

PROJET REPORT

“Bruit et ports”

CUP [_____]

Produit T4.1.1

[T4.1.1 Rapport d'analyse des données et des résultats du projet "Bruit et ports"]

Composante [T4 Mise en œuvre et rédaction de méthodes d'évaluation et de contrôle du bruit portuaire]

Activité [T4.1 : Collecte et analyse des données et des résultats obtenus dans le cadre des projets "Bruit et Ports"].

Organisation responsable de la composante: [UNICA-DICAAR]

Niveau de diffusion	
PU	Public
CO	Confidentiel, réservé aux partenaires

Nombre de produits livrables	[T4.1.1]
Responsable de la documentation à fournir	[Prof. Paolo Fadda]
Composant	[T4]

Auteur(s) - par ordre alphabétique		
Nom	Organisation	E-mail
Paolo Fadda	UNIV Cagliari	fadda@unica.it
Federico Sollai	UNIV Cagliari	fsollai@unica.it

--	--	--

Révision du document			
Version	Date	Modifications	
		Type de modification	Modifié par

Résumé

RÉSUMÉ

PRÉFACE	5
SEZIONE I. SECTION I. LE PROJET RUMBLE	5
1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET	5
2. SYNTHÈSE DU PROJET	6
3. ŒUVRES REALISEES POUR LA REDUCTION DU BRUIT	7
4. LES RÉSULTATS ET LES OUPUT DU PROJET	10
4.1 Les résultats du projet	10
SEZIONE II. LE PROJET DÉCIBEL.....	13
1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET	13
2. SYNTHÈSE DU PROJET	14
2.1 Définition d'une méthodologie pour le diagnostic acoustique des ports transfrontaliers.....	14
2.2 Diagnostic des 5 ports transfrontaliers	15
2.3 Stratégie et plans d'actions pour les ports de Bastia et l'île Rousse.....	16
3. LES MODÈLES ET MÉTHODOLOGIES UTILISÉS POUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS SONORES	17
3.1 Identification et caractérisation des sources.....	17
3.2 Construction des données météorologiques	18
3.3 Autres recommandations pour la bonne réalisation des calculs	22
4. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET ANALYSE CRITIQUE	23
4.1 Les résultats du projet	23
4.2 Analyse critique des résultats et du niveau de réalisation des objectifs	26
SEZIONE III. LE PROJET LIST-PORT	28
1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET	28
2. RÉSUMÉ DU PROJET LIST PORT	28
3. LE PROJET LIST PORT : LE PROCESSUS MÉTHODOLOGIQUE ET LES ACTIVITÉS DÉVELOPPÉES POUR LA RÉDUCTION DU BRUIT.....	33
3.1 Analyse réglementaire	33
3.2 Les activités préparatoires de l'analyse acoustique et de transport.....	39
3.3 Scénarios de projet	68
3.4 Le système ITS LISTE-PORT - Description générale -	72
4. RÉSULTATS ET OUTPUT DU PROJET	85
4.1 Système ITS avec PMV et dispositifs de surveillance du trafic	85

4.2	Application pour les appareils mobiles d'information des utilisateurs	90
4.3	Analyse critique des résultats et du niveau de réalisation des objectifs	106
SEZIONE IV. LE PROJET REPORT		108
1.	INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET	108
2.	SYNTHÈSE DU PROJET	109
3.	MODÈLES DÉVELOPPÉS POUR LA PRÉVISION DU BRUIT PORTUAIRE.	110
4.	VALIDATION DES MODÈLES DÉVELOPPÉS ET AMÉLIORATIONS POSSIBLES	110
4.1	Validation des modèles développés.	110
4.2	Analyse critique et améliorations possibles.	111
Index des Figures		113
Index des Tableaux.....		117

PRÉFACE

SEZIONE I. SECTION I. LE PROJET RUMBLE

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif général du projet RUMBLE est de contribuer à la réduction des nuisances sonores dans les zones faisant face aux moyens et grands ports de commerce de l'espace de coopération maritime, en contribuant à l'augmentation de la durabilité des ports de commerciaux et en réduisant les nuisances sonores qu'ils génèrent. A cette fin, le projet RUMBLE entend développer des politiques de réponse possibles au problème de nuisances sonores des ports, développées de façon étroite entre les institutions publiques françaises et italiennes concernées par la problématique commune telles que :

- accroître la connaissance et la sensibilisation de tous les acteurs à propos du bruit et des impacts produits par les sources sonores dans les ports, sur les problèmes liés à l'acceptabilité sociale du problème dans les zones urbaines voisines, sur les solutions innovantes applicables dans les zones portuaires.
- promouvoir la gouvernance auprès des institutions publiques compétentes en la matière et la participation de la population urbaine aux choix stratégiques et de projets proposés afin d'accroître l'acceptabilité sociale des activités portuaires
- appliquer certaines solutions jugées adaptées aux territoires portuaires partenaires du projet, visant à atténuer les impacts des émissions sonores les plus importantes et à surveiller les résultats également par le biais de modèles d'évaluation de l'efficacité.

Parmi les objectifs spécifiques du projet Rumble, on peut citer :

- Accroître les connaissances sur la problématique de l'impact des émissions sonores portuaires et sur les infrastructures d'atténuation optimales : Augmenter les connaissances sur le bruit et les impacts des sources sonores dans les ports est nécessaire pour permettre aux gestionnaires de traiter adéquatement la problématique, par la mise en œuvre de solutions techniques, et sensibiliser l'ensemble des acteurs impliqués sur la complexité du phénomène du bruit portuaire et des interventions d'amélioration applicables ou appliquées.
- Développer des stratégies communes pour favoriser la participation des acteurs locaux intéressés par les choix de projets ; La problématique du bruit dans les ports concerne différents acteurs : institutions publiques, entreprises portuaires, comités de citoyens. Le projet promeut des actions

de gouvernance et de participation du public sur la question, en développant des moments de rencontre spécifiques, et des actions pour impliquer la population urbaine dans les choix stratégiques également afin d'augmenter l'acceptabilité sociale des activités portuaires.

- Créer de petites infrastructures pour le contrôle du bruit et surveiller l'efficacité des travaux d'atténuation acoustique dans les ports : Sur la base des analyses développées par le Projet, certaines solutions techniques spécifiques seront mises en œuvre dans les zones portuaires, visant à atténuer les impacts des bruits les plus importantes émissions et dont les résultats seront également contrôlés au moyen de modèles d'évaluation de l'efficacité.

2. SYNTHÈSE DU PROJET

Le projet Rumble vise à améliorer la durabilité des ports commerciaux, à travers la réduction de la pollution sonore. Le projet prévoit la réalisation des études, des petites infrastructures et des investissements pour la mitigation de la pollution sonore, qui pourront être transposés dans d'autres ports de la zone de coopération, et de l'évaluation de leur efficacité. Les activités permettront de réduire les principales sources sonores du port à bénéfice de la population résidente dans les zones urbaines limitrophes : le trafic routier lié aux activités du port et au mouillage des navires. Les mesures seront définies, à la suite d'une étude initiale sur les émissions sonores et tenant en compte les réclamations présentées par les citoyens aux gérants des ports et aux institutions publiques compétentes. A la fin d'opérer en façon correcte et efficace, Rumble mettra en œuvre une stratégie de monitoring :

- 1) liée à l'efficacité des mesures de mitigation financés avec le projet pour la zone pilote de Cagliari, Livourne et Ajaccio
- 2) finalisée à évaluer l'efficacité de l'opération de grandes dimensions, déjà réalisé avec le financement du Port de Genova
- 3) pour définir les futures actions à réaliser dans le port de Nice.

Dans les activités de communication on prévoit l'activation des groupes de discussion et des événements pour la participation des groupes cibles dans toutes les phases du projet, aussi pour la validation des résultats : les organismes publics avec compétence dans la planification du territoire et le monitoring des émissions sonores, les entreprises du port, les citoyens aussi représentés dans les comités. La répétition et la transférabilité du projet dans d'autres ports seront garanties au niveau transfrontalier par le réseau parmi le chef de file des autres projets, à travers la participation aux événements institutionnels au niveau européen et le

partage des connaissances parmi les universités partenaires et la communauté scientifique internationale.

3. ŒUVRES REALISEES POUR LA REDUCTION DU BRUIT

Dans le cadre du projet Rumble, de petites infrastructures et des investissements ont été réalisés pour atténuer le bruit et évaluer son efficacité. De cette manière, les solutions réussies peuvent théoriquement être répliquées dans toutes les réalités portuaires de la zone de coopération. En particulier, en ce qui concerne le port de Gênes, la construction d'une **dune artificielle** est prévue, ce qui aura un double effet environnemental : cacher le terminal à conteneurs de Pra' et servir de barrière au bruit des activités portuaires telles que la manutention des marchandises, grues mobiles, etc.



FIGURE I.1: CONSTRUCTION D'UNE DUNE AU PORT DE PRA

Dans les autres ports du projet, des investissements et des interventions ont été réalisés pour l'atténuation du bruit portuaire à travers l'installation de cinq bornes de recharge pour véhicules électriques dans les ports de commerciaux de Bastia et Ile Rousse (Corse, France) et un revêtement de sol insonorisant (port de commerce Ile Rousse, Corse, France ; port de Portoferraio, Toscane, Italie port de Cagliari, Sardaigne, Italie) avec la méthode CPX relative pour évaluer son efficacité.

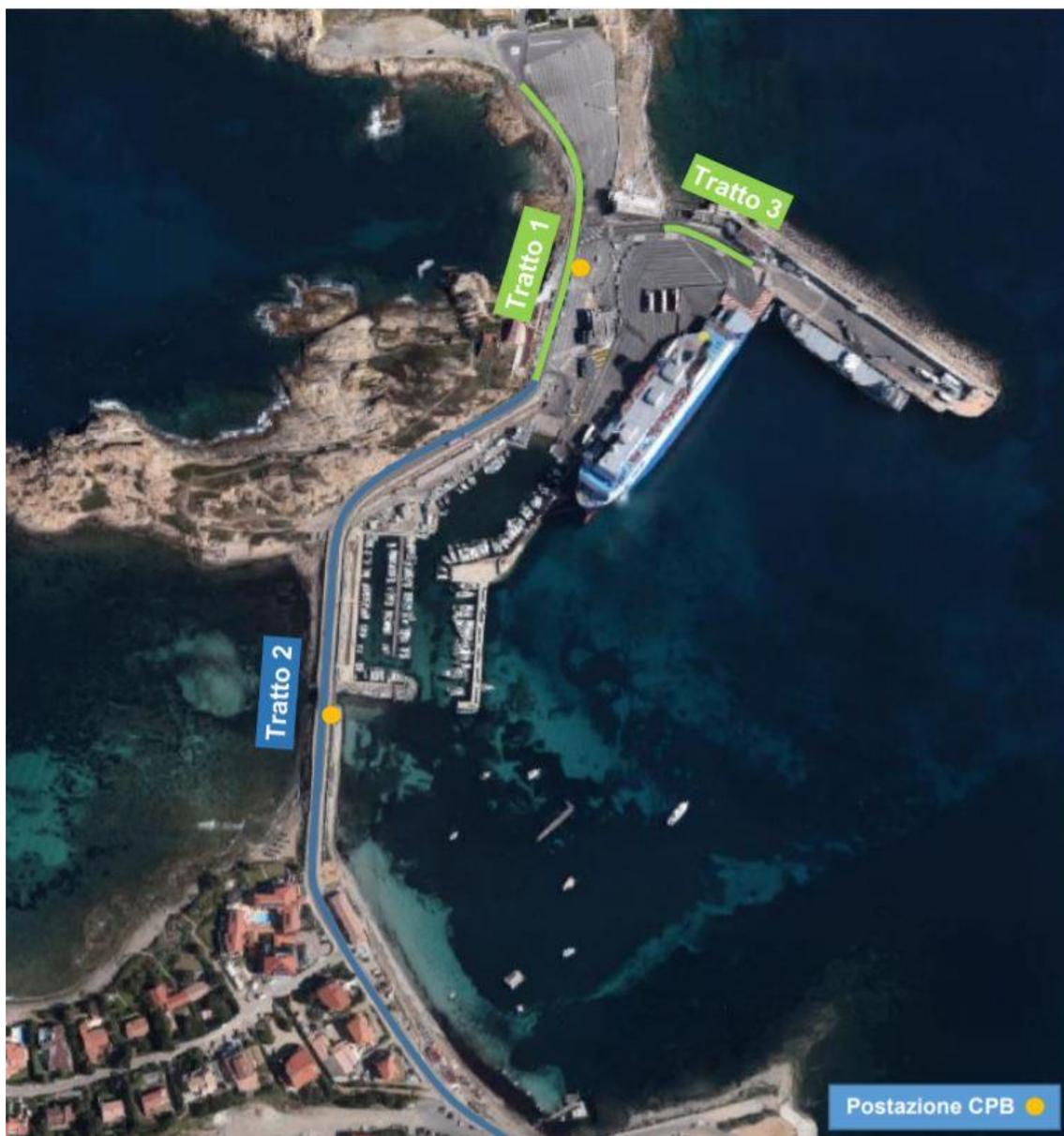


FIGURE I.2: TRONÇONS DE ROUTE ARPENTES - PORT D'ILE ROUSSE.

Quant au port de l'île rousse, l'intervention de dépollution acoustique a consisté en la pose d'un revêtement de sol silencieux tant à l'intérieur de la zone portuaire que le long d'un tronçon de la voie publique à double sens qui relie le centre-ville au port et à l'île.

