reçoivent toujours de l'eau : la vie de l'arbre est alors ralentie, l'arbre se dessèche et tombe au bout de 1 à 3 ans (alors qu'une coupe le stresse et engendre en réaction de nombreux rejets). Cette opération est à réaliser aussi bas que possible, à la base du tronc et au début de l'automne.
- Pour les zones infestées non adaptées à la gestion par écorçage pour des raisons de sécurité (parcs, bords de route, zones fréquentées) une coupe de l'arbre suivie d'un dessouchage est nécessaire. Afin d'éviter toute dissémination des graines, ces opérations doivent être réalisées durant la floraison, avant la fructification.
- Une fauche annuelle permet de limiter la propagation des jeunes semis dont le système racinaire n'est pas encore très développé.

Suivis :

- Après l'écorçage, même affaiblis, il est possible que certains individus rejettent tout de même de façon plus ou moins : si cette reprise semble trop importante, il est alors envisageable de pratiquer un nouvel écorçage sous la couronne de rejets.
- Maintenir une veille sur les secteurs gérés de manière à prévenir d'éventuelles repousses.
- Eliminer les déchets par incinération où les laisser sécher hors de toute zone inondable.

Ce qu'il est déconseillé de faire :

Des moyens de lutte chimique existent aussi, néanmoins, les résultats ne sont pas toujours concluants. De plus, il est primordial de rappeler les effets néfastes de telles substances sur la santé humaine et sur l'environnement.



Figure 22 : Robinier faux-acacia *Robinia pseudo-acacia*
(TBM environnement, 2019)

Buddléia de David

Une intervention rapide permet de restreindre les moyens mis en place pour contrôler l'Arbre aux papillons : plus un foyer de colonisation est traité rapidement, moins il faudra mobiliser de ressources pour le gérer. Lorsque les individus sont stressés (taille, coupe, blessure...), ceux-ci rejettent vigoureusement à partir de la souche.

Méthodes :

- A titre préventif et pour limiter la colonisation de zones où l'Arbre aux papillons n'est pas encore présent, il est envisageable de couper les inflorescences fanées avant qu'elles ne fructifient et propagent les semences.
- Arrachage manuel : Cette méthode concerne les jeunes plants dans les premiers stades de colonisation. Elle permet de contrôler partiellement la présence de l'espèce sur les sites où elle vient juste d'apparaître. Lorsque le site colonisé présente peu d'individus adultes, il est également possible de les arracher à l'aide d'une pioche.
- Arrachage mécanique-coupe : Ce type de gestion est préconisé sur les arbustes adultes, lorsque le site est densément colonisé. Dans l'idéal, les travaux de gestion se dérouleront à la fin de la floraison, quand la plante a utilisé un maximum de ses ressources, et avant la dispersion des graines.

Suivis :

- Les perturbations du milieu occasionnées par les travaux de gestion de l'Arbres aux papillons peuvent favoriser leur reprise, via notamment la banque de graines potentiellement contenue dans le sol. La plantation d'espèces indigènes est à envisager afin de limiter la repousse de l'arbuste.
- Maintenir une veille sur les secteurs gérés de manière à prévenir d'éventuelles repousses.

Ce qu'il est déconseillé de faire :

L'arrêté du 12/09/2006 interdit tout traitement chimique à moins de 5 mètres minimum de tout point d'eau, cours d'eau, étangs, plans d'eau, figurant sur les cartes au 1/25000ème de l'Institut Géographique National. Par ailleurs, il est important de rappeler les nuisances de telles substances sur la santé humaine et sur l'environnement.

On trouve encore très fréquemment l'Arbre aux papillons en vente, notamment dans les jardinerie et sur internet. Sa commercialisation n'est pas encore interdite : n'encouragez pas sa dispersion en l'achetant et préférez d'autres espèces pour l'ornement de votre jardin ou pour tout autre aménagement paysager.

Laurier sauce et Laurier-cerise

Très peu de documentation sur la gestion de ces deux espèces sont disponibles.
Des chantiers d'arrachage ont été effectués par quelques gestionnaires et semblent efficace.
Il faut éviter la gestion par coupe en raison des risques d'apparition de rejets.

Une recherche bibliographique plus approfondie permettrait d'apporter des éléments complémentaires.

Noyer du Caucase

Une intervention rapide permet de restreindre les moyens mis en place pour contrôler le Noyer du Caucase : plus un foyer de colonisation est traité rapidement, moins il faudra mobiliser de ressources pour le gérer.
Très peu d'informations, en France ou en Europe, sont disponibles concernant la gestion du Noyer du Caucase. A condition d'être testées avant d'être réalisées à grande échelle, quelques méthodes de gestions peuvent toutefois être envisagées.

Méthodes :

- L'écorçage consiste à réaliser deux entailles circulaires distantes d'au moins 15 cm autour du tronc et de quelques cm de profondeur, jusqu'à l'aubier (partie de l'arbre, située sous l'écorce). L'écorce située entre les deux entailles est ensuite retirée. La sève élaborée ne circule plus vers les racines, mais les feuilles reçoivent toujours de l'eau : la vie de l'arbre est alors ralentie, l'arbre se dessèche et tombe au bout de 1 à 3 ans (alors qu'une coupe le stresse et engendre en réaction de nombreux rejets). Cette opération est à réaliser aussi bas que possible, à la base du tronc et au début de l'automne. Elle est envisageable uniquement pour les individus d'un certain diamètre (généralement >15 cm), uniquement dans les lieux peu fréquentés afin d'éviter tout accident lié à la chute des arbres.

Suivis :

- Maintenir une veille sur les secteurs gérés de manière à prévenir d'éventuelles repousses.

Ce qu'il est déconseillé de faire :

La coupe des arbres est contreproductive en raison de leur forte capacité de reprise par drageonnement. Le boisement coupé se transforme en effet rapidement en un taillis inextricable formé par les drageons s'étant développés autour de la souche et des racines.
L'arrêté du 12/09/2006 interdit tout traitement chimique à moins de 5 mètres minimum de tout point d'eau, cours d'eau, étangs, plans d'eau, figurant sur les cartes au 1/25000ème de l'Institut Géographique National. Par ailleurs, il est important de rappeler les nuisances de telles substances sur la santé humaine et sur l'environnement.

Vergerette de Barcelone & Vergerette de karvinsky

Aucune gestion n'est à préconiser du fait de leur développement au sein de milieu artificiel.

EVALUATION HIERARCHISEES DES NIVEAUX D'IMPACTS

Ce chapitre vise à évaluer en quoi le projet risque de modifier les caractéristiques écologiques du site. L'objectif est de définir les différents types d'impact (analyse prédictive) et d'en estimer successivement l'intensité puis le niveau d'impact.

Les différents types d'impacts suivants sont classiquement distingués :

- Les impacts directs sont les impacts résultant de l'action directe de la mise en place ou du fonctionnement de l'aménagement sur les milieux naturels. Pour identifier les impacts directs, il faut prendre en compte à la fois les emprises de l'aménagement mais aussi l'ensemble des modifications qui lui sont directement liées (zone d'emprunt et de dépôts, pistes d'accès) ;
- Les impacts indirects correspondent aux conséquences des impacts directs, conséquences se produisant parfois à distance de l'aménagement (par ex. cas d'une modification des écoulements au niveau d'un aménagement, engendrant une perturbation du régime d'alimentation en eau d'une zone humide située en aval hydraulique d'un projet, ligne LHT existante près d'un projet de parc éolien engendrant un surcroît de risque de collisions avec les câbles électriques...) ;
- Les impacts induits sont des impacts indirects non liés au projet lui-même mais à d'autres aménagements et/ou à des modifications induits par le projet (par ex. remembrement agricole après passage d'une grande infrastructure de transport, développement de ZAC à proximité des échangeurs autoroutiers, augmentation de la fréquentation par le public entraînant un dérangement accru de la faune aux environs du projet) ;
- Les impacts permanents sont les impacts liés à l'exploitation, à l'aménagement ou aux travaux préalables et qui seront irréversibles ;
- Les impacts temporaires correspondent généralement aux impacts liés à la phase travaux. Après travaux, il convient d'évaluer l'impact permanent résiduel qui peut résulter de ce type d'impact (par ex. le dépôt temporaire de matériaux sur un espace naturel peut perturber l'habitat de façon plus ou moins irréversible) ;
- Les effets cumulés (au titre de l'article R.122-5 II 4° du code de l'environnement) correspondent à l'accentuation des impacts d'un projet en association avec les impacts d'un ou plusieurs autres projets. Ces impacts peuvent potentiellement s'ajouter (addition de l'effet d'un même type d'impact créé par 2 projets différents – ex. : $1 + 1 = 2$) ou être en synergie (combinaison de 2 ou plusieurs effets primaires, de même nature ou pas, générant un effet secondaire bien plus important que la simple addition des effets primaires – ex. : $1+1 = 3$ ou 4 ou plus ou se compensant - ex. $1+1=0$). Ne sont pris en compte que les impacts d'autres projets connus lors du dépôt du dossier (qui ont fait l'objet d'une étude d'incidence loi sur l'eau et d'une enquête publique, ou d'une étude d'impact et dont l'avis de l'autorité environnementale a été rendu public), quelle que soit la maîtrise d'ouvrage concernée⁹.

D'une manière générale, les impacts potentiels d'un projet d'aménagement sont les suivants :

- modification des facteurs abiotiques et des conditions stationnelles (modelé du sol, composition du sol, hydrologie...) ;
- destruction d'habitats naturels ;
- destruction d'individus ou d'habitats d'espèces végétales ou animales, en particulier d'intérêt patrimonial ou protégées ;

⁹ Les impacts cumulatifs avec des infrastructures ou aménagements déjà en place sont quant à eux traités classiquement dans les impacts indirects (ex : présence d'une ligne à haute tension à proximité immédiate d'un projet éolien...).

- perturbation des écosystèmes (coupure de continuités écologiques, pollution, bruit, lumière, dérangement de la faune...)...

Ce processus d'évaluation suit la séquence ERC (Éviter/Réduire/Compenser) et conduit à :

- proposer dans un premier temps différentes mesures visant à supprimer, réduire les impacts bruts (impacts avant mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction) ;
- évaluer ensuite le niveau d'impact résiduel après mesures de réduction ;
- proposer enfin des mesures de compensation si les impacts résiduels restent significatifs. Ces mesures seront proportionnelles au niveau d'impacts résiduels.

Des mesures d'accompagnement peuvent également être définies afin d'apporter une plus-value écologique au projet (hors cadre réglementaire).

L'analyse des impacts attendus est réalisée en confrontant les niveaux d'enjeux écologiques préalablement définis aux caractéristiques techniques du projet. Elle passe donc par une évaluation de la sensibilité des habitats et espèces aux impacts prévisibles du projet. Elle comprend deux approches complémentaires :

- une approche « quantitative » basée sur un linéaire ou une surface d'un habitat naturel ou d'un habitat d'espèce impacté. L'aspect quantitatif n'est abordé qu'en fonction de sa pertinence dans l'évaluation des impacts ;
- une approche « qualitative », qui concerne notamment les enjeux non quantifiables en surface ou en linéaire comme les aspects fonctionnels. Elle implique une analyse du contexte local pour évaluer le degré d'altération de l'habitat ou de la fonction écologique analysée (axe de déplacement par exemple).

La méthode d'analyse décrite ci-après porte sur les impacts directs ou indirects du projet qu'ils soient temporaires ou permanents, proches ou distants.

Tout comme un niveau d'enjeu a été déterminé précédemment, un niveau d'impact est défini pour chaque habitat naturel ou semi-naturel, espèce, habitat d'espèces ou éventuellement fonction écologique (par ex. corridor).

De façon logique, le niveau d'impact ne peut pas être supérieur au niveau d'enjeu. Ainsi, l'effet¹⁰ maximal sur un enjeu assez fort (destruction totale) ne peut dépasser un niveau d'impact assez fort : « On ne peut donc pas perdre plus que ce qui est mis en jeu ».

Le niveau d'impact dépend donc du niveau d'enjeu que nous confrontons avec l'intensité d'un type d'impact sur une ou plusieurs composantes de l'état initial.

L'intensité d'un type d'impact résulte du croisement entre

- la sensibilité des espèces à un type d'impact. Elle correspond à l'aptitude d'une espèce ou d'un habitat à réagir plus ou moins fortement à un ou plusieurs effets liés à un projet. Cette analyse prédictive prend en compte la biologie et l'écologie des espèces et des habitats, ainsi que leur capacité de résilience, de tolérance et d'adaptation, au regard de la nature d'un type d'impact prévisible.

Trois niveaux de sensibilité sont définis :

- Fort : La sensibilité d'une composante du milieu naturel à un type d'impact est forte, lorsque cette composante (espèce, habitat, fonctionnalité) est susceptible de réagir fortement à un effet produit par le projet, et risque d'être altérée ou perturbée de manière importante,

¹⁰ Les termes « effet » et « impact » n'ont pas la même signification. L'effet décrit la conséquence objective du projet sur l'environnement : par exemple, une éolienne émettra un niveau sonore de 36 dB(A) à une distance de 500 mètres. L'impact est la transposition de cette conséquence objective sur une composante de l'environnement.

provoquant un bouleversement conséquent de son abondance, de sa répartition, de sa qualité et de son fonctionnement ;

- Moyen : La sensibilité d'une composante du milieu naturel à un type d'impact est moyenne lorsque cette composante est susceptible de réagir de manière plus modérée à un effet produit par le projet, mais risque d'être altérée ou perturbée de manière encore notable, provoquant un bouleversement sensible de son abondance, de sa répartition, de sa qualité et de son fonctionnement ;
 - Faible : La sensibilité d'une composante du milieu naturel à un type d'impact est faible, lorsque cette composante est susceptible de réagir plus faiblement à un effet produit par le projet, sans risquer d'être altérée ou perturbée de manière sensible.
- la portée de l'impact. Elle correspond à l'ampleur de l'impact sur une composante du milieu naturel (individus, habitats, fonctionnalité écologique...) dans le temps et dans l'espace. Elle est d'autant plus forte que l'impact du projet s'inscrit dans la durée et concerne une proportion importante de l'habitat ou de la population locale de l'espèce concernée. Elle dépend donc notamment de la durée, de la fréquence, de la réversibilité ou de l'irréversibilité de l'impact, de la période de survenue de cet impact, ainsi que du nombre d'individus ou de la surface impactée, en tenant compte des éventuels cumuls d'impacts.

Trois niveaux de portée sont définis :

- Fort : lorsque la surface ou le nombre d'individus ou la fonctionnalité écologique d'une composante naturelle (habitat, habitat d'espèce, population locale) est impactée de façon importante (à titre indicatif, > 25 % de la surface ou du nombre d'individus ou altération forte des fonctionnalités au niveau du site d'étude) et irréversible dans le temps ;
- Moyen — lorsque la surface ou le nombre d'individus ou la fonctionnalité écologique d'une composante naturelle (habitat, habitat d'espèce, population locale) est impactée de façon modérée (à titre indicatif, de 5 % à 25 % de la surface ou du nombre d'individus ou altération limitée des fonctionnalités au niveau du site d'étude) et temporaire ;
- Faible — lorsque la surface, le nombre d'individus ou la fonctionnalité écologique d'une composante naturelle (habitat, habitat d'espèce, population locale) est impactée de façon marginale (à titre indicatif, < 5 % de la surface ou du nombre d'individus ou altération marginale des fonctionnalités au niveau du site d'étude) et très limitée dans le temps.