Le lieu d'exécution de la fourniture et de l'installation des 5 bornes de recharge pour véhicules électriques sont les ports de commerce d'Ile Rousse et de Bastia (voir les points rouges).

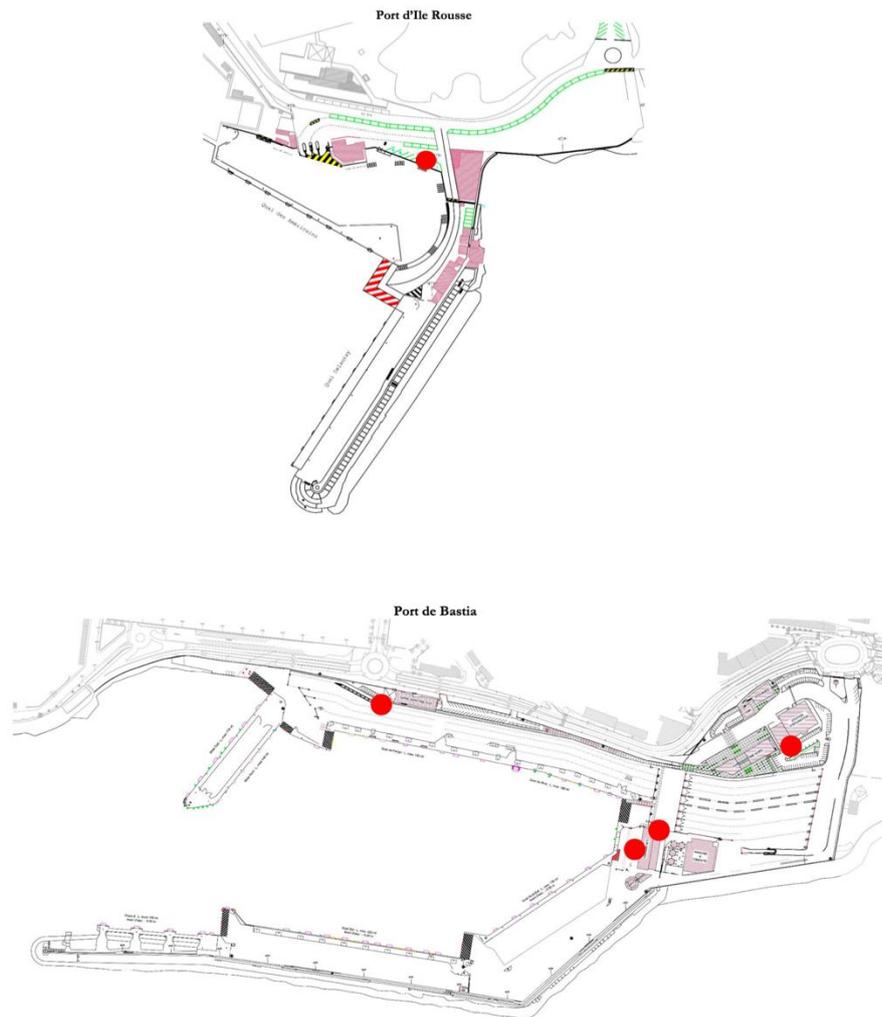


FIGURE I.3: LIEU D'INSTALLATION DES 5 STATIONS DE RECHARGE POUR VEHICULES ELECTRIQUES DANS LES PORTS FRANÇAIS - EN HAUT DU PORT COMMERCIAL D'ILE ROUSSE ET EN DESSOUS DE BASTIA (CORSE, FRANCE)

D'un point de vue technique, les quatre bornes de recharge pour véhicules électriques à installer doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- Avoir une puissance de 3-22Kw
- Avoir une capacité de charge normale et accélérée à 22kVA et triphasé
- Donner la possibilité d'effectuer 2 recharges en même temps
- Être suffisamment protégé du milieu marin extérieur
- Être en conformité avec la réglementation en vigueur
- Être installé conformément aux guides UTE C 15-722 et UTE C 17-722

Pour la construction d'un bitumage silencieux dans le port de Portoferraio (Toscane, Italie), Calata Italia a choisi le conglomérat bitumineux appelé "Low Noise".

L'état des lieux à la fin des travaux est le suivant :



FIGURE I.4: LE PORT DE PORTOFERRAIO (TOSCANE, ITALIE) APRES TRAVAUX POUR LA CONSTRUCTION D'ASPHALTE A FAIBLE BRUIT.

Sur le Port de Cagliari (Sardaigne, Italie), les interventions consistent en la construction d'une chaussée en conglomerat bitumineux avec des caractéristiques insonorisantes et drainantes pour un total de 17 618 m². Les zones affectées par l'intervention sont situées dans la zone portuaire de Cagliari à côté de Via Roma.

4. LES RÉSULTATS ET LES OUPUT DU PROJET

4.1 *Les résultats du projet*

Les résultats de l'analyse des données du port de Gênes Pra, recueillies dans les trois stations de mesure (Fig. I.5), dans les trois configurations différentes (avec un navire, deux ou trois à quai), sont les suivants : en période journalière le bruit du port ne semble pas prédominant car couvert par des activités non portuaires, au petit matin (4-7h30) l'apport sonore qui semble avoir le plus d'impact est celui apporté par la faune (mouettes) et enfin dans la période nocturne, durant laquelle elles étaient considérées comme des mesures propres, des bruits impulsifs provoqués par des collisions de conteneurs et diverses sirènes ont été identifiés (Figure I.6).

Dans les trois configurations considérées, l'impact sur la position à proximité du port et sur le vallonné varie en fonction du nombre de navires, de leur position mais surtout des activités portuaires associées. Les sites hébergeant les stations ayant changé entre les mesures ex ante et ex post, il n'a pas été possible de faire une comparaison précise entre les données.



FIGURE I.5: QUAI AVEC TROIS NAVIRES

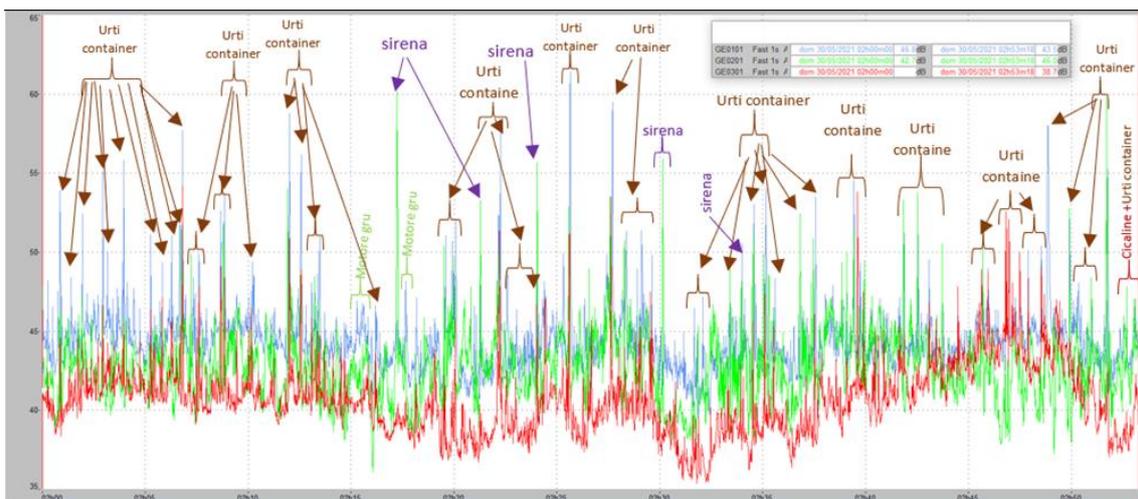


FIGURE I.6: COMPARAISONS DES TENDANCES TEMPORELLES DU LAEQ,1 S

Ce paragraphe porte sur l'évaluation de la performance des interventions de réhabilitation réalisées aux différentes réalités portuaires du projet Rumble. Afin d'homogénéiser la vérification de l'efficacité des interventions, tant pour la méthode CPX que pour la méthode CPB, un critère différentiel a été utilisé pour comparer les performances acoustiques des revêtements de sol avant et après travaux. Le tableau suivant résume les résultats obtenus pour la vitesse de référence de 50 km/h et quantifie le bénéfice acoustique découlant des travaux d'assainissement réalisés en termes de réduction des niveaux sonores.

	$Diff_{CPX}$ [dB(A)]	$Diff_{CPB}$ [dB(A)]
--	----------------------	----------------------

Portoferraio (LI)	-3.4 ± 0.8	-
Cagliari (CA)	-3.1 ± 1.3 +0.7 ± 1.3 -0.1 ± 1.3	-5.7 ± 3.2 -1.0 ± 0.9
Ile Rousse (FR-2B)	-4.5 ± 0.8	-2.2 ± 1.3

Compte tenu des résultats relatifs à la pose d'un revêtement de sol silencieux dans les zones portuaires de Portoferraio et de l'Ile Rousse, les résultats montrent des réductions significatives des niveaux de bruit (de 2 à plus de 4 dB(A)).

En référence à l'intervention de réhabilitation réalisée dans le port de Cagliari, les résultats montrent une plus grande variabilité. Cependant, il convient de considérer que la campagne de mesure post-construction a été réalisée à Cagliari avant les 4 semaines prévues à partir de la pose, donc les résultats obtenus permettent d'avoir une indication générale de la performance des chaussées étudiées et doivent être confirmés avec des campagnes de mesure.

SEZIONE II. LE PROJET DÉCIBEL

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET

Inséré dans le programme communautaire transfrontalier Maritime IT-FR-2014-2020, le projet DECIBEL a pour objectif général l'amélioration du caractère durable des ports commerciaux transfrontaliers en contribuant à la réduction voire à l'élimination de la pollution sonore. Ce projet vise à la prise de mesures conjointes pour la réduction de la pollution sonore dans les ports partenaires du projet puis de les étendre aux ports insulaires transfrontaliers. Ces mesures sont réalisées sur la base d'une étude conjointe qui a permis l'identification de mesures de réduction du bruit innovantes. Ces mesures sont mises en œuvre au travers d'actions pilotes dont l'évaluation doit permettre d'établir et de diffuser les bonnes pratiques à l'ensemble de la zone de coopération.

Les partenaires du projet DECIBEL sont :

- La CCI de Haute Corse (CCI HC), chef de file du projet, qui est concessionnaire des ports de commerce de Bastia et de l'Île-Rousse au titre d'une délégation de service public.
- L'Université de Gênes (UNIGE), organisme public dont une des lignes de recherche est le bruit maritime (portuaire et naval).
- La commune d'Olbia, organisme de droit public, qui gère les relations avec les organismes ayant une expertise dans la zone portuaire.
- L'Association Nationale des Communes Italiennes de la région Toscane (ANCI Toscane), organisme de droit public qui œuvre en étroite collaboration avec les acteurs publics et privés au niveau local, national et européen afin de transmettre et développer les meilleures pratiques dans la région.

Les espaces portuaires insulaires directement concernés par le projet sont :

- Bastia (Corse) ;
- L'Île-Rousse (Corse) ;
- Olbia (Sardaigne) ;
- Portoferraio (Sardaigne) ;
- Giglio (Sardaigne).

Les objectifs du projet se déclinent suivant la réalisation de deux grandes phases, elles-mêmes découpées en plusieurs tâches :

- Phase 1 : Etude d'impact et diagnostic transfrontalier
- Phase 2 : Réalisation et suivi des actions pilotes en vue d'établir un

catalogue de bonnes pratiques

La Phase 1 comprend deux tâches principales :

- La définition d'une méthodologie conjointe, partagée et innovante adaptée au diagnostic acoustique des ports commerciaux transfrontaliers ;
- La réalisation d'études d'impact acoustique dans chacun des ports concernés par le projet afin de qualifier l'exposition au bruit des riverains et de proposer des plans d'actions adaptés.

Sur la base des plans d'actions proposés lors de la Phase 1, la Phase 2 du projet doit mettre en œuvre la stratégie de réduction de la pollution sonore à travers différentes actions pilotes. Les actions pilotes mises en place doivent également être évaluées par la mise en place de systèmes de monitoring, issus des recommandations données durant la Phase 1. Ils permettent de suivre dans le temps l'efficacité des mesures prises pour la réduction de la pollution sonore. Le suivi de l'efficacité des différentes mesures doit enfin permettre la création d'un répertoire de bonnes pratiques pour la durabilité et la transférabilité des résultats du projet

2. SYNTHÈSE DU PROJET

Les différentes étapes du projet sont synthétisées dans les sous-sections suivantes.

2.1 Définition d'une méthodologie pour le diagnostic acoustique des ports transfrontaliers

Pour évaluer et quantifier les solutions possibles qui seront ensuite traduites en un plan d'actions pour la réduction des nuisances sonores, il est nécessaire de disposer d'une méthodologie d'analyse et de quantification de l'impact d'actions. Le but est ici d'obtenir des données objectives pour orienter le choix des solutions à mettre en œuvre. La méthodologie proposée consiste en plusieurs étapes successives qui constitueront les deux phases du travail à mener :

- La phase de diagnostic, qui consiste à identifier les éléments existants participant à la pollution sonore et à quantifier les impacts
- La phase de plan d'actions, qui consiste à proposer une solution d'amélioration et à l'évaluer

La méthodologie est composée de 8 étapes, regroupées en 4 thématiques, comme indiqué sur le diagramme suivant :

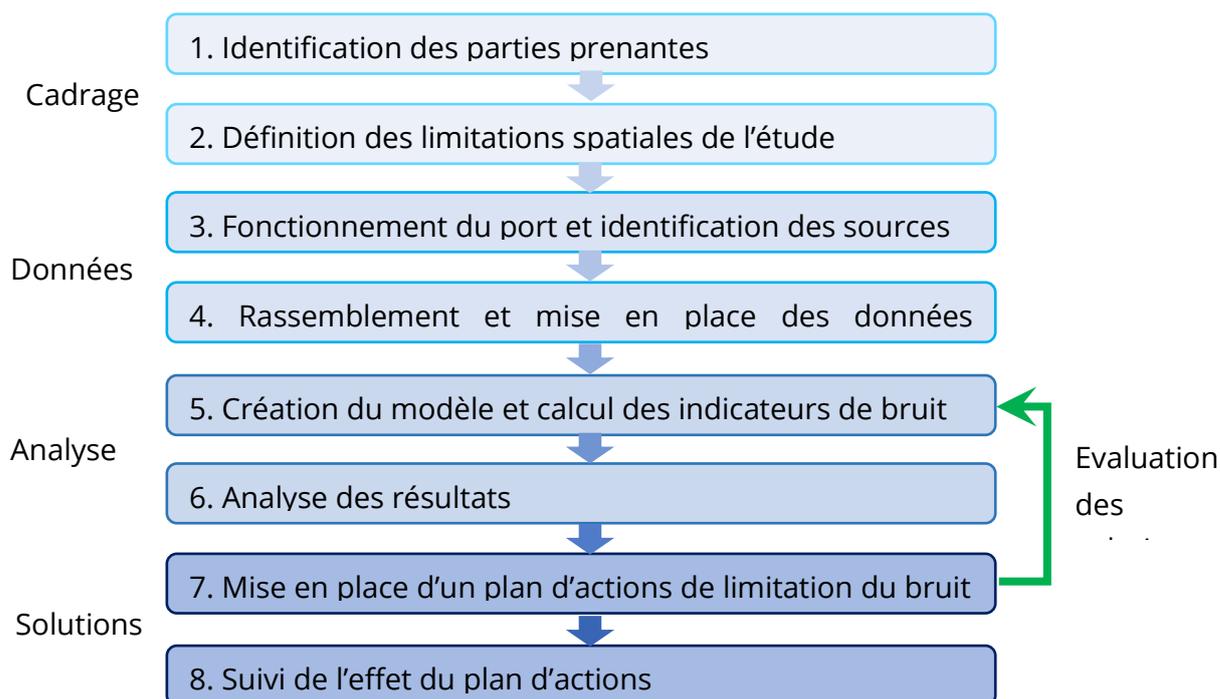


FIGURE II.1 DIAGRAMME DE LA METHODOLOGIE POUR LE DIAGNOSTIC ACOUSTIQUE DES PORTS.

Ces étapes sont décrites précisément dans le Livrable T1.1.1 du projet DECIBEL.

2.2 Diagnostic des 5 ports transfrontaliers

Les étapes 1 à 6 de la méthodologie ont tout d'abord été appliquées à l'étude des cinq ports transfrontaliers.

Pour ces 5 ports, les parties prenantes sont similaires, à savoir une autorité de gestion du port (publique ou bien sous délégation publique comme dans le cas de Chambre de Commerce et d'Industrie de Haute Corse, gestionnaire des ports de Bastia et l'île Rousse), la commune à laquelle le port est rattachée, les compagnies maritimes desservant le port, éventuellement les entreprises travaillant directement sur le port (Dockers), et enfin les riverains.

La phase d'analyse du fonctionnement du port et d'identification des sources a été menée à travers plusieurs visites sur site. Ces visites ont également permis la mesure des niveaux de puissance d'émission des sources les plus bruyantes (autres que le trafic routier). Par ailleurs, le positionnement des navires sur les différents quais et leurs horaires ont été relevés pour le calcul des indicateurs par tranche horaire et agrégés.

La collecte des données de modélisation a été effectuée à partir des différentes sources disponibles (données IGN, OpenStreetMap, données satellitaires SRTM, ...). La modélisation a été effectuée à l'aide du logiciel MithraSIG. Notons que l'outil MithraSIG utilisé ne comprenait pas encore les améliorations d'aide à la

modélisation des navires introduites dans le projet REPORT. Cette modélisation des navires a donc été effectuée manuellement pour l'ensemble des ports étudiés, à partir d'objets de type bâtiments. La modélisation géométrique inclut le positionnement des sources sonores en fonction des différents scénarii de fonctionnement du port.

La création du modèle de calcul comprend également la phase de paramétrage des conditions météorologiques à partir des données locales disponibles. Enfin, le choix des récepteurs de calcul est réalisé en fonction des zones d'intérêts pour lesquels il est pertinent d'évaluer les niveaux d'exposition. Pour les cinq ports, ces zones incluent les habitations riveraines du port les plus impactées par les nuisances sonores.

Les résultats de calculs présentés incluent les indicateurs suivants pour chaque tranche horaire considérée :

- (1) Les niveaux de bruit associés aux trafics routiers seuls, mesurés par un niveau de bruit équivalent sur une heure (LAeq,1h)
- (2) Les niveaux de bruit associés aux sources portuaires seules, mesurés par un niveau de bruit équivalent sur la durée d'activation de la source (LAeq,T avec T la durée d'activation) variable en fonction de la source considérée
- (3) Les niveaux de bruit associés aux trafics routiers et sources portuaires (mesurée par un LAeq,T comme les niveaux associés aux sources portuaires)
- (4) L'émergence des sources portuaires par rapport aux trafics routiers définie comme la différence entre les niveaux en (3) et les niveaux en (1) (il s'agit donc d'une émergence calculée sur la durée d'activation de la source considérée)

Ces données sont calculées pour des cartes de récepteurs couvrant l'ensemble de la zone d'étude (cartographie sonore) et plusieurs récepteurs individuels à 2 m en façade de certains bâtiments afin d'analyser les résultats d'un point de vue réglementaire.

2.3 Stratégie et plans d'actions pour les ports de Bastia et l'île Rousse

A partir du diagnostic acoustique des ports et des résultats associés à différents scénarii d'utilisation des installations portuaires, une stratégie de réduction des nuisances sonores est proposée. Cette stratégie est construite en collaboration avec les autorités de gestion du port en fonction des contraintes spécifiques à chaque installation.

Bien que les mesures proposées se basent sur le catalogue commun défini lors de l'élaboration de la méthodologie, leur sélection est effectuée à partir des spécificités et contraintes de chaque port considéré.

Pour chaque mesure de réduction envisagée, une méthode de monitoring est proposée pour évaluer son efficacité et vérifier que les objectifs fixés, et éventuellement estimés par le calcul lors de la phase de diagnostic, soient atteints. Cette phase débouche sur la mise en place effective d'un plan d'actions regroupant les différentes mesures retenues et les systèmes d'évaluation de leur efficacité.

3. LES MODÈLES ET MÉTHODOLOGIES UTILISÉS POUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS SONORES

On rappelle les méthodes spécifiques et les outils utilisés pour les différentes étapes du projet DECIBEL.

3.1 *Identification et caractérisation des sources*

Les ports urbains insulaires présentent une grande variété d'activités et donc de sources sonores dont les conditions de fonctionnement sont également très variables. Il est important de lister et documenter non seulement les sources de bruit principales (à prendre en compte dans la zone géographique d'émission sonore), mais aussi le scénario d'utilisation de chaque source dans le temps.

Pour chaque source, les points suivants sont renseignés :

- Le type de sources (voir la proposition de liste ci-dessous)
- Les périodes de variabilité annuelle, représentatives de fonctionnements suffisamment différenciés, typiquement les saisons d'activité (basse, moyenne et haute) ou encore la distinction entre jour de semaine et weekend
- Le scénario journalier d'activation, spécifiant soit le pourcentage de temps d'activation de la source, soit le nombre et la durée d'activation moyens de la source, par heure de la journée, pour chaque période annuelle représentative (par exemple le nombre d'embarquement et débarquement)
- Une explication sommaire sur la source (qu'est-ce qui émet le bruit ? quelles sont les conditions d'activation éventuelles ?)

A titre informatif, on propose la liste des types de sources suivante, qui pourra être complétée si besoin :

- Navires en navigation : sources de bruit actives sur les navires lors des arrivées et départs du port (e.g., turbines, ventilation, cheminée)
- Navires à quai : sources de bruit des navires à quai (e.g., générateurs, ventilation)
- Manutention horizontale (« Roll on Roll off ») : circulation des engins de manutention horizontale (e.g., engins de type Douglas)
- Manutention verticale (e.g., grues)

- Montée/descente des véhicules sur les rampes (basculements des sifflets)
- Trafic routier supplémentaire généré par les embarquements /débarquements
- Equipements industriels (e.g., cimenterie)
- Autres

Hormis les sources de trafic routier ou ferroviaire pour lesquelles existent des modèles d'émission standardisés, associés aux méthodes de calculs et basés sur les données trafic de chaque axe, les autres sources particulières identifiées sur la zone portuaire doivent être caractérisées individuellement. En particulier, il est nécessaire de disposer des deux données suivantes:

- Niveaux de puissance : par bande de fréquences (tiers d'octave ou octave), a minima de 100 à 5000 Hz, voire au-delà si la source présente un contenu fréquentiel important en dehors de cette plage
- Directivité, que l'on peut supposer par défaut omnidirectionnelle pour les sources ponctuels, et hémisphérique pour les sources proches du sol ou accolées à un objet volumineux (comme un navire ou un bâtiment)

Ces données nécessitent dans la plupart des cas une campagne de mesures spécifiques. On pourra par exemple effectuer un ensemble de mesurages de niveau de pression L_p proches des sources à caractériser (typiquement moins de 10 m) et revenir à un niveau de puissance L_w par bande de fréquences en utilisant les relations suivantes (r étant la distance entre la source et le point de mesurage) :

- $L_w = L_p + 10 \log(4\pi r^2)$, dans le cas d'une source sans obstacle de grande taille à proximité (source omnidirectionnelle en champ libre)
- $L_w = L_p + 10 \log(2\pi r^2)$, dans le cas d'une source proche d'un objet volumineux ou du sol, tout deux étant considérés comme réfléchissants (source hémisphérique)

Notons que ces relations sont approchées et ne sont valides que lorsque le microphone de mesure est suffisamment loin d'un objet réfléchissant

Enfin, dans la mesure du possible, il est également conseillé d'utiliser l'enregistrement audio et vidéo des séquences mesurées afin de faciliter la compréhension a posteriori des fonctionnements des sources qui ont été caractérisées.

3.2 Construction des données météorologiques

Les conditions météorologiques et en particulier les vitesses et directions du vent, variables au cours de la journée, ont une influence importante sur la propagation du son en zone côtière. Une méthode pratique pour le bon paramétrage des effets

météorologiques dans les calculs acoustiques à partir de données météo spécifiques est décrite ci-dessous.

3.2.1 Création de rose d'occurrence de conditions favorables

La propagation du son est fortement influencée par l'interaction entre la nature du sol et les conditions météorologiques. Pour l'évaluation du bruit environnemental, il convient de distinguer des conditions favorables à la propagation (par exemple sous un ciel de nuit clair ou par vent portant), des conditions neutres (par exemple sous un ciel couvert par vent calme) et des conditions défavorables (par exemple par vent contraire ou pendant une journée fortement ensoleillée.). Il est à noter que ce sont les conditions dites « favorables » qui engendrent les niveaux sonores plus élevés.

Les méthodes de calcul couramment utilisées en France et en Italie (méthode française dite « NMPB » décrite dans la norme NF S31-133, ou encore méthode harmonisée européenne dite « CNOSSOS-EU » décrite dans la directive européenne 2015/96 du 19/05/2015) tiennent compte de ces effets en calculant un indicateur de bruit moyenné par pondération de deux conditions représentatives :

$$L_{eq,T} = 10 \lg (p_{FAV} 10^{L_{p,FAV}/10} + (1 - p_{FAV}) 10^{L_{p,HOM}/10})$$

où p_{FAV} est une fréquence d'occurrence de condition favorable (entre 0 et 1). Pour la France métropolitaine, la fréquence d'occurrence des conditions favorables a été évaluée à partir d'enregistrements climatiques représentatifs (sur 10 à 30 années d'observations) pour 40 stations météorologiques répartis sur le territoire. Ces valeurs sont publiées en annexe de la norme NF S31-133 et présentées sous forme de « roses d'occurrence » pour différentes directions de propagation source-récepteur et pour différentes périodes de la journée.

La méthode décrite ici permet de calculer une telle rose d'occurrence pour un site quelconque à partir de données spécifiques.

3.2.2 Fichiers nécessaires

Les fichiers nécessaires pour calculer la rose d'occurrences sont des fichiers tabulés qui doivent contenir les informations suivantes sur une année au minimum :

- **Données journalières de lever et coucher du soleil**
 - Date
 - Heure UTC du lever de soleil
 - Heure UTC du passage au méridien (zénith)
 - Heure UTC du coucher de soleil
 - Indicateur de saison, « été » à partir de l'équinoxe du printemps jusqu'à

l'équinoxe de l'automne

- **Données météorologiques horaires**

- Date et heure UTC de l'observation
- Quantité de pluie sur une heure (en mm)
- Force du vent (en km/h, à 10m au-dessus du sol)
- Direction du vent (relative au Nord, dans le sens des aiguilles d'une montre)
- Nébulosité en octas
- Indicateur d'heure d'été (du 25/03/2018, 2 h du matin au 28/10/2018, 3h du matin)
- Heure légale (heure UTC + 1h en hiver, heure UTC + 2h en été)

3.2.3 Description de la méthode d'analyse

Les principes de la méthode d'analyse sont décrits dans les normes NF S31-110:2005. Elle se base sur une grille d'évaluation qualitative, dite « Grille de Zouboff », utilisant une caractérisation heuristique de l'état aérodynamique et thermique de l'atmosphère. L'annexe A de la norme NF S31-120:2018 donne de plus amples détails sur une méthode opérationnelle permettant de relier les données d'entrée de la méthode à des observations quantitatives réalisées par les stations météorologiques.