Définition des niveaux d'intensité de l'impact négatif

Niveau de Portée de l'impact	Niveau de sensibilité		
	Fort	Moyen	Faible
Fort	Fort	Assez Fort	Moyen
Moyen	Assez Fort	Moyen	Faible
Faible	Moyen à Faible	Faible	-

Des impacts neutres (impacts sans conséquences sur la biodiversité et le patrimoine naturel) ou positifs (impacts bénéfiques à la biodiversité et patrimoine naturel) sont également envisageables. Dans ce cas, ils sont pris en compte dans l'évaluation globale des impacts et la définition des mesures.

Pour obtenir le niveau d'impact (brut ou résiduel), nous croisons les niveaux d'enjeu avec l'intensité de l'impact préalablement défini. Au final, six niveaux d'impact (Très Fort, Fort, Assez fort, Moyen, Faible, Négligeable) ont été définis comme indiqué dans le tableau suivant :

Définition des niveaux d'impacts

Intensité de l'impact	Niveau d'enjeu impacté				
	Très Fort	Fort	Assez Fort	Moyen	Faible
Fort	Très Fort	Fort	Assez Fort	Moyen	Faible
Assez fort	Fort	Assez Fort	Moyen	Moyen ou Faible	Faible
Moyen	Assez Fort	Moyen	Moyen ou Faible	Faible	Négligeable
Faible	Moyen	Moyen ou Faible	Faible	Négligeable	Négligeable

Lorsque le niveau d'impact est moyen ou faible, une justification au cas par cas est à réaliser.

Au final, le niveau d'impact brut permet de justifier des mesures proportionnelles au préjudice sur le patrimoine naturel (espèces, habitats naturels et semi-naturels, habitats d'espèce, fonctionnalités). Le cas échéant (si l'impact résiduel après mesure de réduction reste significatif), le principe de proportionnalité (principe retenu en droit national et européen) permet de justifier le niveau des compensations. Cette proportionnalité est corrélée à l'équivalence écologique demandée par la loi biodiversité.

Annexe 5 : Liste des essences d'arbres pour la région des Pays de la Loire (Source : Région des Pays de la Loire, 2019)

TAXON	PHENOLOGIE			UTILISATIONS				INTERETS	
	Période de floraison	Humidité du sol	pH du sol	Haies	Boisements	Lisière, landes, Bosquets	Bords de cours d'eau	Fruits comestibles pour la faune	Espèce mellifère
Alisier torminal (<i>Sorbus torminalis</i>)	mai	Assez sec à frais	Très variable	X	X			X	X
Aulne glutineux (<i>Alnus glutinosa</i>)	Mars-avril	Inondé une partie de l'année	Faiblement acide à alcalin				X		X
Bouleau verruqueux (<i>Betula pendula</i>)	Avril-mai	Très variable	Très variable			X			
Bouleau pubescent (<i>Betula pubescens</i>)	Avril-mai	Très humide	acide			X			
Charme (<i>Carpinus betulus</i>)	Avril-mai	Assez sec à frais	Faiblement acide à neutre	X	X	X			
Châtaignier (<i>Castanea sativa</i>)	Juin-Juillet	Assez sec à frais	acide	X	X	X		X	X
Chêne tauzin (<i>Quercus pyrenaica</i>)	Mai-juin	Assez sec à humide	Faiblement acide à neutre		X			X	
Chêne pédonculé (<i>Quercus robur</i>)	Avril-mai	Assez sec à humide	Acide à neutre	X	X	X	X	X	
Chêne pubescent (<i>Quercus pubescens</i>)	avril	sec	Faiblement acide à alcalin	X		X		X	
Chêne sessile (<i>Quercus petraea</i>)	mai	Assez sec à frais	acide	X	X			X	
Chêne vert (<i>Quercus ilex</i>)	Avril à mai	Sec	Acide à neutre	X		X			
Cormier (<i>Sorbus domestica</i>)	Avril à juin	Sec	Acide à alcalin	X	X	X		X	X
Érable champêtre (<i>Acer campestre</i>)	Avril-mai	Sec à frais	Faiblement acide à alcalin	X		X	X		X
Merisier (<i>Prunus avium</i>)	Mars-avril	Sol frais	Faiblement acide à basique	X		X		X	X
Mûrier blanc et noir (<i>Morus alba et nigra</i>)	Mai à juin	Sec à frais	Faiblement acide à basique	X	X			X	
Noyer commun et hybride (<i>Juglans regia et Juglans major/nigra x regia</i>)	Avril-mai	Frais	Faiblement acide à basique		X			X	
Néflier (<i>Mespilus germanica</i>)	Avril -mai	Sain	Acide	X		X		X	X

Nerprun purgatif (<i>Rhamnus cathartica</i>)	Mai-juin	sec	Faiblement acide à alcalin	x		x		x	
Noisetier (<i>Corylus avellana</i>)	Janvier à mars	Sec à assez humide	Faiblement acide à neutre	x	x	x	x	x	
Orme champêtre (<i>Ulmus minor</i>)	Mars-avril	Assez sec à humide	Faiblement acide à alcalin	x			x		x
Orme lisse (<i>Ulmus laevis</i>)	Mars-avril	Très humide	Faiblement acide à alcalin		x		x		
Orme de Lutèce (<i>Ulmus lutece</i>)	Mars-avril	Frais à très humide	Neutre	x			x		
Peuplier blanc (<i>Populus alba</i>)	Mars-avril	Frais à très humide	Alcalin				x		
Peuplier noir (<i>Populus nigra</i>)	Mars-avril	Frais à très humide	Alcalin				x		
Peuplier tremble (<i>Populus tremula</i>)	Mars-avril	Frais à très humide	Acide à alcalin		x	x	x		
Poirier franc (<i>Pyrus pyraeaster</i>)	Avril-mai	Sec à frais	Faiblement acide à alcalin	x	x			x	
Poirier sauvage (<i>Pyrus communis</i>)	Avril-mai	Sec à frais	Faiblement acide à alcalin	x	x			x	
Poirier à feuille en cœur (<i>Pyrus cordata</i>)	Avril-mai	Sec à frais	Faiblement acide à alcalin	x	x			x	
Pommier sauvage (<i>Malus communis</i>)	Mars à juin	Sain	Neutre	x		x		x	x
Fruitiers greffés de variétés locales	Mars à juin	Sain		x		x		x	x
Saule blanc (<i>Salix alba</i>)	Avril-mai	Inondé une partie de l'année	Faiblement acide à alcalin	x			x		x
Saule marsault (<i>Salix caprea</i>)				x			x		x
Saule roux (<i>Salix atrocinerea</i>)	Mars-avril	Assez sec à humide	Acide à alcalin	x		x	x		x
Tilleul à petites feuilles (<i>Tilia cordata</i>)	Juillet	Assez sec à frais	Acide à neutre	x	x				x
Tilleul à grandes feuilles (<i>Tilia Platiphyllus</i>)	Juin-juillet	Sec	Faiblement acide à alcalin	x	x				x

EXPERTISES PHYTOSANITAIRES

Le but est de connaître les arbres présentant un danger vis à vis de la sécurité du public en raison d'un état sanitaire dégradé ou d'un défaut mécanique majeur et de préconiser des actions correctives urgentes et à moyen terme à mettre en œuvre.

La méthodologie du diagnostic sera basée sur la méthode non intrusive VTA (analyse visuelle de l'arbre et évaluation du risque) et DIA « Diagnostic Intégré de l'Arbre » qui sert de base pour la norme AFNOR du 01/11/2003. Toute étude ou présentation sous forme similaire sera acceptée.

L'expertise comportera :

- une évaluation des dysfonctionnements physiologiques et des défauts mécaniques des sujets :
 - détection de défauts visuels altérant la structure de l'arbre (racines, tronc, branches, feuilles),
 - détermination des pathologies (symptômes et parasites en cause),
 - évaluation chiffrée sous forme de tableau du niveau de risque : état de santé global réversibilité du risque (un arbre peut présenter un dysfonctionnement physiologique ou un défaut mécanique localisé sans que l'avenir du sujet soit influencé).
 - Une expertise approfondie des arbres présentant des défauts à l'aide de moyens supplémentaires :
 - expertise au sol par sondage des troncs des arbres présentant des défauts internes suspectés,
 - visite en hauteur pour l'observation des cavités.
 - Un bilan et des préconisations de gestion des arbres et des sites :
 - prescription technique de mise en sécurité,
 - possibilité de conservation ou non des sujets les plus atteints,
 - conseils de gestion spécifique induits,
 - fréquence et type de contrôle préconisé.
- Analyse in situ des arbres isolés ou en alignement jugés à risque par l'expert

L'examen débutera par une analyse visuelle à partir du sol, à l'aide de jumelles, des organes ligneux aériens des arbres du site à diagnostiquer. Les sujets présentant des symptômes indicateurs de stress ou de désordre physiologique (photos à l'appui) en raison d'une déformation, d'une rupture mécanique ou d'agents cryptogamiques seront soumis à un examen complémentaire de recherche de phytotoxicité, d'identification des pathogènes et feront l'objet de fiches d'évaluation (modèle ci-après). En cas d'intervention urgente, l'expert avertira le responsable du service des espaces verts par téléphone et confirmera par écrit (courrier, mail, fax) les prescriptions d'abattage ou de mise en sécurité. Les arbres concernés seront marqués au collet à la peinture forestière. Le diagnostic différenciera les interventions de sécurité (abattage, suppression de branches dangereuses) des préconisations d'entretien courant taille, élagage, abattage à programmer.

- Analyse in situ des groupes d'arbres ou bosquets (zones arborées)

Dans les bosquets denses, en raison d'une précision insuffisante de la cartographie, la méthode d'inventaire s'effectue par zone arborée en utilisant pour unité, les surfaces parcellaires ou relevées sur le terrain. L'examen débutera par une analyse visuelle à partir du sol, à l'aide de jumelles des

organes ligneux aériens des arbres du site à diagnostiquer. Les sujets présentant des symptômes indicateurs de stress ou de désordre physiologique (photos à l'appui) en raison d'une déformation, d'une rupture mécanique ou d'agents cryptogamiques seront soumis à un examen complémentaire de recherche de phytotoxicité, d'identification des pathogènes et feront l'objet de fiches d'évaluation (modèle ci-après).

En cas d'intervention urgente, l'expert avertira le responsable du service des espaces verts par téléphone et confirmera par écrit (courrier, mail, fax) les prescriptions d'abattage ou de mise en sécurité. Les arbres concernés seront marqués au collet à la peinture forestière. Le diagnostic différenciera les interventions de sécurité (abattage, suppression de branches dangereuses) des préconisations d'entretien courant taille, élagage, abattage à programmer.

MODELE DE FICHE D'EVALUATION DES SUJETS CLASSES A RISQUES GROUPES D'ARBRES OU BOSQUETS (ZONES ARBOREES)

Données générales

- Nom du site
- Date de relevé
- Codification cartographique du peuplement (reporter ce code sur le plan de localisation)

Description du peuplement

- Nombre d'arbres
- Age moyen estimé du peuplement
- Nomenclature : Genre, Espèce, Cultivar et nombre d'arbres pour les 3 essences les plus représentatives du peuplement
- Couvert : irrégulier – clair – complet – dense

Dendrométrie

- Hauteur moyenne estimée
- Diamètre moyen à 1,20 m

Etat sanitaire du peuplement

- L'appréciation du peuplement sur l'état sanitaire (état physiologique et mécanique) sera caractérisée simplement par les adjectifs : Mauvais / Moyen / Bon

Etat physiologique

Le diagnostic devra s'appuyer sur la dynamique de l'arbre, (l'analyse de l'architecture, le relevé des symptômes de stress et d'agents pathogènes).

Tenue mécanique

L'analyse dressera un bilan des 3 organes visuels principaux (le collet, le tronc et le houppier) afin d'identifier d'éventuels défauts mécaniques, chancres et champignons.

Le diagnostic sera suivi d'une estimation de la résistance mécanique avec des tests sonores d'identification et la localisation des zones de faiblesse : maladies, pourritures, fissures, cavités internes et externes, fourches à écorce incluse, ravageurs affectant l'arbre.

L'impact des défauts observés sur la solidité des organes touchés devra être évalué en niveau de seuils de risque.

Etat général

Synthèse et évolution des données physiologiques et mécaniques recueillies et préconisation des travaux à mettre en œuvre à court ou moyen terme pour garantir la sécurité du public.

Examens approfondis

Inspection, depuis le sol du tronc, du collet, et du système racinaire à l'aide de matériel employé par la profession (marteau à onde sonore, résistographe, vitalomètre, tarière de Pressler, fractomètre).

Si l'examen complémentaire depuis le sol ne permet pas de préciser le diagnostic, l'expert devra compléter ses travaux par une évaluation du système racinaire et des organes ligneux aériens.

Pour ces examens supplémentaires la ville de Vannes mettra à disposition de l'expert, une nacelle avec chauffeur ou des agents pour dégager la terre. Ces opérations seront regroupées en fin de diagnostic et réalisées en continu selon un planning prédéfini.

CURSUS

Diplôme d'ingénieur en aménagement et environnement option aménagement durable et génie écologique à École polytechnique de l'université de Tours (Indre-et-Loire) 2019-2022

DUT Génie biologique option génie de l'environnement à IUT de Tours (Indre-et-Loire) 2017-2019

FORMATION

2022 : MOOC Ornitho pack I identification

2021 : Formation aux animations grand public avec la LPO Centre-Val de Loire

MISSIONS

Depuis 2023 pour TBM environnement

Expertises chiroptères.

Expertises et suivis écologiques des milieux, volet écologique des études réglementaires (Etude d'impacts, incidences Natura 2000, Dossier de dérogation).

Rédactions de plans de gestion, analyse et hiérarchisation des enjeux et évaluation des impacts.

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

Février – Août 2022 Stage ingénieur à la LPO Pays de la Loire (49) – Elaboration d'un plan régional d'actions pour la conservation de la Noctule commune : étude bibliographique et état des lieux des données, expérimentation d'un protocole de recherche des gîtes arboricoles, rédaction du plan d'actions.

Janvier 2022 Bénévole référente chiroptères pour les prospections hivernales en cavités.

Juin – Août 2021 Stage assistant ingénieur à la LPO Centre-Val de Loire (37) – Contribution à l'atlas chiroptères d'Indre-et-Loire : identification des milieux à prospector, gestion du matériel de terrain, traitement des données acoustiques, cartographie des données, comptages estivaux en sortie de gîte.

Avril – Juillet 2019 Stage technicien à la Cave des Producteurs de Vouvray (37) – Diagnostic environnemental des exploitations viticoles pour l'obtention de la certification Haute Valeur Environnementale : audits des exploitations afin de localiser les réservoirs de biodiversité et d'identifier les traitements phytosanitaires réalisés, rédaction d'un compte-rendu par exploitation, propositions d'améliorations personnalisées.



REFERENCES PROFESSIONNELLES

CURSUS

Master « Gestion et conservation de la biodiversité » (UBO, Brest, 2018)

Licence « Biologie des organismes et des populations » (UBO, Brest, 2016)

FORMATION

Mars 2019 : Initiation à la réalisation du suivi « Oiseaux Nicheurs communs de Bretagne » (Formation AGENB)

Octobre 2018 : Végétations des grèves exondées de Loire-Atlantique (Formation CBNB)

Mai 2018 : Végétations dunaires du sud de l'Aquitaine (Formation SBCO)

MISSIONS

Depuis 2019 pour TBM environnement

Expertise botanique et habitats (Typologies CORINE Biotope, EUNIS, Natura 2000)

Relevés phytosociologiques

Volet écologique des études réglementaires (Etudes d'impacts, incidences Natura 2000, Dossier de dérogation)

Analyse et hiérarchisation des enjeux

Evaluation des impacts

Rédaction de plans de gestion

Inventaires faunistiques (entomofaune)

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

2018-2019 Service civique au Forum des marais atlantiques, à l'antenne de Brest, dans le cadre du « Réseau sur la restauration des zones humides de Bretagne ». Réalisation d'études pédologiques après restauration de zones humides. Croisements de données SIG. Animation d'enquête sur la sensibilisation à la préservation des zones humides.