La méthode quantitative de Zouboff utilise :

- Une caractérisation U_i des conditions de vent

	Contraire	Peu contraire	De travers	Peu portant	Portant
Vent fort	U1	U2	U3	U4	U5
Vent moyen	U2		U3	U4	
Vent faible	U3				

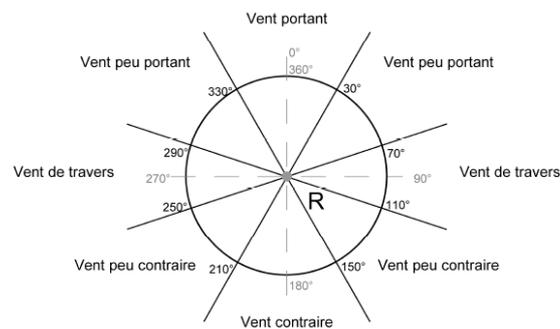
- Une caractérisation T_i des conditions thermiques

	Rayonnement	Humidité du sol	Vitesse du vent	T_i
Jour	Fort	Sec	Faible ou moyen	T1
	Faible ou moyen	Humide	Fort	T3
	Autres cas			T2
Période de lever ou coucher du soleil				T3
Nuit	Ciel dégagé	-	Faible	T5
	Autres cas			T4

- Afin de caractériser la propagation acoustique selon le critère (très) défavorable (--, -), neutre (Z) ou (très) favorable (+, ++).

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	++	++
T5		+	+	++	

La quantification du vent se base sur les valeurs de l'angle relatif entre la direction de propagation et la direction du vent (0° représentant la direction de la source vue depuis le récepteur) :



La quantification de la vitesse du vent utilise les limites indiquées ci-dessous. Lors de l'exploitation des données fournies par le client nous sommes partis de l'hypothèse que les données d'entrée sont données en m/s à une hauteur de 10 m au-dessus du sol.

Hauteur de mesure	h = 2m	h = 10m	Observations visuelles
Vent fort	vitesse > 3 m/s	vitesse > 4,3 m/s	Les feuilles sont sans cesse en mouvement. Les petites branches plient.
Vent moyen	1 m/s < vitesse < 3 m/s	1,4 m/s < vitesse < 4,3 m/s	On sent le vent sur le visage. Les feuilles s'agitent.
Vent faible	vitesse < 1 m/s	vitesse < 1,4 m/s	On ne sent pas le vent sur le visage. Les feuilles sont immobiles.

La force du rayonnement solaire s'apprécie en fonction de la saison, de l'heure et de la nébulosité :

- Pour la période « été », allant de l'équinoxe du printemps jusqu'à l'équinoxe de l'automne :

Heure solaire	rayonnement fort	rayonnement moyen	rayonnement faible
soleil à ± 3 h par rapport au zénith	≤ 5 octas	≥ 6 octas	
1 h après le lever du soleil jusqu'à 3 h avant le zénith ou 3h après le zénith jusqu'à 1 h avant le coucher du soleil		≤ 4 octas	≥ 5 octas
jusqu'à 1 h après le lever du soleil ou jusqu'à 1h avant le coucher de soleil			Tous les cas

- Pour la période « hiver » allant de l'équinoxe d'automne jusqu'à l'équinoxe du

printemps :

Heure solaire	rayonnement fort	rayonnement moyen	rayonnement faible
soleil à \pm 3 h par rapport au zénith	0 octa (absence totale de nuages)		
2 h après le lever du soleil jusqu'à 1 h avant le coucher du soleil		\leq 4 octas	\geq 5 octas
jusqu'à 2 h après le lever du soleil ou jusqu'à 1 h avant le coucher de soleil			Tous les cas

La nébulosité est appréciée en « octas », allant de 0 pour un ciel dégagé jusqu'à 8 pour un couverture nuageuse totale. Pour les heures de nuit (entre le coucher et le lever de soleil), la condition de rayonnement s'apprécie directement à partir de la couverture nuageuse : ciel dégagé (à plus de 80%) ou ciel couvert (à plus de 20 %).

L'état hydrique du sol s'évalue à partir des quantités de pluies cumulées sur des périodes allant de 4 heures à 1 semaine :

- Sol sec : il n'y a pas eu de pluies dans les 48 heures et pas plus de 2 mm dans le courant de la semaine précédant le mesurage
- Sol humide : il est tombé au moins 4 à 5 mm de pluie dans les dernières 24 heures.

3.2.4 Automatisation du processus

Un module logiciel dédié a été développé permettant de transformer les données météo à disposition en indicateur de propagation selon la méthode décrite ci-dessus, puis de calculer les fréquences d'occurrence des conditions favorables par période horaire. Ces résultats horaires sont ensuite combinés afin de produire les tables par période réglementaire compatible avec la méthode de calcul (NMPB-2008 pour l'application de la législation nationale, Cnossos-EU pour les cartes stratégiques conformes à la Directive Européenne).

3.3 *Autres recommandations pour la bonne réalisation des calculs*

Concernant les sources sonores, il est nécessaire dans le modèle :

- d'introduire les sources spécifiques à l'activité portuaire et leur scénario d'utilisation, en tant que sources ponctuelles, linéaires et surfaciques
- de considérer les navires comme un bâtiment avec des sources sonores à ses limites,
- de pouvoir sauvegarder la contribution sonore de chaque source pour la phase d'analyse.

Concernant les paramètres de propagation sonore, on considère que :

- les surfaces d'eau et les bâtiments sont acoustiquement réfléchissantes,

- les containers sont modélisés comme des bâtiments réfléchissants,
- les jetées, notamment celles comportant des murs ou des brise-lames, doivent être modélisés avec précision.

Rappelons que la nouvelle version de MithraSIG développée dans le cadre du projet REPORT intègre désormais un module d'aide à la modélisation des navires à quai permettant de spécifier aisément le type de navire, la géométrie et le positionnement et les caractéristiques des sources sonores représentant son rayonnement acoustique.

4. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET ANALYSE CRITIQUE

4.1 *Les résultats du projet*

4.1.1 **Diagnostics acoustiques**

Comme déjà mentionné, les résultats des diagnostics réalisés sur chacun des ports incluent les données suivantes :

- (1) Les niveaux de bruit associés aux trafics routiers seuls, mesurés par un niveau de bruit équivalent sur une heure ($L_{Aeq,1h}$)
- (2) Les niveaux de bruit associés aux sources portuaires seules, mesurés par un niveau de bruit équivalent sur la durée d'activation de la source ($L_{Aeq,T}$ avec T la durée d'activation) variable en fonction de la source considérée
- (3) Les niveaux de bruit associés aux trafics routiers et sources portuaires (mesurée par un $L_{Aeq,T}$ comme les niveaux associés aux sources portuaires)
- (4) L'émergence des sources portuaires par rapport aux trafics routiers définie comme la différence entre les niveaux en (3) et les niveaux en (1)

Ces niveaux sont calculés sur la zone d'étude sous la forme de cartes de bruit horizontales ainsi que sur des points récepteurs spécifiques en façade de certains bâtiments.

On donne ci-dessous un exemple de résultats obtenus sur le port de Bastia pour une configuration de déchargement du navire « Pascal Paoli », le matin entre 7 et 8h. La carte à gauche (a) présente le niveaux équivalent $L_{Aeq,T}$ durant la période de déchargement en combinant les sources portuaires et les sources routières (trafic existant sans activité portuaire). La carte à droite (b) présente l'émergence des sources portuaires par rapport aux sources routières.

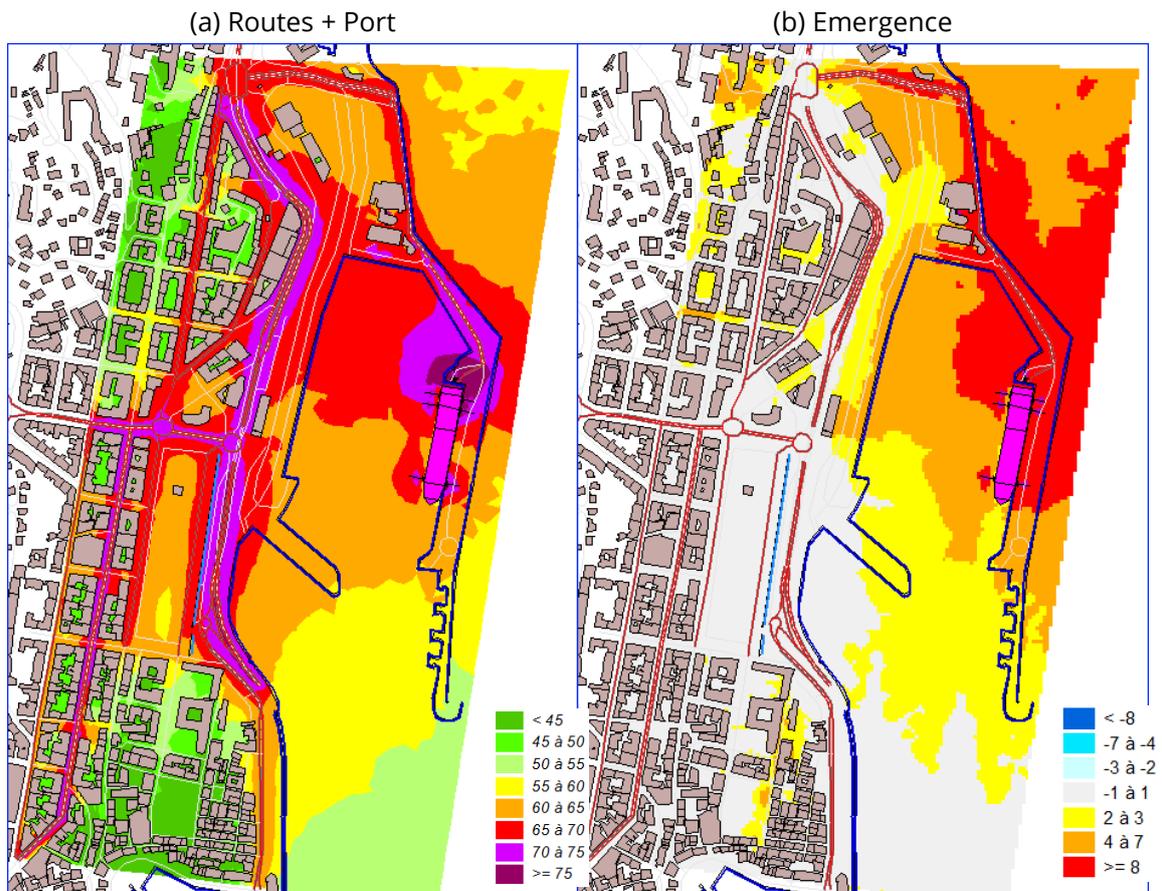


FIGURE II.2 : PERIODE 7H-8H – PASCAL PAOLI (DECHARGEMENT) – EMERGENCE

Les niveaux d'émergence sur les bâtiments directement impactés peuvent atteindre 2 à 3 dB(A). Notons que l'émergence est potentiellement plus importante dans des zones d'ambiance existante plus calme à plus faible trafic protégées par une première rangée de bâtiments.

La figure suivante montre un autre exemple d'émergence du bruit portuaire pour Portoferraio dans une configuration de chargement/déchargement de trois navires. Les niveaux d'émergence en façade des bâtiments directement impactés dépassent pour cette configuration 4 dB(A).



FIGURE II.3: PORTOFERRAIO –CARTE DE L'EMERGENCE (DIFFERENCE ENTRE LE BRUIT TOTALE MOINS CELUI CAUSE PAR LE TRAFIC ROUTIER)

Les niveaux de bruit sont également analysés plus finement au niveau de récepteurs individuels par type de source et bandes de fréquences. La figure ci-dessous présente un exemple de ce type de résultat pour la phase de déchargement du « Mega Express I » sur le récepteur R1 du port de Bastia.