2018 Stage, chargée d'études Habitats au Conservatoire Botanique National de Brest, antenne des Pays de la Loire. Réalisation d'une typologie phytosociologique et de la cartographie des groupements végétaux dans le système subhalophile thermo-atlantique de l'ENS des marais du Daviaud (La Barre-de-Monts, 85). Suivi phytocœnotique de groupements végétaux sur la RNR du Polder de Sébastopol (Noirmoutier, 85).

REFERENCES

2018-2020 : Cartographie des habitats naturels et d'intérêt communautaire des secteurs salés du site Natura 2000 « Marais breton, Baie de Bourgneuf, Ile de Noirmoutier et forêt de Monts ».

2019 : Suivi de la flore remarquable et des espèces végétales exotiques envahissantes de l'espace préservé du GPMH. Réactualisation de la cartographie des habitats (Le Havre, 76).

2019 : Cartographie des habitats naturels et inventaire de la flore remarquable, dans le cadre d'un état initial avant travaux. Projet Celtic (Finistère, 29)

CURSUS

Ingénieur agronome mention « Protection des plantes » (ENSH Versailles, 1996)

Maîtrise de biophysologie appliquée aux productions végétales (Université d'Angers, 1993)

FORMATION

2016 : Initiation à l'ornithologie

2013 : Coléoptères saproxyliques (formation OPIE)

2012 : Abeilles sauvages (formation OPIE)

2011 : Papillons de nuit et orthoptères (formations OPIE)

MISSIONS

Depuis 2019 pour TBM environnement

Expertise botanique et habitats (Typologies CORINE Biotope, EUNIS, Natura 2000)

Relevés phytosociologiques

Volet écologique des études réglementaires (Etudes d'impacts, incidences Natura 2000, Dossier de dérogation)

Analyse et hiérarchisation des enjeux

Evaluation des impacts

Rédaction de plans de gestion

Inventaires faunistiques (entomofaune)

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

2011-2017 Chargé de mission biodiversité au sein du service études du Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement (CPIE) du Val d'Authie. Animateur du centre de ressources sur les espèces exotiques envahissantes. Réalisation de l'Atlas de la Biodiversité Communale sur 6 communes (inventaires flore, papillons de jour et de nuit, libellules, orthoptères).

2001-2011 Chargé d'études Flore et Habitats au Centre régional de phytosociologie / Conservatoire Botanique National de Bailleul. Inventaires floristiques en Picardie et Nord-Pas-de-Calais pour la réalisation de l'Atlas floristique régional. Cartographie des végétations du Boulonnais (relevés phytosociologiques). Etudes sitologiques de la flore et des végétations avec des propositions de gestion sur les ENS des départements du Nord et du Pas-de-Calais.

1997-2000 Responsable d'une exploitation agricole de grandes cultures en Eure-et-Loir.

REFERENCES PROFESSIONNELLES

2019-2020 : Cartographie des habitats naturels et d'intérêt communautaire des secteurs salés du site Natura 2000 « Marais breton, Baie de Bourgneuf, Ile de Noirmoutier et forêt de Monts ».

CURSUS

Master 2 Gestion et valorisation agro-environnementale (Université de Caen, 2009)

Master 1 Biologie des Populations et des écosystèmes (Université de Caen, 2008)

FORMATION

2022 : GWO (Travail en hauteur, incendie, gestes et postures)

2022 : Expertise Coléoptères patrimoniaux (Labo d'Eco-Entomologie d'Orléans)

2018 : Expertises VigiDNA® (SPYGEN)

2018 : Identification et écologie acoustique des Chiroptères - Niveau 2 (formation Barataud)

2015 : Identification et écologie acoustique des Chiroptères - Niveau 1 et 2 (formation Barataud)

MISSIONS

Depuis 2010 pour TBM environnement

Expertise faunistique : entomofaune (odonates, lépidoptères rhopalocères et macro-hétérocères, orthoptères, coléoptères saproxyliques), mammifères dont chiroptères, herpétofaune et mollusques terrestres patrimoniaux

Bonne connaissance des habitats et de la flore de la moitié Nord de la France

Gestion, animation et coordination de projets et des naturalistes en lien avec ces derniers

Volet écologique des études réglementaires (Etudes d'impacts, incidences Natura 2000, Dossier de dérogation) : analyse et hiérarchisation des enjeux, évaluation des impacts et proposition de mesures

Rédaction de plans de gestion

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

2009-2010 Chargé de missions chez un expert indépendant : Inventaire faune/flore.

2009 Suivi des espèces végétales d'intérêt patrimonial sur la zone humide du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin ; Recherche des espèces, description des stations et définition de mesures de gestion conservatoire.

2009 Inventaire des lépidoptères (rhopalocères et hétérocères) et des amphibiens de l'ENS des Ponts d'Ouves sur le territoire du Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin.

2008 Recherche et localisation des Forêts de Ravins (Habitat prioritaire Natura 2000) et des espèces patrimoniales associées sur une partie du territoire du Parc naturel régional Normandie-Maine.

2008-2022 Participation à de nombreuses enquêtes naturalistes (flore vasculaire, invertébrés divers dont hétérocères, herpétofaune, mammifères dont chiroptères) auprès de CBNB, PNR, MNHN, Associations diverses... ;

Valideur régional (Bretagne) pour les Orthoptères et les Lépidoptères hétérocères ;

Conservateur bénévole d'une réserve pour la SEPNE entre 2012 et 2015 ;

Participation à des chantiers d'entretien de milieux naturels...

Expertises chiroptères et entomofaune

2022-2023 : Inventaire des mammifères (dont chiroptères) et de l'entomofaune (Odonates, Lépidoptères Rhopalocères et Hétérocères, Orthoptères, Coléoptères (pro parte), Hétéroptères (pro parte), *Syrphidae*, etc.) dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Quimper (29)

2022-2023 : Volet écologique du projet d'aménagement de l'unité de production d'eau potable de Toulreincq à Gourin (56)

2022 : Inventaire entomofaune dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2021-2022 : Inventaires écologiques complémentaires pour le projet de modernisation de la station de production d'eau potable de Langonnet (56) - Eau du Morbihan

2020-2021 : Inventaire chiroptères dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2020-2021 : Inventaire entomofaune dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2020-2021 : Inventaire chiroptères dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2018-2021 : Suivi annuel des mesures écologique de la RN164 doublement de la déviation nord de Loudéac (56) - DREAL Bretagne

2018 : Expertise écologique (insectes et chiroptères) sur le terrain de dépôt n° 9 à Emmerin (59) (EACM pour VNF).

2018 : Inventaire des chiroptères sur les mesures environnementales de la Plateforme multimodale au Havre (76) (GPMH).

2018 : Accord cadre port de Saint-Malo - Terminal du Naye - Réalisation d'études scientifiques, environnementales, socio-économiques, architecturales, paysagères et urbaines - lot n°1 : études naturalistes et environnementales. Marché subséquent N°1 ; étude faune, flore, et milieux naturels terrestres sur le site portuaire (35) (Région Bretagne)

2018 : Inventaire et expérimentation « nature en ville » sur la commune de Riantec (56) (Lorient Agglomération).

2018 : Inventaire des gros arbres sur l'emprise du fuseau du feeder liaison de Vigneux-de-Bretagne à Rouans (44) (Atlantic'eau).

2016 : Inventaire des Orthoptères sur des milieux gérés et des milieux témoins sur l'ENS de Menez Meur (29) (Département du Finistère).

2015-2016 : Inventaire des chiroptères sur le territoire portuaire de Dunkerque (59) (GPMD).

Inventaires faunistiques (herpétofaune, mammalofaune terrestre) et habitats/flore

2021-2022 : Suivi écologique post-travaux relatif à l'aménagement d'une voie de liaison interquartier à Moréac (56) - Commune de Moréac

2020 -2021 : Inventaire herpétofaune dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2018-2021 : Suivi annuel des mesures écologique de la RN164 doublement de la déviation nord de Loudéac (56) - DREAL Bretagne

2020 : Inventaires écologiques dans le cadre du projet de travaux sur le port de Granville (50)

2020 : Inventaire dans le cadre d'un projet éolien en Ille-et-Vilaine

2018 : Projet d'aménagement de la vélo-route/voie verte V6 en Presqu'île de Crozon (Communes de Telgruc-sur-Mer, Crozon, Camaret-sur-Mer) (29) - Inventaires amphibiens, reptiles, odonates, Flore (Département du Finistère).

2018 : Inventaire Amphibiens sur le territoire portuaire de Dunkerque (59) (GPMD).

2018 : Investigations naturalistes habitat-flore-faune dans le cadre du projet d'aménagement de la vélo-route « la littorale » reliant Penmarch à Kerlaz - Communes de Primelin, Plogoff, Cléden-Cap-Sizun, Goulien (29) (Département du Finistère).

2017-2018 : Études de pré-aménagement foncier des communes de Grand-Champ et d'Inzinzac-Lochrist (56). Volet environnement (Département du Morbihan).

Volet écologique des études réglementaires

2022-2023 : Raccordement électrique du parc éolien en mer (AO4) situé en zone centre Manche 1 (50) - RTE

2022-2023 : Volet écologique du projet d'aménagement de l'unité de production d'eau potable de Toulreincq à Gourin (56) - Eau du Morbihan

2020-2021 : Raccordement électrique du parc éolien en mer (AO3) de Dunkerque (59) - RTE

2020-2021 : Aménagement du projet CAP 2020 (59) - Grand Port Maritime de Dunkerque

2019-2020 : Aménagement du quartier de Nantes Nord (44)

2018 : Projet Gridlink interconnector et son raccordement (59) (Gridlink, RTE).

2017-2018 : Réalisation d'un feeder de sécurisation d'alimentation en eau potable - Liaison de Vigneux-de-Bretagne à Rouans (44) (Atlantic'eau).

2017-2018 : Raccordement du parc éolien en mer de Dieppe Le Tréport (76) (RTE).

 **Plans de gestion**

2020-2021 : Elaboration du plan de gestion du Marais de Kervijen à Plomodiern (29) - Département du Finistère

2020-2021 : Inventaires et plan de gestion des marais de l'Aulne maritime et de la Douffine (29) – Département du Finistère

2017 : Site naturel de l'Anse de Kerguelen Site n° 56 160 (56) - Conservatoire du Littoral

2016 : Espace naturel sensible départemental - Le Marais du Ster (29) - Département du Finistère

2016 : Espaces naturels sensibles départementaux du Cap Sizun (29) - Département du Finistère

2015 : Espaces naturels sensibles de la commune d'Auray (56) - Département du Morbihan



VALORISATION

En cours : Roche M. (2022) - Atlas des Odonates de Bretagne, Loire-Atlantique et Vendée : Rédaction des monographies pour *Aeshna cyanea*, *Libellula quadrimaculata*, *Platycnemis acutipennis* et *Onycogomphus forcipatus*.

2016 : Roche M. & Loncle P. (2016) - Un nouvel Hétérocère pour les Côtes d'Armor (*Xestia baja*). Viv'Armor Nature, la lettre du réseau des Naturalistes Costarmoricains n°184.

2016 : Roche M. (2016) - Deux géomètres, peu observés en France, redécouverts en Basse-Normandie, dans l'Orne : *Chloroclysta miata* (Linnaeus, 1758) et *Eupithecia insigniata* (Hübner, 1790) (Lep. Geometridae). Oreina n°33, page 45.

2015 : Lepertel N., Quinette J.-P. & Roche M. (2015) - Découverte de *Lacanobia blenna* (Hübner 1824) dans la Manche et réactualisation de sa répartition dans le Massif armoricain (*Lepidoptera, Noctuidae*). GRECIA, Invertébrés Armoricains 12.

2015 : Roche M. (2015) - *Eremodrina gilva* (Donzel, 1837), l'expansion se poursuit (*Lep. Noctuidae*). Oreina n°29.

CURSUS

BTS Gestion et
Protection de la Nature
au lycée de Suscinio
(Morlaix, Finistère) -
2016

FORMATION

2021: Formation
acoustique
Chiroptères de
Belgique avec Ecofirst
et Natagora.

2021: Formation
"identification
acoustique des
chiroptères – niveau 1"
avec le CPIE de
Brenne.

2017 : Formation à
l'analyse des restes de
micromammifères
contenus dans des
pelotes avec le GMB



MISSIONS

Depuis 2022 pour TBM environnement

Expertises faunistiques : ornithologique, herpétofaune, mammalofaune, entomologique dont rhopalocère, odonate et orthoptères.

Expertises et suivis écologiques des milieux, volet écologique des études réglementaires (Etude d'impacts, incidences Natura 2000, Dossier de dérogation).

Rédactions de plans de gestion, analyse et hiérarchisation des enjeux et évaluation des impacts.



EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

2019-2022 Bureau d'études Auddicé Agence Grand Est de Châlons-en-Champagne (51) - Chargé d'études fauniste (CDI) : expertises naturalistes (Ornithologie, Entomologie, Herpétologie, Mammalogie), expertises de terrain (diagnostics et évaluations écologiques) et rédactions des rapports.

2016 ONCFS Cantal (15) Technicien d'étude et de recherche sur le Grand corbeau.

2015-2016 Service Civique à la LPO Champagne-Ardenne à Outines, Marne (51)
- Accompagnateur à l'observation de la migration des oiseaux sur le lac du Der.
- Participation à divers inventaire avifaunistique.



REFERENCES PROFESSIONNELLES

2019 2020 – VSB

Nom du projet : Projet éolien de Coucy.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Rédaction de l'état initial de l'étude écologique et des compléments DREAL.

2019 2022 – VSB

Nom du projet : Projet éolien de Doux.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique, rédaction de l'état initial et des impacts/mesures de l'étude écologique et des compléments DREAL.

2019 2021 – An Avel Braz

Nom du projet : Projet éolien de Vaux Coulommès.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique, rédaction de l'état initial de l'étude écologique.

2019 2022 – Agence des espaces verts de la Région Île-de-France

Nom du projet : Inventaire écologique sur la RNR des Bruyères de Sainte Assise.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique (amphibien, micromammifère, odonate, orthoptère et mante) et rédaction du rapport.

2020 2022 – Eurocape

Nom du projet : Projet éolien Saint-Martin-aux-Champs.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique, rédaction de l'état initial et des impacts/mesures de l'étude écologique.

2021 – WEB Energie du Vent

Nom des projets : Projets photovoltaïques d'Annay 1 et 2.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique.

2020 2022 – EDF

Nom du projet : Projet éolien de Longues Roies.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation du suivi comportemental de l'avifaune.

2021 – SUEZ

Nom du projet : IQE de l'écopole de la Côte Plate à Huiron.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique et rédaction du rapport IQE.

2021 2022 – Volkswind

Nom du projet : Projet éolien de la ferme de l'Oliva.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique.

2022 – Escofi

Nom du projet : Projet éolien des Puyats III.

Poste occupé : Chargé d'étude faune

Mission(s) réalisée(s) : Réalisation des inventaires faunistique.

CURSUS

Master 2 Sciences de l'environnement - Expertise écologique et gestion de la biodiversité (Université d'Aix-Marseille III, 2005)

FORMATION

2018 : Expertises VigiDNA® (SPYGEN)

2015 : Formation à la détermination acoustique des Chiroptères (niveau débutant/initiés) – Groupe Mammalogique Breton (GMB)

MISSIONS

Depuis 2012 pour TBM environnement

Expertise ornithologique

Inventaires faunistiques (herpétofaune, mammalofaune terrestre et maritime)

Volet écologique des études réglementaires (Etudes d'impacts, incidences Natura 2000, Dossier de dérogation)

Analyse et hiérarchisation des enjeux

Evaluation des impacts

Rédaction de plans de gestion

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

2017 Observateur en mer oiseaux et mammifères marins et pose de balises ARGOS (Phoque de Weddell) dans le cadre de la campagne océanographique WAPITI en mer de Weddell (Antarctique). Laboratoire LOCEAN/CNRS. Brise-glace RRS James Clark Ross (2 mois). [En savoir plus](#)

2014 Agent à la Réserve naturelle nationale des Terres Australes Françaises - District de Kerguelen (Terres Australes et Antarctiques Françaises). Mise en œuvre des inventaires et suivis des oiseaux et mammifères marins.