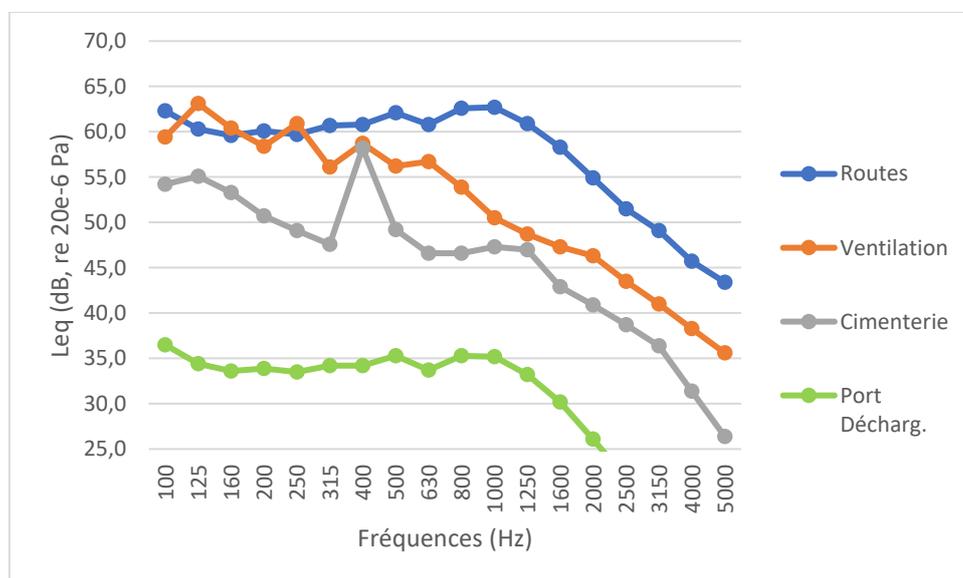


FIGURE II.4 : PERIODE 7H-8H – MEGA EXPRESS I - DECHARGEMENT - RECEPTEUR R1.

Pour ce récepteur, situé en façade d'un bâtiment donnant directement sur le port, les niveaux fréquentiels montrent l'importance des sources de ventilation dont les niveaux aux basses fréquences sont équivalents aux niveaux engendrés par le

trafic routier. Bien que stationnaire comme le bruit de trafic, ce bruit de ventilation est de nature différente et par conséquent audible. D'autre part, la cimenterie génère des niveaux proches du trafic routier pour le tiers d'octave 400 Hz. Cette source est donc là-encore audible et potentiellement gênante.

Ces exemples de résultats montrent qu'il est possible d'analyser et de comprendre quelles sont les sources les plus impactantes pour les riverains et ainsi adapter les mesures correctives.

Notons que dans la majorité des cas étudiés, une des sources les plus gênante est le bruit d'impact au passage des véhicules sur le « sifflet » des navires lors des opérations de chargement/déchargement. En effet, bien qu'en termes de niveau moyen calculé sur une heure, l'émergence de cette source ne soit pas très importante, la nature impulsive de ce bruit le rend encore très reconnaissable et potentiellement gênant.

4.1.2 Mesures correctives

Suite aux diagnostics acoustiques, plusieurs mesures sont proposées pour réduire la gêne associée aux émergences sonores liées aux sources portuaires.

Parmi les actions possibles, les mesures suivantes ont particulièrement retenu l'attention des parties prenantes :

- Remplacement du revêtement routier par un revêtement plus silencieux sur tout ou partie des voies de circulation dans la zone portuaire
- Remplacement des véhicules utilitaires à moteurs thermiques utilisés sur le port par des véhicules électriques
- Installation de matériaux amortisseurs sur les quais pour limiter les bruits d'impact lors de la montée et descente de véhicules
- Electrification des quais ce qui permettrait aux navires de ne pas maintenir leurs générateurs allumés et donc couperaient les sources dites de « ventilation » lorsque les navires sont à quai

Parallèlement aux mesures correctives résumées ci-dessus, les ports prévoient également l'installation d'un système de monitoring des émissions sonores des sources portuaires ainsi que de l'exposition au bruit des habitations riveraines du port. Un tel système de monitoring doit permettre de vérifier l'efficacité des mesures mises en place ainsi que de communiquer aux riverains les données d'amélioration de l'environnement sonore qui en résultent.

4.2 *Analyse critique des résultats et du niveau de réalisation des objectifs*

L'analyse critique des résultats reste à mener. En effet, la crise sanitaire du Covid a engendré un retard dans la mise en place des différentes actions décidées par les

autorités portuaires. Par conséquent, il n'est pas possible, au moment de la rédaction de ce rapport, d'analyser l'efficacité des plans d'actions mis en place.

SEZIONE III. LE PROJET LIST-PORT

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET

Le projet LIST-PORT (Limitation de la pollution sonore due au trafic dans les ports commerciaux) vise à améliorer le "climat acoustique" des villes portuaires grâce à l'utilisation de systèmes intégrés *Intelligent Transportation System* de gestion du trafic.

Le projet L.I.S.T. Port fait partie d'un groupe de projets thématiques appelé "Acoustic Cluster" financé dans le cadre du deuxième Call du programme maritime Italie-France 2014-2020. Les partenaires du projet sont l'Università degli Studi di Cagliari (en tant que Chef de file), l'Associazione Nazionale Comuni Italiani Sez. Reg. Toscana, l'ANCI Liguria, l'Università di Pisa, le GIP Fipan - Groupement d'Intérêt Public Formation et Insertion Professionnelle Académie de Nice, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute-Corse.

L.I.S.T. Port, avec les projets "Mon Acumen", "Rumble", "Decibel" et "Report", a pour objectif de fournir les contenus nécessaires à la préparation d'un ensemble intégré de mesures, de plans et de programmes visant à élaborer des contributions techniques pour la rédaction de directives et de bonnes pratiques afin de réduire l'impact du bruit généré par les activités logistiques portuaires et le trafic généré/attraîné dans les ports commerciaux.

L'objectif général de LIST-PORT est de déterminer comment les applications ITS de gestion du trafic peuvent influencer sur la réduction des pressions sonores dans les environnements portuaires et urbains, en évaluant les effets de ces interventions sur l'environnement urbain, afin de maintenir les émissions sonores en dessous des limites autorisées par les réglementations en vigueur.

Le défi territorial commun entrepris dans le projet consistait à poursuivre certains des objectifs fixés par la directive 2002/49/CE, notamment le partage d'une politique intégrée et synergique d'actions visant à réduire la pollution sonore et le développement de bonnes pratiques capables de définir une approche méthodologique standardisée pour les différentes villes portuaires.

2. RÉSUMÉ DU PROJET LIST PORT

Le bruit généré par les activités portuaires est principalement attribuable à deux composantes : les activités portuaires à l'intérieur du port d'escale et le trafic léger et lourd attiré par le nœud et passant par les infrastructures routières de connexion. En particulier, les émissions causées par le trafic routier ne sont pas limitées à l'intérieur du port mais, en ce qui concerne le trafic de desserte, elles

sont émises dans une large mesure le long du réseau routier menant à la ville et la traversant en direction des entrées du port, atteignant souvent des niveaux élevés aux heures de pointe lorsque les navires embarquent et débarquent. Le défi du projet List-Port était d'identifier, par le biais d'une approche commune et systémique, des interventions visant à atténuer le bruit généré par le trafic généré et attiré par le nœud portuaire grâce à la création d'un système intégré Intelligent Transportation System (ITS) pour la gestion du trafic, capable de fournir automatiquement des messages d'info-mobilité capables de modifier les itinéraires des utilisateurs, en rationalisant la mobilité, en envoyant des informations à l'utilisateur sur la base d'élaborations réalisées avec des modèles de trafic, qui, en fonction des flux de véhicules détectés instantanément, évaluent en temps réel l'état acoustique et environnemental du système et, si cela signale des limites d'impact supérieures au seuil, rationalisent et réaffectent les flux sur le réseau, en envoyant automatiquement des messages d'info-mobilité qui incitent les utilisateurs à changer d'itinéraire pour tous ceux générés/attirés par le nœud portuaire.

Les technologies ITS sont des outils fondamentaux pour la planification de la mobilité urbaine et aident les autorités publiques (AP) à atteindre leurs objectifs stratégiques et à gérer les opérations concrètes de gestion du trafic, notamment en s'attaquant aux problèmes directs que le trafic détermine sur le bien-être et la pollution environnementale. La gestion intégrée et systémique de ces outils permet une gestion coordonnée des réseaux routiers et facilite la mise en œuvre de schémas intégrés de logistique urbaine et d'accès réglementé, visant notamment à réduire la pression de la pollution environnementale et sonore sur les villes, en particulier celles où la présence de nœuds portuaires accentue l'attraction du trafic léger et commercial. Les résultats de l'expérimentation du système ITS permettent de déterminer le niveau de réponse à la résolution du problème de la pollution sonore, en mettant également en évidence les niveaux d'utilisabilité du système par les opérateurs de l'AP chargés de la gestion, et par les utilisateurs qui l'utilisent vice versa (utilisateurs attirés et générés par le nœud portuaire). L'architecture et les aspects technico-scientifiques du système LIST PORT ont été conçus selon une approche expérimentale, scientifique et technologique ouverte, capable de favoriser son développement ultérieur.

La phase préparatoire de l'application visait à surveiller les niveaux de trafic et de bruit dans les ports et sur les routes principales ; elle a été suivie par la modélisation des réseaux routiers avec le logiciel SUMO (Simulation of Urban MObility), afin de disposer d'un modèle virtuel capable de simuler de nouveaux scénarios de réseau (voir 3.2.1). En outre, une partie caractérisation acoustique a

été développée dans le but de définir le climat acoustique environnemental des villes pilotes et d'identifier, pour les différentes périodes diurnes, les zones et les points sensibles les plus soumis à des niveaux de pression acoustique supérieurs aux seuils (voir 3.2.2).

Après avoir évalué les points critiques et les avoir comparés aux niveaux de pression acoustique critiques dans les points sensibles du réseau, des solutions alternatives de déplacement et/ou d'accès aux ports ont été identifiées, à mettre en place grâce à l'utilisation de systèmes ITS basés sur des plateformes d'info-mobilité (PMV ou APP) capables de fournir aux conducteurs des informations en temps réel sur les itinéraires alternatifs et les blocages sur certains axes routiers, ainsi que d'indiquer la présence de situations de congestion en certains points du réseau d'accès/sortie des ports. La plateforme ITS du projet LIST-PORT, en fonction des données d'entrée du trafic détectées en temps réel, provenant du système de surveillance du trafic des véhicules et du traitement ultérieur par le modèle de simulation-prédiction du bruit des transports (voir SECTION I.4), est capable de gérer de manière automatique, intégrée et simultanée les messages et les informations d'info-mobilité à envoyer aux utilisateurs (conducteurs). Les messages acheminés, selon le système par lequel ils sont acheminés ou traités, sont de deux types:

- **de proximité** grâce à des panneaux à message variable (PMV) placés le long des routes menant au port et de celles permettant de sortir du port vers les destinations finales ;
- **d'information-planification des déplacements** par le biais d'APP à installer sur les dispositifs mobiles (smartphones, tablettes ou autres dispositifs mobiles connectés à Internet), qui permettent, avant le début du trajet ou en tout cas avant d'entrer dans le réseau routier de la ville menant au nœud portuaire, de connaître l'état de congestion des routes, le niveau d'émission de bruit avec une indication des éventuelles criticités, afin de planifier le trajet et les itinéraires possibles de manière informée,

Les deux systèmes ont pour fonction de modifier les itinéraires des usagers qui se dirigent vers les portes d'accès du port et de ceux qui en sortent, ainsi que de générer des informations et de définir des itinéraires alternatifs pour les usagers en transit sur le réseau routier du front de mer du port, dans le but de réduire l'impact acoustique en redistribuant le trafic de véhicules sur le réseau routier..

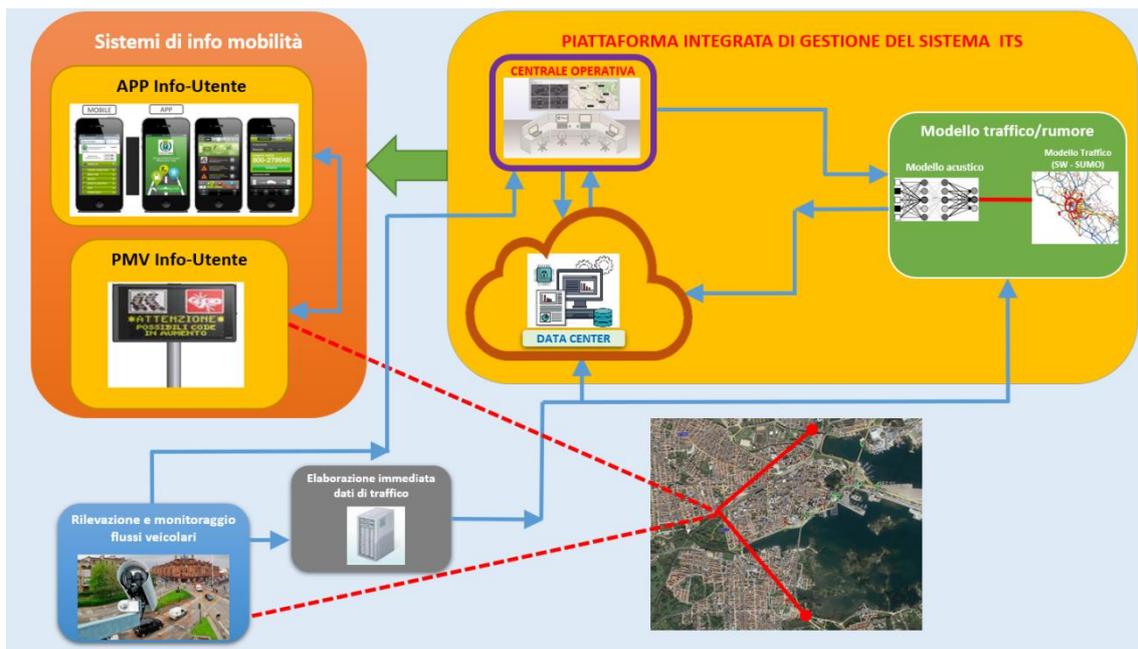


FIGURE III.1: ARCHITECTURE DU SYSTEME ITS LIST-PORT

La figure III.1 présente l'architecture du système ITS LIST-PORT, dans laquelle la dynamique du flux d'informations au sein du système est schématisée.

Avec l'action d'évaluation ex-post, par le biais d'une campagne de surveillance simultanée du bruit et du flux de trafic, l'ampleur de la diminution de la pression du trafic et du bruit suite à l'introduction du système ITS LIST-PORT sera mesurée. Les bénéficiaires finaux seront les résidents et les visiteurs des villes portuaires, tandis que les bénéficiaires de second niveau seront les opérateurs portuaires qui pourront compter sur une gestion optimale des accès au port et une gestion plus efficace du trafic interne. Le projet, dans l'esprit des programmes Interreg IT-FR, est basé sur une approche transfrontalière, où les résultats obtenus lors des expériences dans les quatre villes pilotes seront évalués et comparés par rapport aux différentes configurations urbaines, orographiques et territoriales, afin de définir une standardisation méthodologique et de modélisation et leur reproductibilité ultérieure dans d'autres contextes portuaires. Le projet est innovant à la fois en termes de contenu et de méthode : en termes de contenu, parce qu'il aborde la question de la gestion du trafic par le biais de systèmes STI intégrés et interconnectés ; en termes de méthode, parce que cette question est abordée conjointement pour les contextes portuaires et urbains.

Le projet LIST-PORT poursuit certains des objectifs fixés par la directive 2002/49/CE, notamment : le partage d'une politique intégrée et synergique d'actions visant à réduire la pollution sonore et le développement de bonnes pratiques capables de définir une approche méthodologique standardisée pour les différentes villes portuaires ; la définition d'une procédure de conception qui se

prête à l'extensibilité et à la reproductibilité dans d'autres contextes urbains portuaires. Le projet a également permis de poursuivre les objectifs suivants : développer des processus pour informer l'opinion publique et le personnel portuaire sur l'ampleur du bruit dans l'environnement et ses effets ; lancer des stratégies communes à long terme visant à réduire le nombre de citoyens exposés à des valeurs élevées de bruit dans l'environnement. Dans ce contexte, le fait d'avoir abordé le problème par le biais d'une comparaison transfrontalière entre différentes villes portuaires européennes a permis de définir une variété d'expériences et de résultats, qui sont le fruit d'une évaluation de l'ensemble des criticités propres à chaque ville pilote portuaire. En expérimentant le modèle dans les quatre villes portuaires examinées (Olbia, Bastia, Vado Ligure, Piombino), qui diffèrent en termes de conformation, de trafic, de réseau routier, d'orographie et d'aménagement urbain, il a été possible de définir un processus de généralisation qui permet la reproduction dans d'autres contextes portuaires. Le point fort de l'approche était la coopération transfrontalière entre les partenaires du projet, qui a permis une comparaison maximale entre les différentes villes portuaires européennes. L'échange d'expériences dans différents contextes urbains/territoriaux a également été analysé par rapport à la déclinaison différente de la législation européenne dans les différents états et régions et aux différentes réglementations et règles au niveau local, provincial et régional, avec des limites et des classes de bruit souvent beaucoup plus articulées que celles des lois nationales. En outre, la diversification des partenaires a permis de définir la variété des expériences et des résultats, qui consistent à évaluer l'ensemble des criticités locales individuelles visant à définir les actions du système nécessaires pour aborder le problème du bruit/de la pollution atmosphérique dans sa globalité. Traiter le problème uniquement au niveau local n'aurait pas garanti un nombre suffisant d'études de cas, nécessaires pour standardiser le processus et la méthodologie d'application du modèle ; de plus, cela n'aurait pas garanti, dans la phase expérimentale, la gamme suffisante d'informations nécessaires pour valider le modèle et le rendre évolutif et reproductible dans d'autres situations. Les paragraphes suivants illustrent brièvement les activités et les résultats développés dans le cadre du projet.

3. LE PROJET LIST PORT : LE PROCESSUS MÉTHODOLOGIQUE ET LES ACTIVITÉS DÉVELOPPÉES POUR LA RÉDUCTION DU BRUIT

3.1 *Analyse réglementaire*

L'analyse réglementaire du contexte territorial dans lequel se situe le projet est fondamentale car elle constitue l'élément auquel il faut se comparer pour appliquer les méthodologies d'analyse et d'intervention pour l'étude et l'élaboration des mesures d'atténuation de l'impact sonore.

Les réglementations nationales et communautaires ne prévoient pas de directives adéquates pour évaluer le bruit des ports : la Dir. 2002/49/CE ne prévoit pas l'évaluation spécifique du bruit portuaire mais se limite à l'assimiler au bruit industriel sans tenir compte du fait que les ports ont des caractéristiques particulières, un haut degré de complexité et une grande variété d'activités, qui en font une source importante et articulée de pollution sonore.

Le bruit dans les ports est devenu un aspect critique qui peut contribuer à limiter le développement des ports commerciaux, la difficulté de l'analyse étant déterminée par les différents types de sources présentes. Bien qu'il existe de nombreuses expériences et études sur ce sujet et que les technologies visant le confinement acoustique soient largement disponibles, le nombre limité d'applications dans le domaine ne permet pas d'évaluer l'efficacité du contrôle du bruit et l'impact réel que les interventions peuvent avoir sur l'amélioration du climat acoustique dans les ports et les villes portuaires.

3.1.1 **Législation européenne**

Les principales législations analysées sont les suivantes:

- **La directive 2002/49/CE** relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement est l'instrument législatif essentiel pour protéger les citoyens contre la pollution causée par le trafic routier, ferroviaire et aéroportuaire, ainsi que par les grandes installations industrielles. Son objectif est double: définir une approche commune pour éviter, prévenir ou réduire les effets nuisibles du bruit dans l'environnement et fournir une base pour l'élaboration de mesures visant à réduire le bruit généré par les principales sources. La directive-cadre, en ce qui concerne le bruit dans l'environnement, vise à réduire l'exposition à ce type de bruit en harmonisant les indicateurs de bruit et les méthodes d'évaluation, en collectant des informations sur l'exposition au bruit sous la forme de "cartes de bruit" et en mettant ces informations à la disposition du public.

Sur la base de ce qui précède, les États membres sont tenus d'établir des plans d'action pour traiter les problèmes de bruit. L'évaluation et la mise en œuvre de la directive ont montré qu'il existe plusieurs domaines dans lesquels des activités sont nécessaires pour réduire l'impact du bruit sur la santé des citoyens au sein de l'UE, pour atteindre les objectifs de la directive et pour se rapprocher le plus possible des valeurs recommandées par l'OMS.

L'article 11 de la directive sur le bruit dans l'environnement prévoit un rapport de mise en œuvre préparé par la Commission européenne tous les 5 ans. En plus d'aborder la mise en œuvre, la directive exige que ce rapport comprenne un examen des environnements sonores, fixe des objectifs et des mesures pour réduire le bruit dans l'environnement et évalue la nécessité d'une action communautaire supplémentaire. Ce deuxième rapport de mise en œuvre fait le point sur la situation après la publication du premier rapport et représente le plan d'action. D'autre part, l'article 6 de la directive impose à la Commission d'établir des méthodes communes pour la détermination des valeurs L_{den} et L_{night} selon une procédure spécifique (article 13, paragraphe 2, de la directive) en révisant l'annexe II. À cette fin, la Commission a commencé en 2008 à élaborer le cadre méthodologique commun pour l'évaluation du bruit dans le cadre du projet "Méthodes communes d'évaluation du bruit dans l'UE" ("CNOSSOS-EU") sous la direction du Centro comune di ricerca (JRC), dont les résultats ont été publiés dans un rapport¹. Le projet s'est concentré sur la normalisation des procédures de quantification de l'exposition au bruit dans tous les États membres afin de produire des données comparables, des outils techniques et des preuves scientifiques pertinentes pour la conception de politiques efficaces contre le problème du bruit.

Avec la directive 2015/996 CE du 19 mai 2015, la Commission a transposé les résultats du projet CNOSSOS-UE et a procédé à la modification de l'annexe II initiale. La directive exige que les États membres mettent en vigueur les dispositions législatives, réglementaires et administratives nécessaires pour se conformer à la nouvelle directive au plus tard le 31 décembre 2018.

¹ Metodi comuni la valutazione del rumore in Europa (CNOSSOS-EU) — relazione di riferimento del JRC, EUR 25379 EN. Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, 2012 — ISBN 978-92-79-25281-5 disponibile al seguente link: http://webaux.cedex.es/egra/EGRA-ingles/I-Documentacion/CNOSSOS-EU/2012_CNOSSOS_JRCfinal.pdf

3.1.2 Législation nationale italienne

Au niveau national, en Italie, les dispositions pertinentes en la matière sont les suivantes ::

- des dispositions du Code, à savoir l'article 844 du Code civil, consacré aux "immissions", et l'article 659 du Code pénal, intitulé "perturbation de l'occupation ou du repos des personnes" ;
- Réglementation publique, c'est-à-dire la loi-cadre n° 447 de 1995 et ses décrets d'application ultérieurs.

Cette législation établit les principes fondamentaux de la protection de l'environnement extérieur et de l'habitat contre les nuisances sonores, en application et aux fins de l'article 117 de la Constitution. Il précise également que les mesures visant à limiter les émissions sonores sont de nature administrative, technique, constructive et de gestion. Cette loi est maintenant presque entièrement mise en œuvre par l'émission de décrets spécifiques pour la réglementation du bruit produit par les routes, les chemins de fer, les aéroports et les industries, alors qu'il n'y a toujours pas d'acte réglementaire pour la réglementation du bruit produit par les activités portuaires, bien que cela soit attendu.

Décret législatif n° 42 du 17 février 2017 (Dispositions relatives à l'harmonisation des réglementations nationales sur la pollution sonore, en application de l'article 19, alinéa 2, lettres a), b), c), d), e), f) et h) de la loi n° 161 du 30 octobre 2014.²⁾, modifie le décret législatif 194/2005³ (décret d'application de la directive 2002/49/CE), qui définit les procédures et les compétences pour l'établissement de la cartographie du bruit et des plans d'action visant à réduire le bruit dans l'environnement, ainsi que pour assurer l'information et la participation du public concernant le bruit dans l'environnement et ses effets nocifs.

Le décret, en particulier, modifie les articles 2, 3, 4, 7, 8 et 11 du décret législatif 194/2005 et fixe au 31 décembre 2018 le remplacement de l'annexe 2 " Méthodes de détermination des descripteurs acoustiques " par les méthodes communes d'évaluation du bruit établies, en application de la directive 2002/49/CE, par l'annexe de la directive 2015/996/CE.

L'article 8, en particulier, crée auprès du ministère de l'environnement et de la protection du territoire et de la mer une commission pour la protection contre les nuisances sonores composée de représentants des ministères de l'environnement

² <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/11/10/14G00174/sg%20>

³ <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2005/10/13/05A09688/sg>

et de la protection du territoire et de la mer, de la santé, des infrastructures et des transports et du développement économique.

Cette commission effectue des tâches d'appui technico-scientifique dans le domaine de :

- Transposition des descripteurs acoustiques prévus par la directive 2002/49/CE ;
- Définition de la typologie et des valeurs limites à communiquer à la Commission européenne conformément à l'article 5, paragraphe 8 de la directive 2002/49/CE ;
- Cohérence des valeurs de référence visées à l'article 2 de la loi n° 447 du 26 octobre 1995 avec la directive 2002/49/CE ;
- Modalités d'introduction des valeurs limites qui seront établies dans le cadre de la législation nationale, en vue de leur utilisation progressive dans le cadre des contrôles et de la planification acoustique ;
- Mise à jour des décrets d'application de la loi n° 447 du 26 octobre 1995, concernant les méthodes de détermination des descripteurs acoustiques visés à l'annexe 2 de la directive 2002/49/CE et la définition des valeurs limites environnementales, également en fonction des critères de simplification.

3.1.3 Législation nationale française

La législation française en matière de prévention et de répression des nuisances sonores aborde fondamentalement la question en prenant en compte le caractère transversal et multipolaire des nuisances sonores. La législation de référence est :

- Loi-cadre n° 92 - 1444 du 31 décembre 1992, codifiée aux articles L.571.1 à L.571.26 du Code de l'environnement
- Loi n° 2009 - 967 du 3 août 2009, dite loi Grenelle.

Dans le cas de la loi-cadre n° 92 - 1444, l'objectif principal est également de tracer un cadre législatif complet sur le problème du bruit, tout en proposant une base réglementaire cohérente pour son traitement dans tous les domaines où il n'est pas déjà prévu par des dispositions spécifiques.

Les dispositions de cette loi visent à

- Introduire des mesures préventives pour limiter les émissions sonores ;
- Réglementer certaines activités bruyantes ;
- Établir de nouvelles normes pour les infrastructures de transport terrestre ;
- Introduire des mesures de protection des habitants affectés par le bruit du transport aérien, financées par une taxe d'aéroport ;

- Simplifier l'enregistrement des délits et créer de nouvelles catégories de fonctionnaires d'État et municipaux habilités à les enregistrer ;
- Renforcer les mesures judiciaires et administratives pour faire respecter la réglementation.