2010-2012 Chargé de projets à l'Emirates Center for Wildlife Propagation (Maroc). Elaboration et application de protocoles visant l'étude des paramètres de vie de l'Outarde houbara au Maroc et en Asie centrale : suivi de la reproduction, estimation des densités, pose d'émetteurs radios et satellites, télémétrie.

2007-2010 Chargé de missions au Centre Ornithologique Ile-de-France (CORIF). Coordination et réalisation d'expertises naturalistes, enquêtes, inventaires et suivis ornithologiques ; proposition de conseils techniques, mesures de gestion et d'aménagements en milieux naturels ; participation aux comités de gestion et scientifiques de Réserves naturelles nationales, aux comités de pilotage Natura 2000 et à diverses commissions administratives ; coordinateur régional du programme STOC-EPS (MNHN-CRBPO).

2006 Elaboration d'un plan de conservation de la Chevêche d'Athéna dans les Yvelines (CORIF). Analyse de l'habitat, évaluation de l'état de la population, proposition de mesures de conservation, baguage.

2006 Etude sur la gestion des Parcs nationaux québécois dans le cadre de la mise en place de la Stratégie Québécoise sur les Aires Protégées (UQCN – Québec).

2004 Mission dans le cadre du LIFE Nature "Restauration du Vautour percnoptère dans le Sud-Est de la France" : suivi biologique et évaluation des mesures de gestion mises en place sur une aire de reproduction.

2002 Elaboration du plan de gestion de l'étang Loc'h Coziou sur le site des dunes et étangs de Trévignon – Trégunc (Bretagne Vivante/Conservatoire du littoral).



REFERENCES PROFESSIONNELLES



Expertise ornithologique

- 2020-2021 : Raccordement électrique du parc éolien en mer de Dunkerque (59) – RTE
- 2020 : Inventaires ornithologiques sur 3 sites ENS du département du Finistère
- 2020 -2021 : Inventaire avifaune dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)
- 2020-2021 : Aménagement du projet CAP 2020 (59) – Grand Port Maritime de Dunkerque
- 2019 : Interconnexion électrique France-Irlande (29) - RTE
- 2018-2019 : Suivi d'hirondelles de rivages à Guidel Plages (56) (Département du Morbihan).
- 2018 : Plan de prospection de l'Atlas de la Biodiversité Intercommunale de Lorient Agglomération (56) (Lorient Agglomération).
- 2018 : Inventaire Avifaune nicheuse, hivernante, migratrice sur le territoire portuaire de Dunkerque (59) (GPMD).
- 2018 : Suivi de la population de goélands sur le territoire du Grand Port Maritime de Dunkerque (59) (GPMD).
- 2017-2018 : Réalisation d'un feeder de sécurisation d'alimentation en eau potable – Liaison de Vigneux-de-Bretagne à Rouans (44) (Atlantic'eau).
- 2016-2018 : Modification et suspension de la Servitude de Passage des Piétons le long du Littoral communes de Belz et Locoal-Mendon (56) (Département du Morbihan).
- 2015-2016 : Aménagement véloroute/voie verte V5 Gâvres-Erdeven (56) (Département du Morbihan).



Inventaires faunistiques (avifaune, herpétofaune, mammalofaune)

- 2018 : Inventaire Amphibiens sur le territoire portuaire de Dunkerque (59) (GPMD).
- 2018 : Inventaire des gros arbres sur l'emprise du fuseau du feeder liaison de Vigneux-de-Bretagne à Rouans (44) (Atlantic'eau). Investigations en site Natura 2000 « Estuaire de la Loire ».
- 2017-2018 : Diagnostic et enjeux écologiques du site nucléaire de Brennilis et autour (29) (EDF).
- 2017-2018 : Études de pré-aménagement foncier des communes de Grand-Champ et d'Inzinzac-Lochrist (56). Volet environnement (Département du Morbihan).



Volet écologique des études réglementaires

- 2019 -2020 : Interconnexion électrique France-Irlande (29) – RTE
- 2019-2020 : Aménagement du quartier de Nantes Nord (44)
- 2018 : Projet de lotissement du plateau du Menez Ouest à Larmor-Plage (56) (OCDL Groupe Giboire / SCI Immobilier Bretagne).
- 2018 : Limitation des nuisances des goélands nicheurs sur le territoire du Grand Port Maritime de Dunkerque - Plan d'actions 2018-2023 – Dossier de demande de dérogation pour la perturbation intentionnelle et la destruction des œufs de goélands (59) (GPMD).
- 2017-2018 : Raccordement du parc éolien en mer de Dieppe Le Tréport (76) (RTE).
- 2017-2018 : Implantation d'une usine de production massive d'hydrogène (59) (H2V Product).

CURSUS

BTSA Gestion et
Protection de la Nature
« Gestion des espaces
naturels » (Neuvic,
Corrèze - 2007)

FORMATION

2016 : Travail en
hauteur avec port du
harnais

2014 : Initiation à la
capture des
chiroptères (MNHN /
Picardie Nature)

MISSIONS

Depuis 2019 pour TBM environnement

Expertises faunistiques : avifaune, herpétofaune, mammalofaune terrestre et maritime, chiroptères, entomofaune dont odonates, orthoptères et lépidoptères rhopalocères

Expertises et suivis écologiques des milieux

Rédaction et coordination d'études environnementales sur différents types de projets

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

2018-2019 Chargé d'études à NATUR'AILES (auto-entreprise) :

- Inventaires naturalistes en Bretagne, Pays de la Loire et Picardie (principalement avifaune et chiroptères) pour divers bureaux d'études (Ecosphère, Ouest Am, Dervenn, Althis)
- Guide naturaliste avec l'agence de voyage Escursia

2009-2017 Chargé d'études à ECOSPHERE (Agence Nord-Ouest à Cuvilly dans l'Oise) :

- Inventaires naturalistes (oiseaux, herpétofaune, mammifères terrestres, chiroptères, lépidoptères rhopalocères, odonates et orthoptères) dans différentes régions de France
- Coordination et rédaction d'études environnementales (Etudes d'impacts, Incidences Natura 2000, Dossier de dérogation, Dossier de défrichement...) sur différents types de projets (C.E.T., carrières, infrastructures linéaires, éoliens, inventaires de biodiversité, atlas...)
- Participation aux appels d'offres et à l'élaboration de devis

2007-2009 Animateur nature au Centre Ornithologique de la Région Île-de-France (CORIF) :

- Animation et sensibilisation à la protection de la nature (tous publics)
- Partenariat avec les Parcs Naturels Régionaux Oise-Pays-de-France et du Vexin
- Participation aux différents suivis du pôle « Etudes » (inventaires amphibiens, chiroptères, oiseaux)

1999-aujourd'hui Expertises naturalistes (ornithologie principalement, mais aussi entomofaune, herpétofaune mammifères terrestres et Chiroptères), Coordination et animation d'enquêtes et suivis naturalistes, Cartographies de milieux (littoral atlantique et méditerranéen, milieu montagnard...) dans différentes structures (Bretagne Vivante, Groupe Mammalogique Breton, Picardie Nature, Groupe Ornithologique du Roussillon, LPO, Réserves Naturelles Nationales, PNR des Pyrénées Catalanes...), rédaction de notes, synthèses et articles divers.



REFERENCES PROFESSIONNELLES



Expertise ornithologique

2020-2021 : Raccordement électrique du parc éolien en mer de Dunkerque (59) – RTE

2020-2021 : Aménagement du projet CAP 2020 (59) – Grand Port Maritime de Dunkerque

2020 : Inventaire dans le cadre d'un projet éolien en Ille-et-Vilaine

2020 : Expertise avifaune dans le cadre du projet de travaux sur le port de Granville (50)

2019-2020 : Expertise sur le Pipit Maritime dans le cadre des travaux de réaménagement du port de la Turballe (44)

2019 : Analyse bibliographique de la biologie marine dans le cadre du futur appel d'offre éolien en mer AO4 au large de la Normandie



Inventaires faunistiques (avifaune, herpétofaune, mammalofaune)

2021-2022 : Volet écologique d'un parc éolien en Côtes d'Armor (22)

2020 -2021 : Inventaire chiroptères dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2020 -2021 : Inventaire mammifères dans le cadre de l'Atlas de la Biodiversité de Lorient Agglomération (56)

2020 : Expertise faunistique dans le cadre du plan de gestion de l'ENS du Hézo en Morbihan (56)

2020 : Expertise chiroptères et insectes dans le cadre de la coupe de chênes à Nantes (44)

2019-2020 : Inventaires écologiques dans le cadre de l'aménagement du port de Port-en-Bessin (14)



VALORISATION



Publications

2018 CHR Picardie collectif (DUBOIS Y., DUFOUR P., LEPRETRE A., MAUSS A.) – Les oiseaux rares en Picardie en 2014 et 2015, 26 p.

2017 CHR Picardie collectif (DAUMAL T., DORIE A., DUBOIS Y., DUFOUR P., HILEY A., LEPRETRE A., LOUVET C., MAUSS A.) – Les oiseaux rares en Picardie en 2012 et 2013, 28 p.

2017 BARRIOZ M., BUTTAZZONI N., DUBOIS Y. - Expansion de la Couleuvre d'Esculape *Zamenis longissimus* (Laurenti, 1768) (Squamata : Colubridae), dans le nord de la France depuis 1990 et découverte de l'espèce dans quatre nouveaux départements depuis 2010 - Bulletin n°161 de la Société Herpétologique de France (SHF), p. 88-90

2016 CHAILLOU A. & DUBOIS Y. - Note sur le passage postnuptial du Circaète en 2015 sur le site de suivi de la migration d'Eyne - Pyrénées-Orientales – La Plume du Circaète n°12 (LPO)

2014 DUBOIS Y. & LOUVET C. - Deuxième mention du Bécassin à bec court *Limnodromus griseus* en France - Ornithos n°21-2

2013 CHR Picardie collectif (DAUMAL T., DORIE A., DUBOIS Y., LEPRETRE A., MAUSS A.) – Les oiseaux rares en Picardie en 2011, 19 p.

- 2013 Participation à la réalisation de l'ouvrage sur « Les Oiseaux de Picardie », 2013 (X. COMMECY (Coord.), D. BAVEREL, W. MATHOT, T. RIGAUX & C. ROUSSEAU) : rédaction et collecte et préparation des photographies
- 2010 CHR Picardie collectif (DAUMAL T., DORIE A., DUBOIS Y., LEPRETRE A., MAUSS A.) - Les oiseaux rares en Picardie en 2008 et 2010, 23 p.
- 2007-2009 Rapports du Comité des Migrateurs Rares (CMR) de la LPO 2007 et 2008 paraissant annuellement dans la revue française d'ornithologie « Ornithos »
- 2005-2017 Publications, synthèses et notes naturalistes diverses dans les bulletins de différentes associations (Groupe Ornithologique du Roussillon, Centre Ornithologique Île-de-France, Picardie Nature...)
- 2005 DUBOIS Y. - Etude d'impact d'une liaison de ski sur l'avifaune montagnarde avec le PNR des Pyrénées Catalanes (Pyrénées-Orientales, 66)

Conférences

- 2014 Conférence sur un voyage naturaliste en Fennoscandie et au Svalbard à la Société de Photographie d'Histoire Naturelle (SPHN) du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (M.N.H.N.)
- 2007-2017 Formations et conférences sur l'identification et la reconnaissance des différentes espèces d'oiseaux, d'amphibiens, d'insectes et de chiroptères auprès du grand public

TBM environnement

Siège social :

2 rue de Suède-Bloc 3 - 56400 AURAY

Tel 02.97.56.27.76 - Fax 02.97.29.18.89

contact@tbm-environnement.com

www.tbm-environnement.com

Antenne Nord

20 rue de l'Hermitte

Imm Les Trois Ponts - 59140 DUNKERQUE

03.28.59.94.71. / 06.45.23.05.58



PROJET DE RENOUVELLEMENT URBAIN NANTES NORD

Caractérisation des zones humides

Février 2021



Objet (Offre / Rapport d'étude) :	Projet de renouvellement urbain Nantes Nord - Caractérisation des zones humides	
Rédacteur : Y. David	Relecture : C. Demartini	Validation : S. Chauvaud
Titre : chargé d'études	Titre : chargé d'études	Titre : Directeur
Date : 16/02/2021	Date : 17/02/2021	Date : 22/02/2021

Sommaire

1	CONTEXTE	4
2	MATERIEL ET METHODES	6
2.1	CRITERE FLORE/HABITAT	6
2.1.1	Méthode par l'approche « habitat ».....	6
2.1.2	Méthode par l'approche « espèces végétales ».....	6
2.2	CRITERE PEDOLOGIQUE	7
2.2.1	Cadre réglementaire.....	7
2.2.2	Echantillonnage	7
3	RESULTATS	9
3.1	CRITERE HABITATS/FLORE.....	9
3.2	CRITERE PEDOLOGIQUE	12
3.2.1	Localisation des relevés pédologiques.....	12
3.2.1	Résultats des analyses pédologiques.....	13
4	DELIMITATION DES ZONES HUMIDES	16
5	BIBLIOGRAPHIE	18
	ANNEXES	19

Annexe 1	: Liste des habitats cartographiés dans la zone d'étude	19
Annexe 2	: Liste des espèces floristiques observées sur la zone d'étude en 2019.....	20
Annexe 3	: Photographies des sondages pédologiques avec traits d'hydromorphie dans les premiers 25 cm de profondeur	24
Annexe 4	: Photographies des sondages pédologiques avec ou sans traits d'hydromorphie après 25 cm de profondeur.....	27

Listes des illustrations :

Figure 1	: Matériel utilisé pour réaliser les sondages pédologiques.....	9
Figure 2	: Prairie humide non communautaire (TBM environnement, 2019)	9
Figure 3	: Jonchaie (TBM environnement, 2019)	10
Figure 4	: Fourré humide (TBM environnement, 2019)	10