Pour ces raisons, en matière d'urbanisme, ils limitent, par exemple, les constructions autour des aéroports et imposent une isolation acoustique renforcée des bâtiments situés à proximité des zones affectées par des transports urbains bruyants. La loi-cadre a créé des commissions de l'environnement et des organes consultatifs composés de fabricants d'équipements bruyants, de citoyens et d'élus, et prévoit l'adoption de documents d'urbanisme pour informer les citoyens des nuisances auxquelles ils sont exposés en choisissant leur lieu de résidence. Enfin, elle quantifie les limites d'émissions sonores que les équipements et les machines doivent respecter pour pouvoir être mis sur le marché. Par ailleurs, selon l'article L.571.10.1 du Code de l'environnement, les entreprises ferroviaires exploitant des trains sur le réseau ferré doivent contribuer à la réduction du bruit dans l'environnement en adaptant les dispositifs de roulement et de freinage du matériel roulant.

Ce premier cadre réglementaire général comprend la loi n° 2009 - 967 du 3 août 2009, dite loi Grenelle, prise pour la mise en œuvre des orientations et mesures définies par la Commission du "Grenelle de l'Environnement". Il s'agit d'une loi-cadre pour la planification, qui vise à encourager et à promouvoir une politique à long terme en matière d'écologie, de développement et d'aménagement durable, y compris des mesures fiscales et des taxes..

3.1.4 Applications réglementaires régionales : les cas de la Ligurie, de la Toscane, de la Sardaigne, de la Corse et de Paca

Ces dernières années, la question de l'impact sonore sur les zones urbaines causé par les navires à quai apparaît comme un aspect pertinent et transversal par rapport aux immissions sonores portuaires dans diverses réalités italiennes.

Dans l'année qui a précédé l'entrée en vigueur de la loi-cadre 447 de 1995, la **Région Liguria**, sur la base des règles administratives établies par le décret du Président du Conseil des ministres du 1er mars 1991 "Limites maximales d'exposition au bruit dans les locaux d'habitation et dans l'environnement extérieur", avait déjà promulgué sa propre loi (l.r. 31/1994 "Directives pour la limitation et la réduction de la pollution sonore") visant à limiter les émissions sonores excessives, révisée et mise à jour par la l.r. n.12 ultérieure. /1998, qui fixe des règles pour la protection de l'environnement extérieur et de l'habitat contre les nuisances sonores.

Des études ultérieures approfondies du problème, menées à travers des campagnes spécifiques de mesure des niveaux de bruit auxquels le territoire ligure est exposé, ont permis d'identifier le trafic automobile comme la principale source de bruit dans l'environnement.

En ce qui concerne la pollution sonore, **la Région Toscana** a adopté la loi régionale n° 89 du 1er décembre 1998, qui établit des règles visant à protéger l'environnement et la santé publique de la pollution sonore produite par les activités humaines, en réglementant leur fonctionnement afin de maintenir les niveaux sonores dans les limites fixées par la loi.

Les principales compétences de la Région Toscane comprennent la définition des critères techniques et des lignes directrices que les municipalités sont tenues de suivre lors de l'élaboration des Plans Communaux de Classification du Bruit (PCCA) et des Plans Communaux de Restauration du Bruit (PCRA), l'identification des priorités temporelles pour l'assainissement acoustique, la définition des méthodes d'élaboration de la documentation pour l'évaluation de l'impact acoustique et du climat acoustique, et les méthodes de délivrance des autorisations municipales d'exemption pour les activités temporaires et/ou en plein air. Avec le décret du Président du Conseil régional n° 2/R du 08.01.2014, le règlement régional pour l'application de l'art. 2, alinéa 1, de la LR n° 89/1998 "Normes sur la pollution sonore" a été approuvé.

Le règlement, élaboré avec le soutien technique de l'ARPAT, remplace et met à jour les lignes directrices émises par le D.C.R. n. 77/2000. En substance, la structure de ces directives est confirmée, divisée en plusieurs parties, devenues autant de chapitres du règlement : classement acoustique du territoire, coordination des plans communaux de classement acoustique avec les instruments communaux d'urbanisme, procédures de délivrance des autorisations communales. Un autre chapitre (chapitre VI) a été ajouté sur les méthodes de contrôle de la documentation des prévisions de l'impact acoustique prévues dans le cadre des procédures de l'art. 12 de la loi régionale 89/98 et des modifications et ajouts ultérieurs. (les critères pour la rédaction de la documentation de l'impact acoustique et du rapport de prévision du climat acoustique ont été définis par le DGR n. 857/2013).

3.1.5 Conclusions

L'examen de la législation aux différents niveaux hiérarchiques a montré que le problème de la pollution sonore est généralement fortement ressenti à tous les niveaux. C'est pourquoi de nombreuses réglementations ont été adoptées qui

n'abordent pas la question de la pollution sonore des ports, mais l'assimilent au bruit industriel.

Cet aspect met en évidence la nécessité d'élaborer des réglementations spécifiques qui tiennent compte de la complexité du phénomène du bruit portuaire, que les États membres doivent aborder à la fois par des réglementations européennes spécifiques et par des réglementations qui seront mises en œuvre dans les différents pays. Ce besoin apparaît et émerge encore plus fortement face à la pression de l'opinion publique qui réclame de plus en plus de mesures et de réglementations visant à réduire le bruit portuaire afin d'assurer un développement équilibré des ports et d'améliorer la qualité de vie dans les villes portuaires. Le projet LIST PORT, avec les autres projets du Cluster Acoustique, a pour objectif de fournir un cadre cognitif actualisé et détaillé permettant de fournir des éléments utiles pour la mise à jour des réglementations sectorielles qui prennent en compte le bruit spécifique produit par le port et ses activités.

3.2 Les activités préparatoires de l'analyse acoustique et de transport

Les phases préparatoires du projet LIST-PORT concernaient l'analyse acoustique et de transport des villes portuaires pilotes identifiées dans le projet (Olbia, Bastai, Vado Ligure et Piombino). L'analyse a été réalisée en contrôlant les niveaux de trafic et de bruit sur les principales routes menant aux ports et en sortant : les réseaux routiers ont été modélisés afin de définir un modèle virtuel capable de reconstituer le scénario actuel et d'évaluer les criticités présentes, tant en termes de trafic que de bruit. Le modèle vise également à simuler de nouveaux scénarios d'aménagement du réseau capables de réduire la charge des véhicules et donc l'impact sonore qu'ils génèrent. Après avoir évalué les criticités sur différentes périodes (hiver doux et été de pointe) et les avoir comparées aux niveaux de capacité sonore déjà caractérisés, des itinéraires et/ou des solutions alternatives sont identifiés pour les flux de trafic traversant le front de mer portuaire et/ou ceux entrant et sortant des ports, à transmettre aux utilisateurs par le biais de systèmes ITS basés sur des plateformes d'info-mobilité (panneaux à messages variables et APP pour dispositifs mobiles intelligents) capables de fournir des informations en temps réel aux conducteurs. L'action d'évaluation ex post a été conçue pour évaluer les effets sur le trafic et la réduction du bruit causés par l'introduction des systèmes ITS, dans le but d'identifier toute action corrective nécessaire pour améliorer le système. Les bénéficiaires finaux du système sont les résidents et les visiteurs des villes portuaires, tandis que les bénéficiaires de second niveau sont les opérateurs portuaires qui pourront compter sur une gestion optimale des accès au port et une gestion plus efficace du trafic interne.

Le système expérimental intégré mis au point dans le cadre de LIST-PORT vise à garantir l'acquisition continue de données sur les flux de trafic, leur transmission à un centre d'exploitation et la communication ultérieure d'indications spécifiques à l'utilisateur aux panneaux à messages variables et aux APP sur les terminaux mobiles pour la planification des itinéraires.

3.2.1 Caractérisation du transport

L'étude de caractérisation des transports vise à identifier les points critiques du système de routes d'accès au port et du front de mer des villes portuaires pilotes d'Olbia, Piombino, Vado Ligure et Bastia.

La zone d'étude, représentée sur la figure III.2, se situe dans 4 villes portuaires donnant sur la mer Méditerranée : Olbia, Bastia, Vado Ligure et Piombino. L'étude de caractérisation du transport a comporté les phases suivantes :

1. l'analyse des flux de mobilité actuels, par le biais d'une enquête sur les sections de route et les intersections ;
2. la construction du modèle de simulation de trafic ;
3. l'identification des points critiques sur la base des résultats du modèle..



FIGURE III.2: IDENTIFICATION DES VILLES PORTUAIRES PILOTES DU PROJET LIST- PORT

3.2.1.1 Analyse des flux de mobilité actuels

Afin de mettre à jour la matrice O/D, de calibrer le modèle et de connaître les entités de trafic du réseau routier, des enquêtes de trafic ont été réalisées dans différents tronçons routiers et intersections, ceux qui étaient les plus significatifs et fonctionnels pour la construction du modèle de trafic (voir Figure III.3, Figure III.4, Figure III.5 et Figure III.6). Pour les villes d'Olbia, de Bastia, de Vado Ligure et de Piombino, des campagnes d'enquête sur le trafic ont été réalisées dans des intervalles de temps déterminés, aussi bien en période douce qu'en période de pointe :

L'équipement utilisé pour les relevés effectués dans les sections de route et les intersections est brièvement décrit ci-dessous :

- 1. Équipement radar.** Il s'agit d'un instrument portable utilisé pour réaliser des campagnes de contrôle et de classification du trafic automobile. Le système est composé d'un capteur radar doppler capable de détecter les véhicules en transit sur les deux voies, même en sens inverse, et d'identifier leur longueur, la date et l'heure de leur passage. L'étalonnage du système peut être effectué de manière semi-automatique ou paramétrée, à l'aide d'un logiciel spécial (pour PC ou Palmtop). Sa petite taille et la possibilité de le positionner en bord de route sur tout support existant (poteaux de signalisation, éclairage, etc.) en font un produit facile à installer, sans gêner la circulation et sans mettre en danger la sécurité du personnel chargé de surveiller le trafic ;
- 2. 2Caméra de détection des flux de circulation.** Il s'agit d'un système d'acquisition vidéo et de décodage d'images pour le comptage et la classification du flux de véhicules. Le système se compose de l'unité de collecte vidéo (VCU), une caméra portable pour l'acquisition de vidéos connectée à un boîtier de contrôle qui gère la caméra et exécute toutes les fonctions d'enregistrement et de stockage de la vidéo, d'alimentation du système et de lecture de la vidéo. La caméra est placée sur un poteau rétractable coaxial autoportant qui est fixé à côté d'un poteau existant pour en assurer la stabilité. Une fois la vidéo collectée, un logiciel spécial est utilisé pour décoder les images afin d'effectuer le comptage, la classification des véhicules et, dans le cas des intersections ou des ronds-points, les manœuvres de virage. Le système identifie le véhicule ou le piéton dans la scène filmée, puis classe les sujets (piétons, vélos/motos, voitures, véhicules utilitaires légers et poids lourds) et retrace leur mouvement.

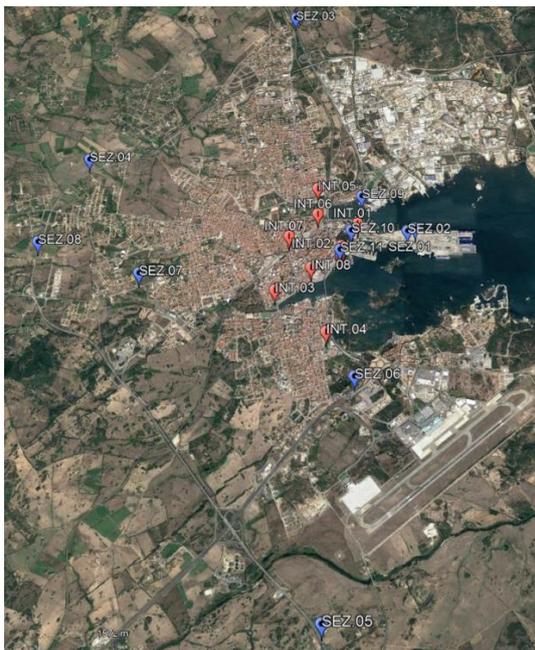


FIGURE III.3 SECTIONS DE L'ENQUETE OLBIA

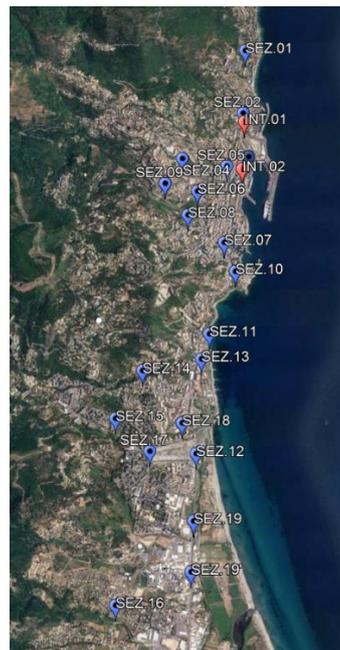


FIGURE III.4: SECTIONS DE L'ENQUETE BASTIA

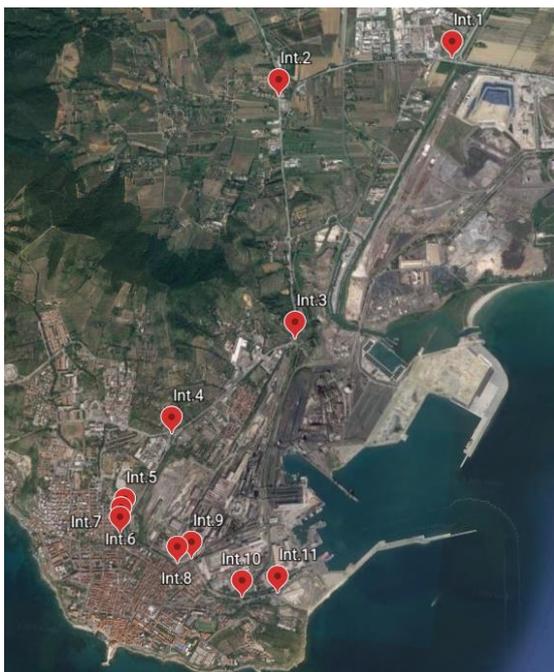


FIGURE III.5 SECTIONS DE L'ENQUETE PIOMBINO

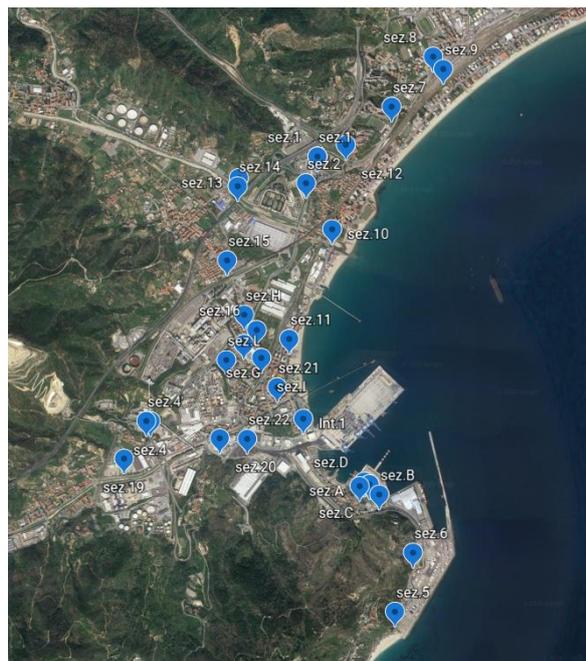


FIGURE III.6: SECTIONS DE L'ENQUETE VADO LIGURE

Voici des exemples de flux de trafic enregistrés pendant les périodes d'hiver et d'été.