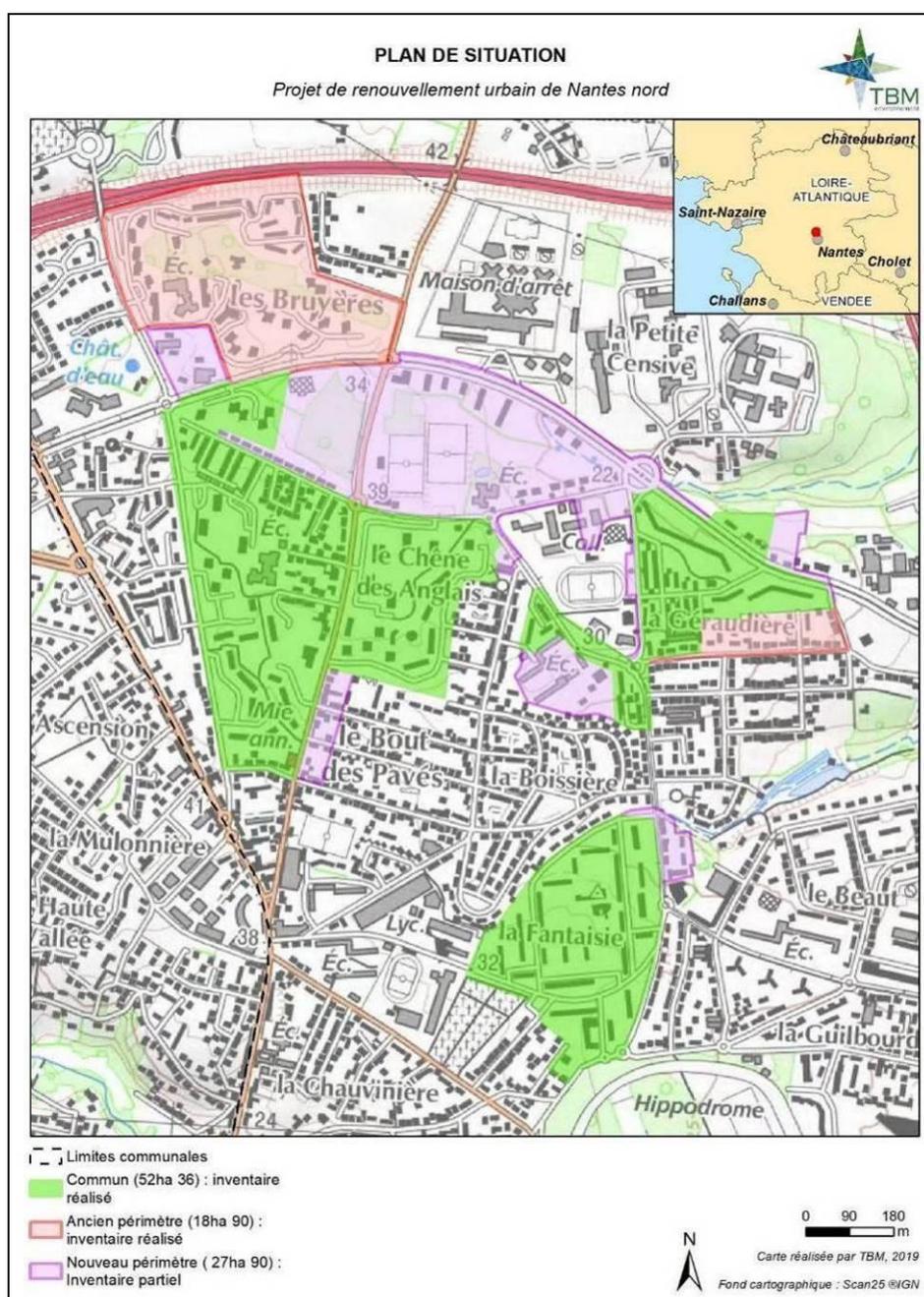
Tableau 1	: Synthèse des résultats des sondages pédologiques réalisés au sein de la zone d'étude ..	13
Tableau 2	: Synthèse des surfaces des zones humides dans la zone d'étude.....	16

Carte 1	: Localisation de la zone d'étude	4
Carte 2	: Localisation des milieux potentiellement humides (DREAL Pays de la Loire et Agrocampus Ouest).....	5
Carte 3	: Localisation des secteurs échantillonner pour la caractérisation des zones humides.....	8
Carte 5	: Cartographie des habitats.....	11
Carte 6	: Localisation des relevés pédologiques	12
Carte 7	: Localisation des carottages humides ou non.....	15
Carte 8	: Délimitation des zones humides d'après des données pédologiques et de végétation (1/2)	16
Carte 9	: Délimitation des zones humides d'après des données pédologiques et de végétation (2/2)	17

1 CONTEXTE

Dans le cadre du Projet Global Nantes Nord (PGN2) un diagnostic écologique a été mené par TBM environnement en 2019 et 2020. Le présent rapport complète ce diagnostic environnemental et vise à la caractérisation et la délimitation des zones humides dans la zone d'étude (cf. Carte 1). Cette expertise se base sur la réglementation en vigueur à savoir l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009 qui fixe les critères de délimitation des zones humides.

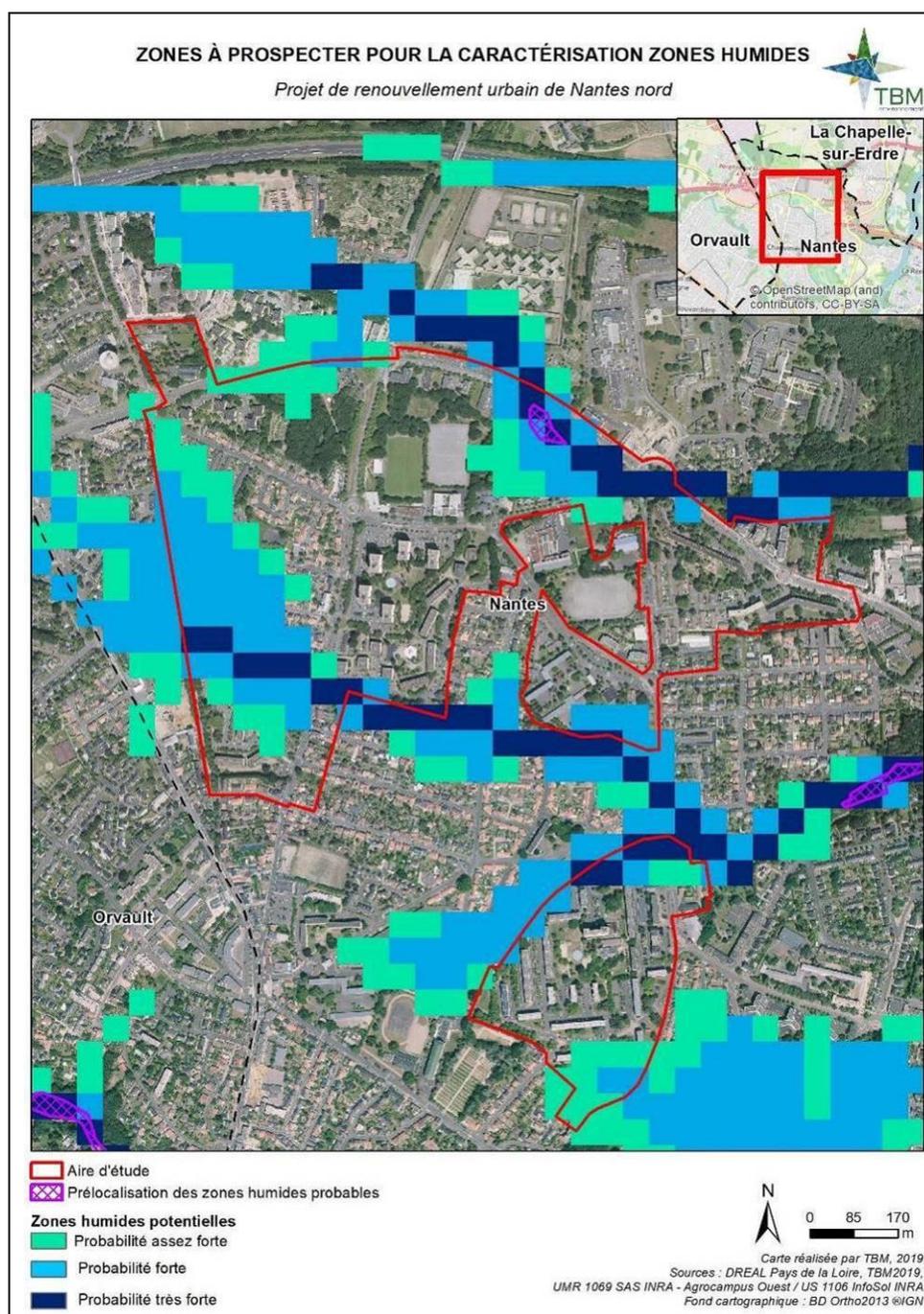
La cartographie des habitats ainsi que l'inventaire de la flore de la zone d'étude ont été réalisés en 2019 et 2020, la caractérisation des zones humides combine ainsi des relevés pédologiques et de végétation.



Carte 1 : Localisation de la zone d'étude

Les données disponibles *via* la cartographie des « Milieux potentiellement humides de France » (Agrocampus Ouest, 2014) indiquent plusieurs secteurs possiblement humides dans la zone d'étude. A noter que cette cartographie se base sur une méthode fondée sur la combinaison d'un indice topoclimatique (Mérot *et al.*, 2003) avec la dénivelée au cours d'eau pour prédire la distribution spatiale des zones humides potentielles.

En outre, une pré-localisation des zones humides fournie par la DREAL et la cartographie d'un inventaire communal réalisé à l'échelle de Nantes métropole à partir de l'analyse de la végétation (HARDY, 2012), indiquent plus précisément les zones humides probables (cf. Carte 2).



Carte 2 : Localisation des milieux potentiellement humides (DREAL Pays de la Loire et Agrocampus Ouest)

2 MATERIEL ET METHODES

L'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009 fixe les critères de délimitation des zones humides dans le cadre particulier de l'application des régimes de déclaration et d'autorisation des installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) au titre de la loi sur l'eau (art. L.214-1 et suivants et R.214-1 du code l'environnement) et de la législation sur les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE, art. L214-7 du code de l'environnement).

Les critères de définition et de délimitation des zones humides fixés dans cet arrêté sont les suivants. Un espace peut être considéré comme zone humide dès qu'il présente l'un des critères suivants :

- ses sols correspondent à un ou plusieurs types pédologiques parmi ceux listés à l'annexe 1 de l'arrêté cité précédemment (Classes d'hydromorphie du GEPPA) ;
- sa végétation, si elle existe, est caractérisée :
 - soit par des espèces indicatrices de zones humides (listées à l'annexe 2. 1) ;
 - soit par des communautés d'espèces végétales, dénommées « habitats », caractéristiques de zones humides (listés à l'annexe 2. 2).

2.1 Critère flore/habitat

2.1.1 Méthode par l'approche « habitat »

Les habitats ont été caractérisés suivant la typologie CORINE Biotope. Leur caractérisation n'a pas nécessité la réalisation de relevés phytosociologiques. Si le milieu ciblé correspond à un habitat humide, comme indiqué dans la table B de l'Annexe II de l'arrêté, la zone est alors classée comme humide.

2.1.2 Méthode par l'approche « espèces végétales »

Quand l'approche habitat n'est pas possible, un relevé des espèces végétales est alors effectué, suivant le protocole précisé dans l'Annexe II de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009.

Comme pour les habitats, la superficie d'un relevé varie en fonction du type de végétation, le relevé se fait sur une placette circulaire, d'un rayon de 3, 6 ou 12 pas selon le type de milieu (herbacé, arbustif ou arborescent).

Les espèces floristiques sont identifiées et une estimation visuelle du pourcentage de recouvrement des espèces est effectuée pour chaque strate de végétation (herbacée, arbustive ou arborescente) en travaillant par ordre décroissant de recouvrement.

Le pourcentage de recouvrement des espèces est noté pour chaque strate et les espèces classées par ordre décroissant, ce qui permet d'établir, pour chaque strate, une liste des espèces dominantes dont les pourcentages de recouvrement cumulés permettent d'atteindre 50 % du recouvrement total de la strate.

Les espèces ayant individuellement un pourcentage de recouvrement supérieur ou égal à 20 % sont ajoutées, si elles n'ont pas été comptabilisées précédemment. Les listes obtenues pour chaque strate sont regroupées en une seule liste d'espèces dominantes toutes strates confondues.

Le caractère hygrophile des espèces de cette liste est examiné. Si la moitié au moins des espèces de cette liste figurent dans la liste des espèces indicatrices de zones humides (Annexe II, table A de l'arrêté du 24 juin 2008), la végétation peut être qualifiée d'hygrophile et la zone est alors classée comme humide.

2.2 Critère pédologique

L'engorgement des sols par l'eau peut se révéler sous la forme de traces qui perdurent dans le temps appelées « traits d'hydromorphie ». Ces traits sont la plupart du temps observables. Ils peuvent persister à la fois pendant les périodes humides et sèches, ce qui les rend particulièrement intéressants pour identifier les sols de zones humides.

Les sols de zones humides se caractérisent généralement ainsi par la présence d'un ou plusieurs traits d'hydromorphie suivants :

- Des traits rédoxiques,
- Des horizons réductiques,
- Des horizons histiques.

2.2.1 Cadre réglementaire

Si un secteur ne présentait pas de végétation caractéristique, la présence de réductisol, de rédoxisol ou d'histisol, etc. (cf. référentiel pédologique de l'Association française pour l'étude du sol « AFES ») est alors recherchée afin de déterminer l'existence de zones humides.

Les sondages pédologiques visent en particulier à identifier la présence :

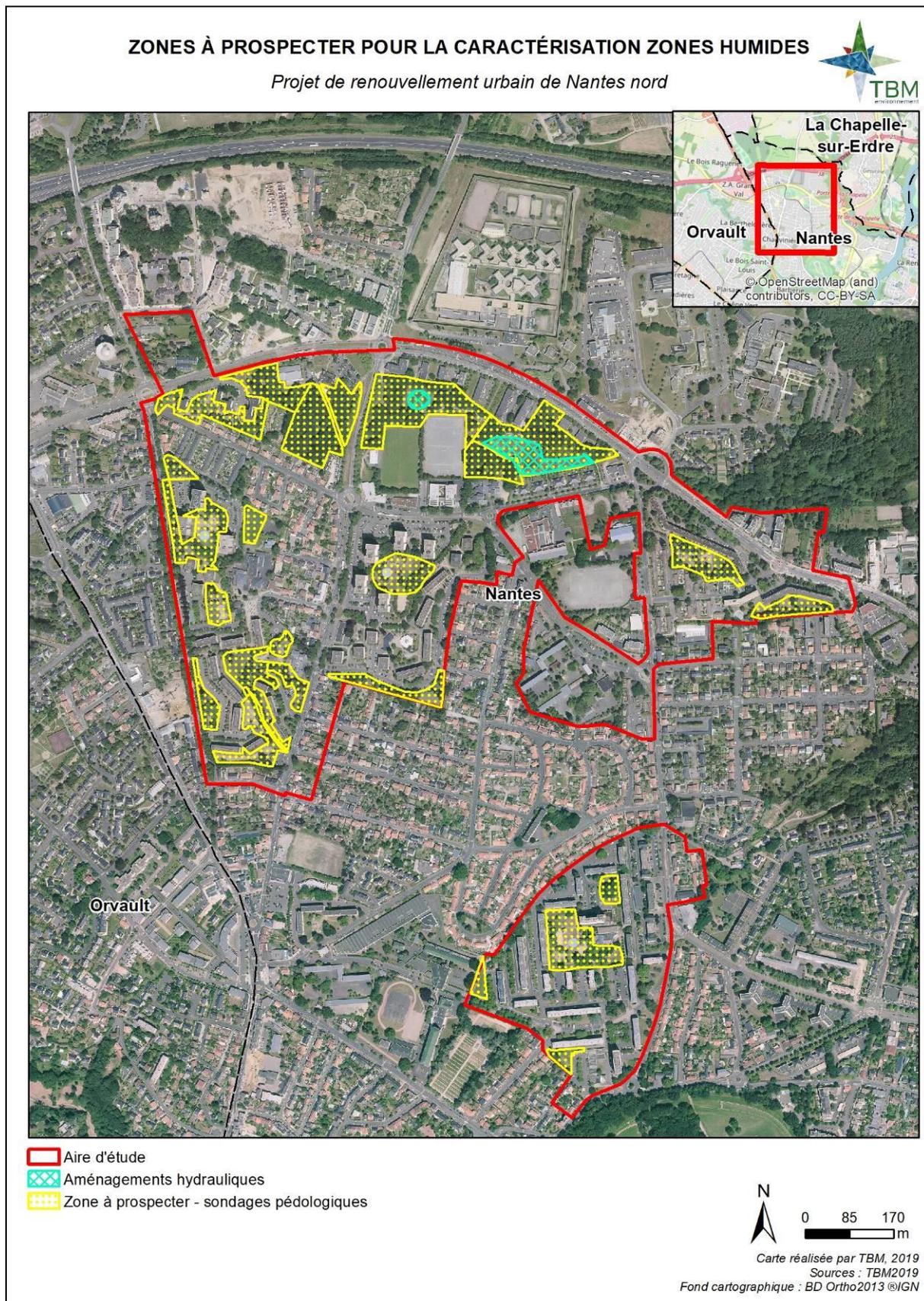
- ✓ D'horizons histiques (ou tourbeux) débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol et d'une épaisseur d'au moins 50 cm,
- ✓ De traits réductiques débutant à moins de 50 cm de la surface du sol,
- ✓ De traits rédoxiques débutant à moins de 25 cm de la surface du sol et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur,
- ✓ De traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm de la surface du sol, se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur, et de traits réductiques apparaissant entre 80 et 120 cm de profondeur.

Si le sondage rentre dans un des quatre cas de figure listés ci-dessus le sol est considéré comme sol de zone humide. Si aucune trace réductique, rédoxique ou histique n'est trouvée dans les 50 premiers centimètres, et en l'absence d'autres signes de sols humides, les sondages sont dans tous les cas continués, si possible, jusqu'à 1,20 m de profondeur même si le sol peut être considéré comme sol de zone sèche à partir de 60 cm.

Les sondages sont localisés au GPS et la nature du sol notée pour justifier la caractérisation en zone humide ou sèche.

2.2.2 Echantillonnage

Du fait des particularités de la zone d'étude et des enjeux, un plan de sondage a été défini au sein de plusieurs secteurs localisés sur la carte ci-après.



Carte 3 : Localisation des secteurs échantillonner pour la caractérisation des zones humides

Les sondages pédologiques ont été effectués à l'aide d'une tarière suivant le protocole précisé dans l'Annexe I de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009.



Figure 1 : Matériel utilisé pour réaliser les sondages pédologiques

3 RESULTATS

3.1 Critère habitats/flore

Les inventaires ciblés sur les habitats et la flore menés en 2019 et 2020 sur la zone d'étude, ont permis de recenser plusieurs zones humides conformément à la méthodologie 2.2.1. de l'arrêté du 1^{er} octobre 2009, relatif à la définition des zones humides. Ces habitats sont décrits ci-dessous et localisées sur la Carte 4.

➤ Prairies humides non communautaire (NC)

Les prairies humides identifiées sur l'aire d'étude s'apparentent à des prairies à Jonc diffus *Juncus effusus*. La caractérisation précise de cette végétation était impossible car tondue lors des différents passages.



Figure 2 : Prairie humide (TBM environnement, 2019)

➤ Jonchaies

Formation de Jonc au sein de prairies humides eutrophisées. Sur l'aire d'étude, cette végétation n'est observée qu'au sein d'un ouvrage hydraulique.



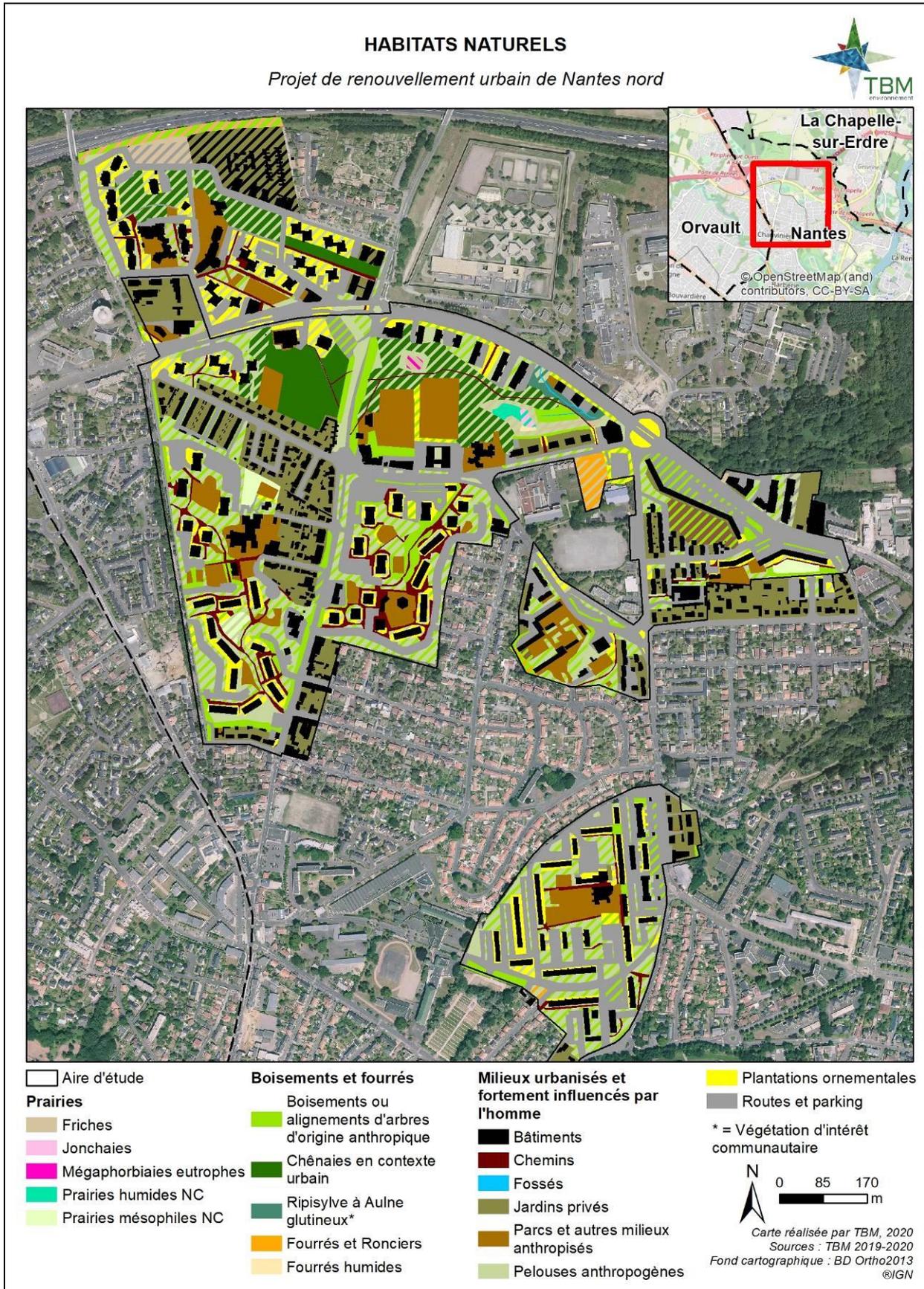
Figure 3 : Jonchaie (TBM environnement, 2019)

➤ **Fourrés humides**

Cette végétation n'est observée qu'au niveau du parc de l'amande, en bordure d'aménagements hydrauliques abritant des végétations de friches ou de jonchaies. Il s'agit de fourrés de saules caractéristiques ici des végétations humides.



Figure 4 : Fourré humide (TBM environnement, 2019)



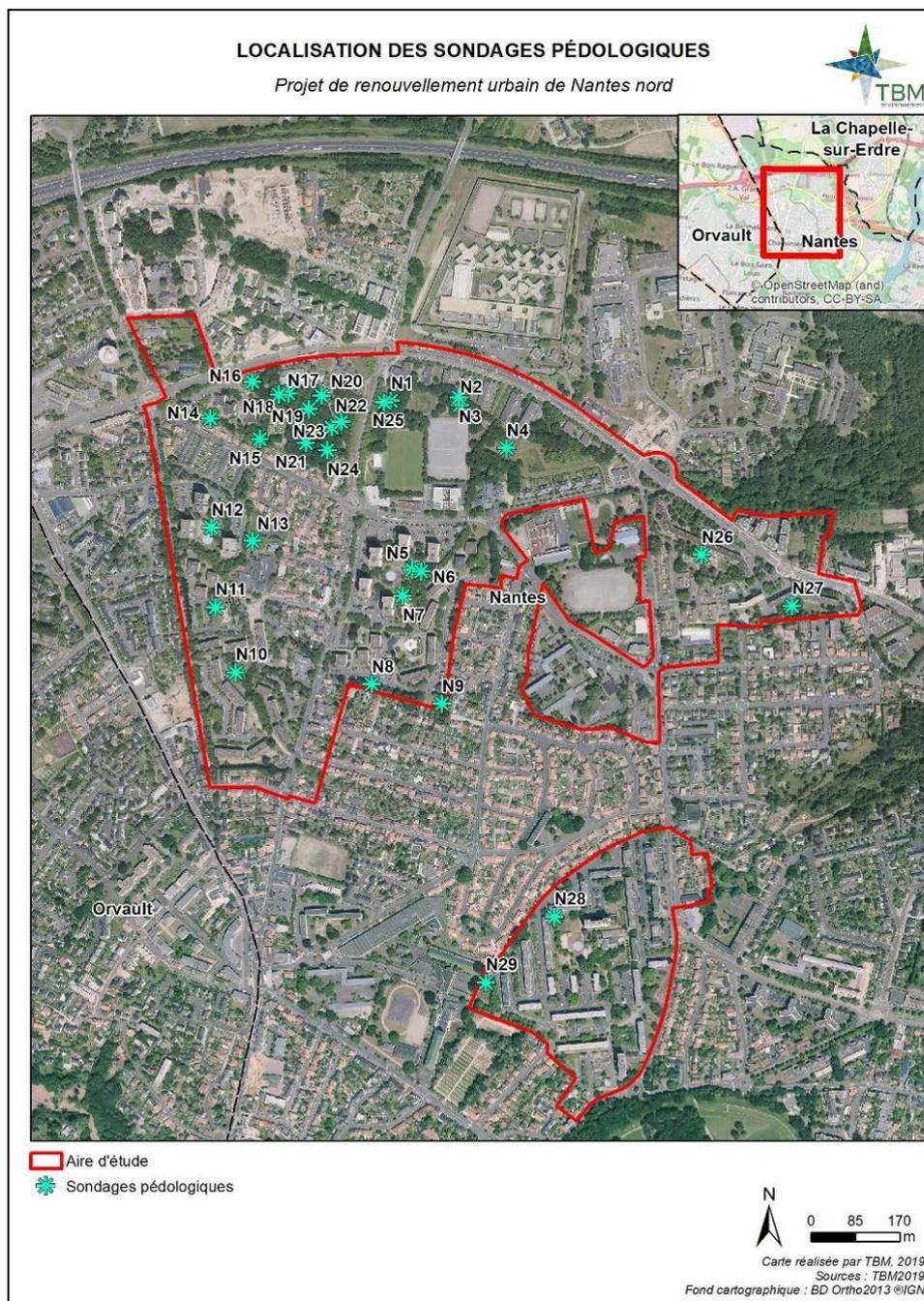
Carte 4 : Cartographie des habitats

3.2 Critère pédologique

3.2.1 Localisation des relevés pédologiques

Le nombre et la localisation des sondages réalisés reposent sur une approche raisonnée, basée sur la lecture du pédopaysage qui prend en compte les variations de la topographie, de l'occupation du sol, et de certaines caractéristiques de la surface du sol, telles que la couleur, la charge et la nature en éléments grossiers, la structure, etc.

La zone d'étude a été prospectée le 16 décembre 2020 où 29 sondages pédologiques ont été réalisés au sein des différents secteurs préalablement identifiés pour l'inventaire des zones humides. La carte suivante localise les relevés pédologiques réalisés.



Carte 5 : Localisation des relevés pédologiques

3.2.1 Résultats des analyses pédologiques

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des relevés pédologiques effectués au sein de la zone d'étude. En raison de la composition du sol (roche, remblais, sol remanié, etc.), la grande majorité des carottages a été réalisée à des profondeurs relativement faibles ; la profondeur maximale étant de 75 cm. Néanmoins, tous les sondages ont pu être réalisés à des profondeurs supérieures à 25 cm, ce qui permet de statuer quant au caractère humide de chaque relevé.

Tableau 1 : Synthèse des résultats des sondages pédologiques réalisés au sein de la zone d'étude

N° du relevé	Profondeur du sondage (cm)	Description des horizons			Critères relatifs à l'hydromorphie			Sol de zone humide
					Horizons tourbeux	Traits rédoxiques	Traits réductiques	
N01	60	0-25 terre	25-60 A		non	Présence de faibles taches de rouille à 30cm/se prolongent	non	non
N02	25	0-25 terre			non	Présence importante de taches de rouille entre 0 et 25cm	non	oui
N03	30	0-30 terre			non	Présence de taches de rouille entre 0 et 30cm	non	oui
N04	60	0-30 terre	30-60 A		non	Présence de taches de rouille entre 0 et 30cm/se prolongent	non	oui
N05	50	0-25 terre	25-50 A		non	non	non	non
N06	40	0-20 terre	20-40 A		non	non	non	non
N07	30	0-30 terre			non	non	non	non
N08	30	0-30 terre			non	non	non	non
N09	60	0-30 terre	30-60 A		non	non	non	non
N10	75	0-25 terre	25-50 TA	50-75 A	non	non	non	non
N11	40	0-40 terre			non	non	non	non
N12	50	0-50 TS			non	non	non	non
N13	30	0-30 TS			non	non	non	non
N14	40	0-40 terre			non	non	non	non
N15	50	0-25 terre	25-50 A		non	non	non	non
N16	50	0-25 terre	25-50 A		non	Présence de faibles taches de rouille à 30cm	non	non

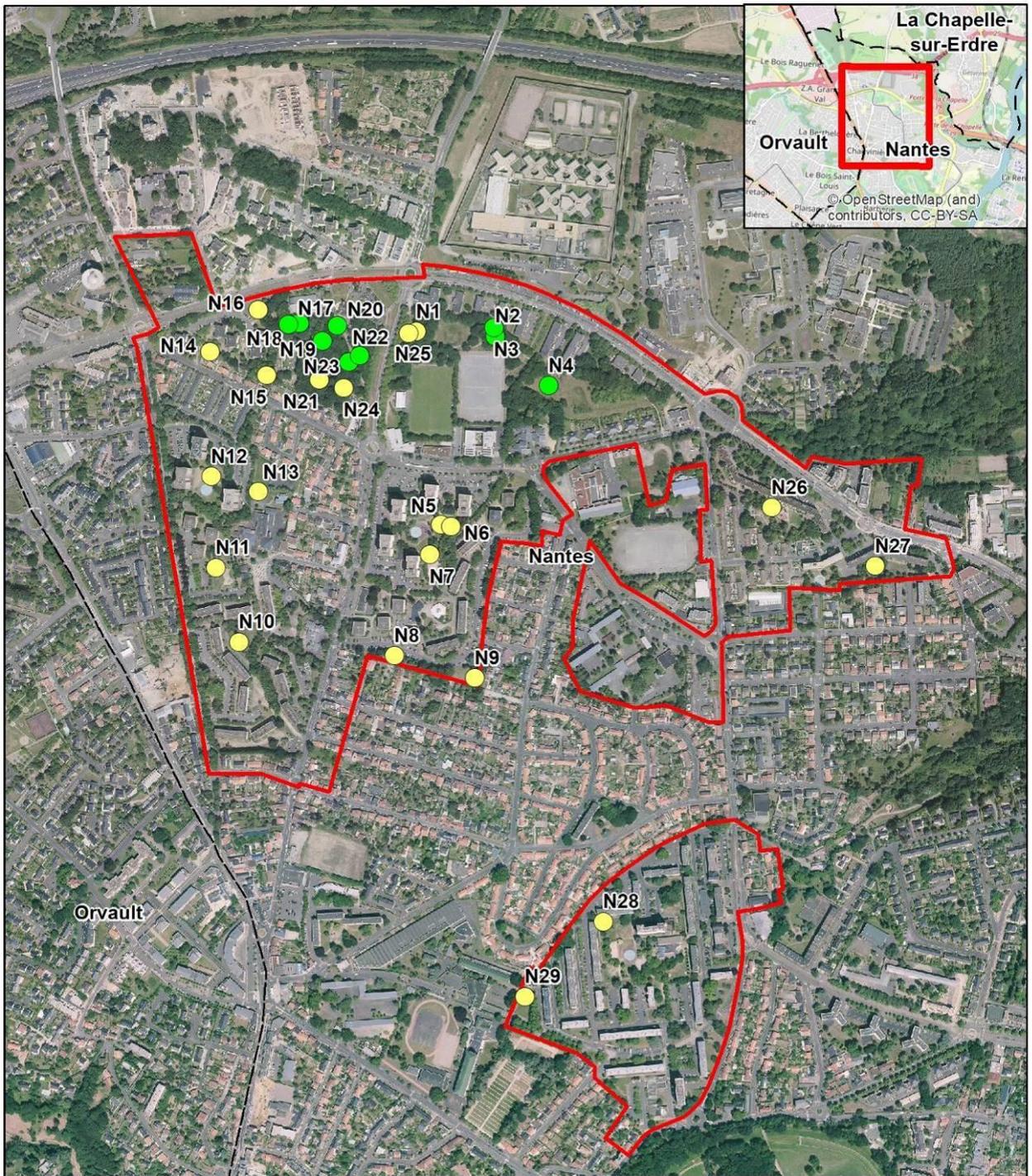
N° du relevé	Profondeur du sondage (cm)	Description des horizons			Critères relatifs à l'hydromorphie			
					Horizons tourbeux	Traits rédoxiques	Traits réductiques	Sol de zone humide
N17	70	0-25 terre	25-50 TA		non	Présence importante de taches de rouille entre 0 et 25cm/se prolongent	Présence de faibles taches à 60cm	oui
N18	70	0-50 terre	50-70 A		non	Présence de taches de rouille entre 0 et 50cm	non	oui
N19	60	0-25 terre	25-50 TA	50-60 A	non	Présence de faibles taches de rouille entre 0 et 25cm	non	oui
N20	60	0-25 terre	25-50 TA	50-60 A	non	Présence de taches de rouille entre 0 et 50cm	non	oui
N21	40	0-10 terre	10-40 A		non	non	non	non
N22	60	0-15 terre	15-60 A		non	Présence importante de taches de rouille entre 0 et 25cm/se prolongent	Présence de taches à 40cm	oui
N23	75	0-50 terre	50-75 A		non	Présence de taches de rouille entre 0 et 50cm	non	oui
N24	50	0-20 terre	20-50 TA		non	Présence importante de taches de rouille à 25cm	non	non
N25	50	0-25 terre	25-50 TA		non	non	non	non
N26	50	0-25 terre	25-50 A		non	non	non	non
N27	25	0-25 terre			non	non	non	non
N28	60	0-30 terre	30-60 A		non	non	non	non
N29	50	0-25 terre	25-50 A		non	non	non	non

TS : Terre Sableuse, AS : Argile Sableuse, TA : Terre Argileuse, A : Argile.

La carte, page suivante, illustre les résultats de l'analyse des relevés pédologiques et les photos des relevés pédologiques avec traits hydromorphiques figurent en Annexe 3.

CARACTÉRISATION DES ZONES HUMIDES - CRITÈRES PÉDOLOGIQUES

Projet de renouvellement urbain de Nantes nord



Aire d'étude

Caractérisation des zones humides - critères pédologiques

- Humide
- Non humides



0 85 170
m

Carte réalisée par TBM, 2019
Sources : TBM2019
Fond cartographique : BD Ortho2013 ©IGN

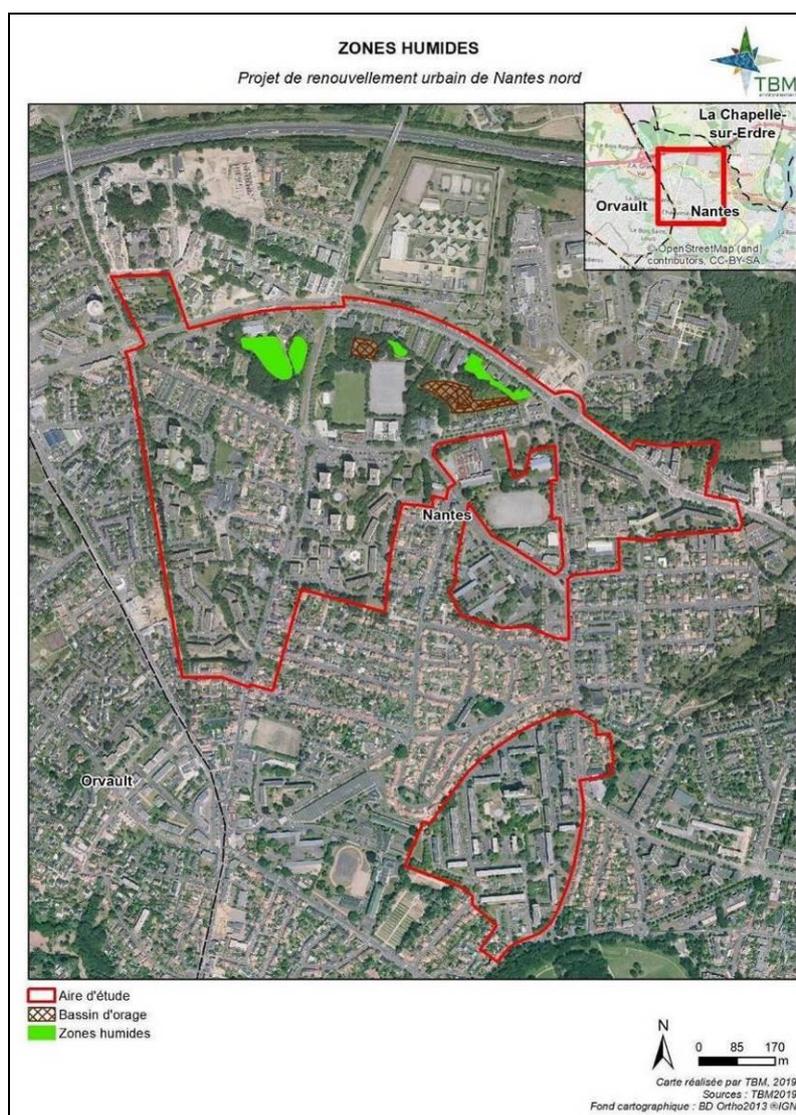
Carte 6 : Localisation des carottages humides ou non

4 DELIMITATION DES ZONES HUMIDES

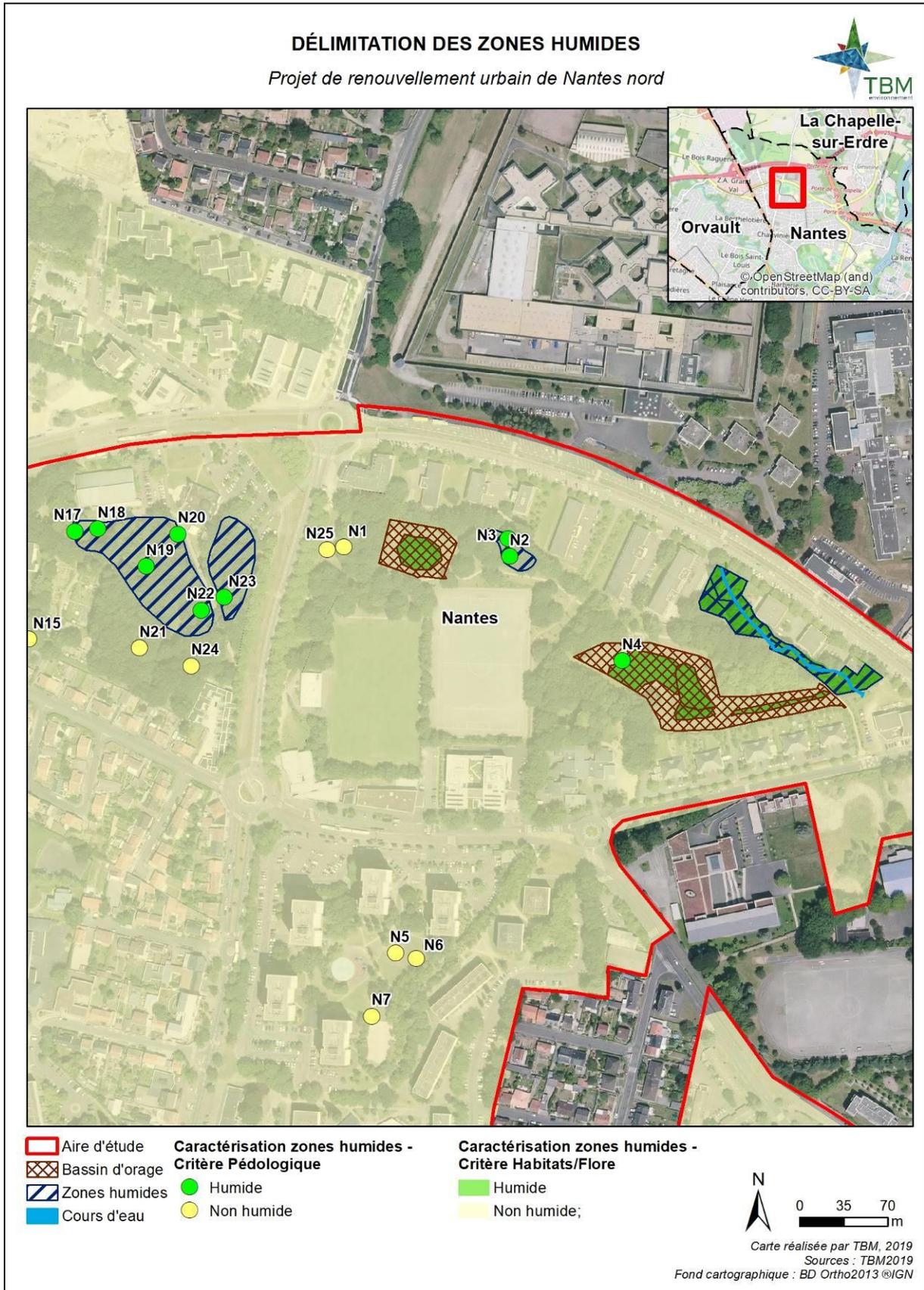
La carte ci-dessous présente la délimitation des zones humides intégrant les résultats de la pédologie et les données de végétation. A noter que deux secteurs identifiés comme zone humide sur la base de critères végétation et/ou pédologiques sont liés à des ouvrages de gestion des eaux pluviales (bassin d'orage) et de ce fait sortent de la classification zone humide. Les surfaces des différentes zones humides sont présentées dans le tableau ci-dessous ; 10 874 m² sont donc à considérer comme appartenant à des zones humides.

Tableau 2 : Synthèse des surfaces des zones humides dans la zone d'étude

	Critères déterminants	Surface (m ²)	Surface (ha)
Bassin d'orage	Végétation	8 704,3	0,9
Zones humides	Végétation	2 438,8	0,2
	Pédologie	8 435,5	0,8
	Sous-total	10 874,4	1,1
Total général		19 578,7	2,0



Carte 7 : Délimitation des zones humides d'après des données pédologiques et de végétation (1/2)



Carte 8 : Délimitation des zones humides d'après des données pédologiques et de végétation (2/2)

5 BIBLIOGRAPHIE

AFES, 2008. Référentiel pédologique. Association Française pour l'étude du sol, 435 p.

Bensettiti F., Bouillet V., Chavaudret-Laborie C. & Deniaud J. (coord.), 2005. - « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 – Habitats agropastoraux. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 2 volumes : 445 p. et 487 p.

Bensettiti F., Gaudillat V. & Haury J. (coord.), 2002. - « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3 - Habitats humides. MATE/MAP/ MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 457 p.

Cizel O. / Groupe d'histoire des zones humides, 2010. - Protection et gestion des espaces humides et aquatiques - Guide juridique d'accompagnement des bassins de Rhône-Méditerranée et de Corse. Agence de l'eau RM&C, Pôle relais lagunes méditerranéennes, 566 p.

CORINE biotopes, 1997. - Version originale - Types d'habitats français. ENGREF Nancy, 217 p.

Louvel J., Gaudillat V. & Poncet L., 2013. - EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289 p.

MEDDE, GIS Sol. 2013. Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, 63 pages.

Société Botanique de France (coord. Tison J.-M. & De Foucault B.), 2014. - Flora Gallica - Flore complète de la France. Éditions Biotope, 1195 p.

Sites internet consultés :

Dreal Pays-de-la-Loire : <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/>

Géoportail : <http://www.geoportail.gouv.fr/>

Inventaire National du Patrimoine Naturel : <http://www.inpn.mnhn.fr>

Site internet et base de données en ligne Agro-Campus Ouest : <http://geowww.agrocampus-ouest.fr/portails/?portail=mph&mode=viewer&viewer=http://geowww.agrocampus-ouest.fr/sviewer>

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des habitats cartographiés dans la zone d'étude

Végétation	Cahiers d'habitat	EUNIS	CORINE Biotopes	Surfaces			
Prairies				1,68 ha	1.34%		
Prairies mésophiles NC	-	E2.21	Prairies de fauche atlantiques	38.2	Prairies de fauche de basse altitude	0,52 ha	0.52 %
Prairies humides NC	-	E3.4	Prairies eutrophes et mésotrophes humides ou mouilleuses	37.2	Prairies humides eutrophes	0,16 ha	0.1 6%
Jonchaies	-	D5.3	Zones marécageuses dominées par Juncus effusus ou d'autres grands Juncus	53.5	Jonchaies hautes	0,03 ha	0.03 %
Friches	-	I1.5	Friches, jachères ou terres arables récemment abandonnées	87	Terrains en friche et terrains vagues	0,99 ha	0,99 %
Boisements et fourrés				13,64 ha	13.87 %		
Fourrés et Ronciers	-	F3.1	Fourrés tempérés	31.8	Fourrés	0,69 ha	0.70 %
Fourrés humides	-	F3.1	Fourrés tempérés	31.8	Fourrés	0,07 ha	0.07 %
Chênaies en contexte urbain	-	41.2	Chenaies-Charmaies	G1.A1	Boisements sur sols eutrophes et mésotrophes à Quercus, Fraxinus et Carpinus betulus	4,69 ha	4,77 %
Boisements ou alignements d'arbres d'origine anthropique	-	G5.1 & G5.5	Petits bois anthropiques mixtes de feuillus et conifères & Alignement d'arbres	84.1 & 85.11	Parcelles boisées de parcs & Alignement d'arbres	8,20 ha	8,33 %
Milieus urbanisés et fortement influencés par l'homme				83,02 ha	84.42%		
Pelouses anthropogènes	-	E2.6	Prairies améliorées, réensemencées et fortement fertilisées, y compris les terrains de sport et les pelouses ornementales	85.1	Pelouses des parcs	14,40 ha	14,64 %
Parcs et autres milieux anthropisés	-	I2.23 & J4.6	Petits parcs et squares citadins & Surfaces pavées et espaces récréatifs	85.2 & 86.1	Petits parcs et squares citadins & Villes	7,41 ha	7,53 %
Jardins privés	-	X24	Jardins domestiques des villes et des centres-villes	85.3	Jardins	9,47 ha	9.63 %
Plantations ornementales	-	I2.11	Parterres, tonnelles et massifs d'arbustes des jardins publics	85.14	Parterre de fleurs, avec arbres et avec bosquet en parc	3,97 ha	4,04 %
Bâtiments	-	J1	Bâtiments des villes et des villages	86.1	Villes	15,34 ha	15.69 %
Routes et parking	-	J4.2	Réseaux routiers	86.1	Villes	29,39 ha	29,89 %
Chemins	-	J4.6	Surfaces pavées et espaces récréatifs	86.1	Villes	3,01 ha	3.06 %
Fossés		J5.41	Canaux d'eau non salée complètement artificiels	89.22	Fossés et petits canaux	0,03 ha	0.03 %

Annexe 2 : Liste des espèces floristiques observées sur la zone d'étude en 2019

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce planté non indigène et ornementale
<i>Acer negundo</i> L.	Érable negundo, Érable frêne, Érable Négondo	x
<i>Acer platanoides</i> L.	Érable plane, Plane	
<i>Achillea millefolium</i> L. subsp. <i>millefolium</i>	Achillée millefeuille, Herbe au charpentier, Sourcils-de-Vénus	
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Marronnier d'Inde, Marronnier commun	x
<i>Agrimonia eupatoria</i> L.	Aigremoine, Francormier	
<i>Agrostis capillaris</i> L.	Agrostide capillaire	
<i>Agrostis stolonifera</i> L. subsp. <i>stolonifera</i>	Agrostide stolonifère	
<i>Aira caryophylla</i> L.	Canche caryophyllée	
<i>Alcea rosea</i> L.	Rose trémière, Passerose	
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	Arbre à soie	x
<i>Allium</i> sp.		
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Aulne glutineux, Verne	
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amarante réfléchie, Amarante à racine rouge, Blé rouge	
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Mouron rouge, Fausse Morgeline	
<i>Angelica sylvestris</i> L.	Angélique sauvage, Angélique sylvestre, Impéatoire sauvage	
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	Flouve odorante	
<i>Araucaria</i> sp.	Araucacia	
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl	Fromental élevé, Ray-grass français	
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Armoise commune, Herbe de feu	
<i>Arum italicum</i> Mill.	Gouet d'Italie, Pied-de-veau	
<i>Avena barbata</i> Pott ex Link subsp. <i>barbata</i>	Avoine barbue	
<i>Bellis perennis</i> L. subsp. <i>perennis</i>	Pâquerette	
<i>Betula</i> sp.	Bouleau	
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	Brome mou	
<i>Bromus willdenowii</i> Kunth	Brome faux Uniola, Brome purgatif	
<i>Buddleja davidii</i> Franch.	Buddleja du père David, Arbre à papillon, Arbre aux papillons	
<i>Campanula rapunculus</i> L.	Campanule raiponce	
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.)	Capselle bourse-à-pasteur	
<i>Carex divulsa</i> Stokes	Laïche écartée	
<i>Carpinus betulus</i> L.	Charme, Charmille	
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	Catalpa, Arbre aux haricots	x
<i>Cedrus libani</i> A.Rich.	Cèdre du Liban, Cèdre du mont Liban	x
<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC. subsp. <i>ruber</i>	Valériane rouge	
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	Céraiste aggloméré, Oreille de souris	
<i>Chelidonium majus</i> L.	Grande chélideine, Herbe à la verrue, Éclair	
<i>Chenopodium album</i> L.	Chénopode blanc, Senousse	
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Cirse des champs, Chardon des champs	
<i>Conopodium majus</i> (Gouan) Loret	Conopode dénudé, Grand Conopode	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Liseron des champs, Vrillée	
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	Conyze du Canada	
<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E.Walker	Vergerette de Barcelone	
<i>Coronopus didymus</i> (L.) Sm.	Passerage didyme, Herbe cressonnette, Cressonnette, Sochette	
<i>Corylus avellana</i> L.	Noisetier, Avelinier	
<i>Cotoneaster</i> sp.	Cotonéaster	
<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr.	Crépide capillaire, Crépis à tiges capillaires	
<i>Cymbalaria muralis</i> P.Gaertn., B.Mey. & Scherb.	Cymbalaire, Ruine de Rome, Cymbalaire des murs	
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Genêt à balai, Juniesse	
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Dactyle aggloméré, Pied-de-poule	
<i>Daucus carota</i> L.	Carotte sauvage, Daucus carotte	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce planté non indigène et ornementale
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Digitaire sanguine, Digitaire commune	
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	Chiendent commun, Chiendent rampant	
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Épilobe hérissé, Épilobe hirsute	
<i>Epilobium lanceolatum</i> Sebast. & Mauri	Épilobe à feuilles lancéolées	
<i>Epipactis helleborine</i> (L.) Crantz	Épipactis à larges feuilles, Elléborine à larges feuilles	
<i>Erigeron karvinskianus</i> DC.	Érigéron de Karvinsky, Pâquerette, Marguerite folle, Marguerite folle, Mère de famille nombreuse, Vergerette de Karvinsky	
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér.	Érodium à feuilles de cigue, Bec de grue, Cicutaire	
<i>Euphorbia peplus</i> L.	Euphorbe omblette, Essule ronde	
<i>Fagus sylvatica</i> L.	Hêtre commun	
<i>Fraxinus excelsior</i> L. subsp. <i>excelsior</i>	Frêne élevé, Frêne commun	
<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumeterre officinale, Herbe à la veuve	
<i>Galium aparine</i> L.	Gaillet gratteron, Herbe collante	
<i>Galium mollugo</i> L.	Gaillet commun, Gaillet Mollugine	
<i>Geranium molle</i> L.	Géranium à feuilles molles	
<i>Geranium robertianum</i> L.	Herbe à Robert	
<i>Geum urbanum</i> L.	Benoîte commune, Herbe de saint Benoît	
<i>Glechoma hederacea</i> L.	Lierre terrestre, Gléchome Lierre terrestre	
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Févier d'Amérique	x
<i>Hedera helix</i> L.	Lierre grim pant, Herbe de saint Jean	
<i>Heracleum sphondylium</i> L.	Patte d'ours, Berce commune, Grande Berce	
<i>Holcus lanatus</i> L.	Houlque laineuse, Blanchard	
<i>Hordeum murinum</i> L.	Orge sauvage, Orge Queue-de-rat	
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Millepertuis perforé, Herbe de la Saint-Jean	
<i>Hypochaeris radicata</i> L.	Porcelle enracinée	
<i>Juglans regia</i> L.	Noyer royal, Noyer, Noyer anglais, Noyer commun	
<i>Juncus bufonius</i> L.	Jonc des crapauds	
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	Jonc aggloméré	
<i>Juncus effusus</i> L.	Jonc épars, Jonc diffus	
<i>Lactuca serriola</i> L.	Laitue scariote, Escarole	
<i>Lactuca virosa</i> L.	Laitue vireuse, Laitue sauvage	
<i>Lapsana communis</i> L.	Lampsane commune, Lastron marron, Herbe aux mamelles	
<i>Leontodon saxatilis</i> Lam.	Liondent faux-pissenlit, Léontodon des rochers	
<i>Lepidium ruderales</i> L.	Passerage des décombres, Passerage rudérale	
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	Marguerite commune, Leucanthème commun	
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.	Linaire commune	
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Liquidambar	x
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulipier	x
<i>Lolium perenne</i> L.	Ivraie vivace	
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Lotier corniculé, Pied de poule, Sabot-de-la-mariée	
<i>Lythrum hyssopifolia</i> L.	Salicaire à feuilles d'hyssope, Salicaire à feuilles d'Hyssope	
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Salicaire commune, Salicaire pourpre	
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Pommier cultivé	x
<i>Malva neglecta</i> Wallr.	Petite mauve	
<i>Malva sylvestris</i> L.	Mauve sauvage, Mauve sylvestre, Grande mauve	
<i>Matricaria discoidea</i> DC.	Matricaire fausse-camomille, Matricaire discoïde	
<i>Medicago arabica</i> (L.) Huds.	Luzerne tachetée	
<i>Medicago sativa</i> L.	Luzerne cultivée	
<i>Melilotus albus</i> Medik.	Mélicot blanc	
<i>Melissa officinalis</i> L. subsp. <i>officinalis</i>	Mélisse officinale	
<i>Morus</i> sp.	Murier	x
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalis corniculé, Trèfle jaune	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce planté non indigène et ornementale
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Coquelicot	
<i>Parietaria judaica</i> L.	Pariétaire des murs, Pariétaire de Judée, Pariétaire diffuse	
<i>Parthenocissus inserta / quinquefolia</i>	Vigne	
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud.	Paulownia, Arbre d'Anna Paulowna	x
<i>Phleum pratense</i> L.	Fléole des prés	
<i>Pinus</i> sp.	Pin	x
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pin sylvestre	x
<i>Plantago coronopus</i> L. subsp. <i>coronopus</i>	Plantain Corne-de-cerf	
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantain lancéolé, Petit plantain, Herbe Caroline, Ti-plantain	
<i>Plantago major</i> L.	Plantain majeur, Gros plantain, Grand plantain	
<i>Platanus aceriflora</i>	Plantane commun	x
<i>Poa annua</i> L.	Pâturin annuel	
<i>Poa pratensis</i> L.	Pâturin des prés	
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Renouée des oiseaux, Renouée Traînage	
<i>Populus nigra</i> L.	Peuplier commun noir, Peuplier noir	x
<i>Potentilla reptans</i> L.	Potentille rampante, Quintefeuille	
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Herbe Catois	
<i>Prunus avium / cerasus</i>	Merisier	
<i>Prunus serrulata</i>	Cerisier fleur	x
<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh.	Pulicaire dysentérique	
<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>ilex</i>	Chêne vert	x
<i>Quercus pubescens</i> Willd. subsp. <i>pubescens</i>	Chêne pubescent	
<i>Quercus robur</i> L. subsp. <i>robur</i>	Chêne pédonculé, Gravelin	
<i>Quercus rubra</i> L.	Chêne rouge d'Amérique	x
<i>Ranunculus acris</i> L.	Bouton d'or, Pied-de-coq	
<i>Ranunculus repens</i> L.	Renoncule rampante	
<i>Ranunculus sardous</i> Crantz	Renoncule sarde, Sardonie	
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Ravenelle, Radis sauvage	
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	Renouée du Japon	
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Robinier faux-acacia, Carouge	x
<i>Rosa</i> gr. <i>canina</i>	Rosier des chiens	
<i>Rubus caesius</i> L.	Ronce à fruits bleus	
<i>Rubus</i> sp.	Ronce	
<i>Rumex acetosa</i> L.	Oseille des prés, Rumex oseille	
<i>Rumex conglomeratus</i> Murray	Patience agglomérée, Oseille agglomérée	
<i>Rumex crispus</i> L.	Rumex crépu	
<i>Rumex obtusifolius</i> L. subsp. <i>obtusifolius</i>	Patience à feuilles obtuses	
<i>Rumex pulcher</i> L. subsp. <i>pulcher</i>	Rumex joli	
<i>Salix alba</i> L.	Saule blanc, Saule commun	
<i>Salix x sepulcralis</i> Simonk.	Saule pleureur	x
<i>Sambucus ebulus</i> L.	Sureau yèble, Herbe à l'aveugle	
<i>Senecio jacobaea</i> L.	Herbe de saint Jacques	
<i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.	Compagnon rouge, Robinet rouge	
<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop.	Moutarde	
<i>Smyrniolum olusatrum</i> L.	Maceron cultivé	
<i>Solanum dulcamara</i> L.	Douce amère, Bronde	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Laiteron épineux	
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Laiteron potager, Laiteron lisse	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. subsp. <i>media</i>	Stellaire intermédiaire, Mouron, Mouron blanc	
<i>Symphitum officinale</i> L. subsp. <i>officinale</i>	Grande consoude	
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	Tanaisie commune, Sent-bon	
<i>Taraxacum</i> gr. <i>officinale</i>	Pissenlit	
<i>Thuja plicata</i> D. Don ex Lamb.	Thuya géant, Cèdre de l'Ouest	x
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Tilleul à petites feuilles, Tilleul des bois	
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop. subsp. <i>platyphyllos</i>	Tilleul à grandes feuilles	
<i>Tragopogon porrifolius</i> L. subsp. <i>porrifolius</i>	Salsifis du Midi	

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Espèce planté non indigène et ornementale
<i>Trifolium campestre</i> Schreb. subsp. <i>campestre</i>	Trèfle champêtre, Trèfle jaune, Trance	
<i>Trifolium dubium</i> Sibth.	Trèfle douteux, Petit Trèfle jaune	
<i>Trifolium pratense</i> L.	Trèfle des prés, Trèfle violet	
<i>Trifolium repens</i> L.	Trèfle rampant, Trèfle blanc, Trèfle de Hollande	
<i>Ulex europaeus</i> L.	Ajonc d'Europe, Zépinard des hauts	
<i>Urtica dioica</i> L.	Ortie dioïque, Grande ortie	
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Molène bouillon-blanc, Herbe de saint Fiacre	
<i>Veronica persica</i> Poir.	Véronique de Perse	
<i>Vicia cracca</i> L.	Vesce cracca, Jarosse	
<i>Vicia hirsuta</i> (L.) S.F.Gray	Vesce hérissée, Ers velu	
<i>Vicia sativa</i> L.	Vesce cultivée, Poisette	
<i>Vinca minor</i> L.	Petite pervenche, Violette de serpent	
<i>Viola odorata</i> L.	Violette odorante	
<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C.Gmel.	Vulpie queue-de-rat, Vulpie Queue-de-souris	

Annexe 3 : Photographies des sondages pédologiques avec traits d'hydromorphie dans les premiers 25 cm de profondeur

Sondage pédologique n° N02 :



Sondage pédologique n° N03 :



Sondage pédologique n° N04 :



Sondage pédologique n° N17 :



Sondage pédologique n° N18 :



Sondage pédologique n° N19 :



Sondage pédologique n° N20 :



Sondage pédologique n° N22 :



Sondage pédologique n° N23 :



Annexe 4 : Photographies des sondages pédologiques avec ou sans traits d'hydromorphie après 25 cm de profondeur

Sondage pédologique n° N01 :



Sondage pédologique n° N06 :



Sondage pédologique n° N07 :



Sondage pédologique n° N08 :



Sondage pédologique n° N09 :



Sondage pédologique n° N10 :



Sondage pédologique n° N11 :



Sondage pédologique n° N12 :



Sondage pédologique n° N13 :



Sondage pédologique n° N14 :



Sondage pédologique n° N15 :



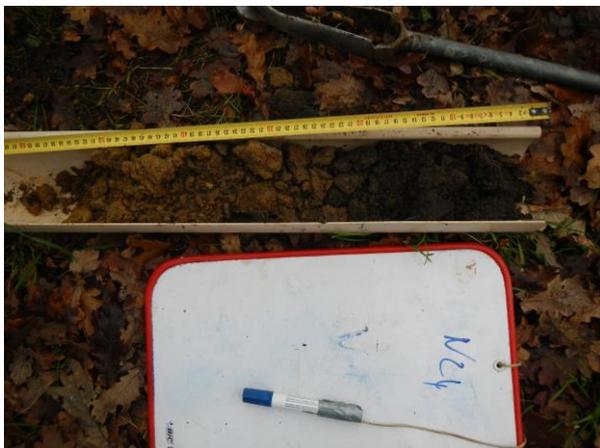
Sondage pédologique n° N16 :



Sondage pédologique n° N21 :



Sondage pédologique n° N24 :



Sondage pédologique n° N25 :



TBM environnement

Siège social :

2 rue de Suède Bloc III Porte Océane - 56400 AURAY

Tel 02.97.56.27.76. - Fax 02.97.29.18.89.

contact@tbm-environnement.com

www.tbm-environnement.com

Antenne Nord

20 rue de l'Hermitte

Imm Les Trois Ponts - 59140 DUNKERQUE

03.28.59.94.71. / 06.45.23.05.58