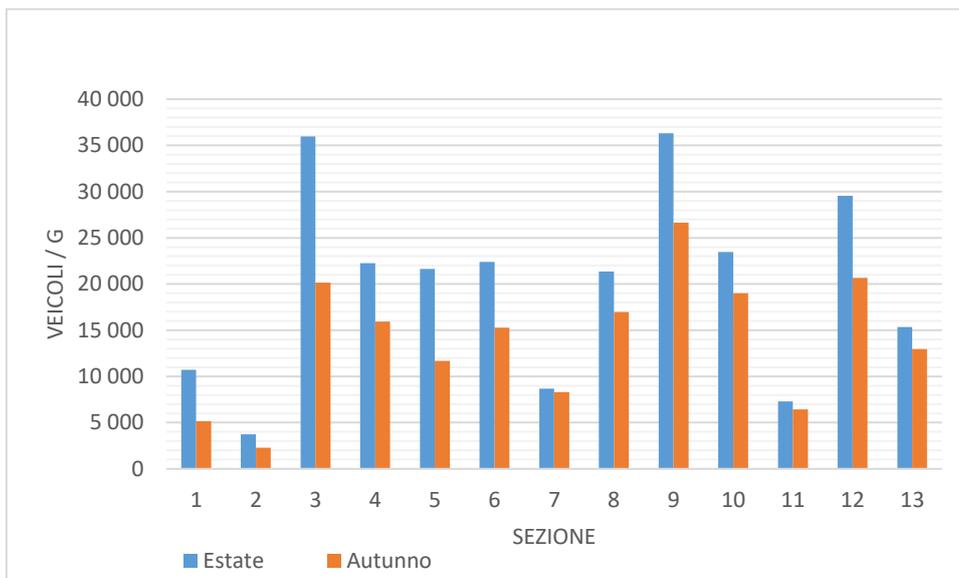


FIGURE III.7: COMPARAISON DES FLUX DE TRAFIC ETE-AUTOMNE 2019 OLBIA

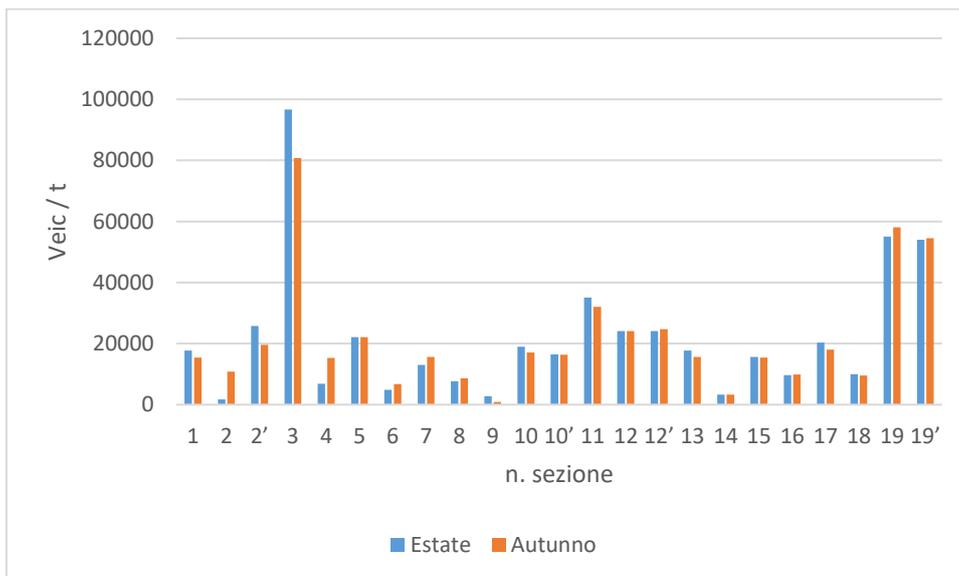


FIGURE III.8: COMPARAISON DES FLUX DE TRAFIC ETE-AUTOMNE 2019 BASTIA

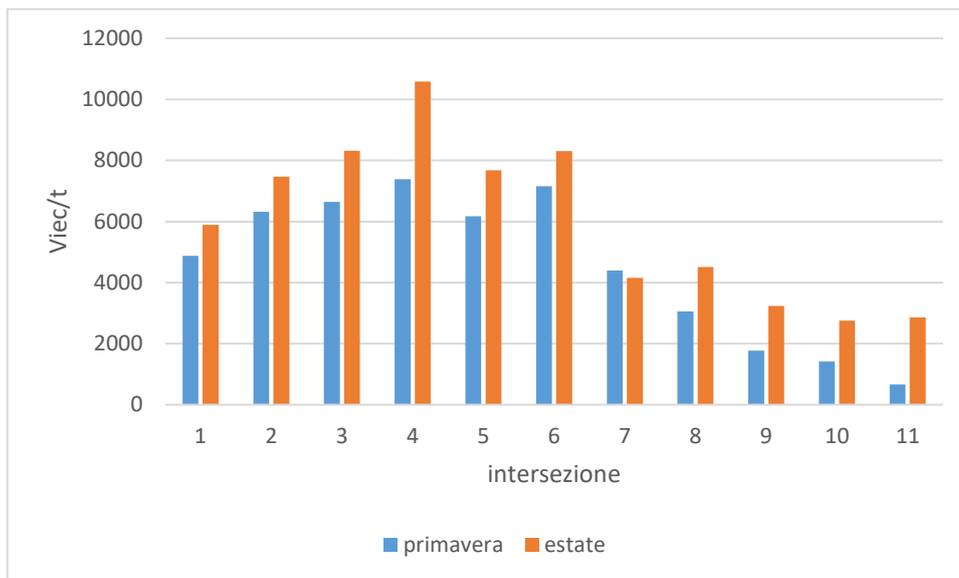


FIGURE III.9: COMPARAISON DES FLUX DE TRAFIC ETE-AUTOMNE 2019 PIOMBINO

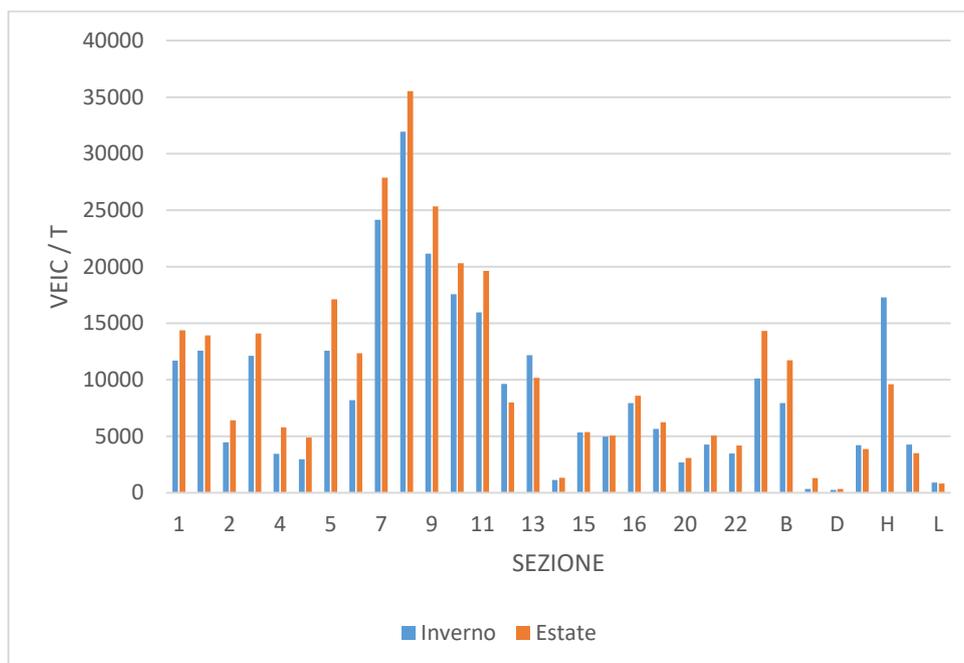


FIGURE III.10: COMPARAISON DES FLUX DE TRAFIC ETE-AUTOMNE 2019 VADO LIGURE

3.2.1.2 *Mise en œuvre du modèle de simulation de trafic*

Le modèle de trafic des villes portuaires pilotes a été développé avec le logiciel libre de simulation de trafic multimodal SUMO. Ce logiciel permet de reproduire un réseau routier qui correspond parfaitement à la réalité du point de vue géométrique et qui est capable de simuler les mouvements des différents types de véhicules qui y circulent. La simulation est effectuée en entrant la matrice origine-destination comme données d'entrée, qui est ensuite assignée au réseau à l'aide d'un algorithme d'assignation. A chaque étape de la simulation, le statut des

véhicules est mis à jour en fonction des informations du réseau (offre) et de l'interaction avec les autres véhicules dans le voisinage immédiat. Cette procédure permet à SUMO de simuler et de reproduire les scénarios de trafic actuels d'une zone d'étude particulière afin d'obtenir des indicateurs de transport, tels que la densité, la capacité routière, la longueur des files d'attente, le bruit et les émissions polluantes, et de pouvoir ensuite évaluer les mêmes paramètres par rapport aux scénarios de réorganisation et de rationalisation du réseau routier afin d'atténuer les situations critiques et/ou la congestion de certains arcs du réseau routier examiné.

Afin de définir la modélisation de la zone d'étude des villes pilotes, le zonage a été défini au préalable, suivi de l'extraction des arcs les plus pertinents du réseau routier afin de procéder à l'élaboration ultérieure des matrices Origine-Destination basées exclusivement sur les données de la matrice O/D ISTAT 2011. La mise en œuvre du graphique de réseau (voir Figure III.11) a été réalisée par la caractérisation des vitesses réelles sur chaque arc routier, la reconstruction de toutes les manœuvres de virage et la modélisation des phases des carrefours à feux.

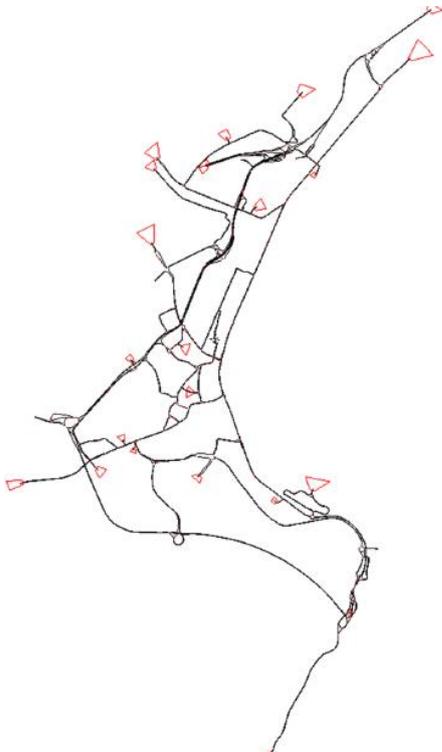


FIGURE III.11: SCHEMA DU RESEAU ROUTIER DE VADO LIGURE

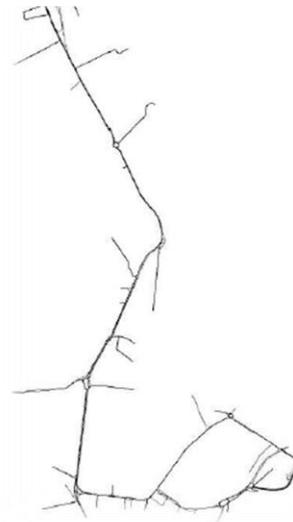


FIGURE III.12: SCHEMA DU RESEAU ROUTIER DE PIOMBINO

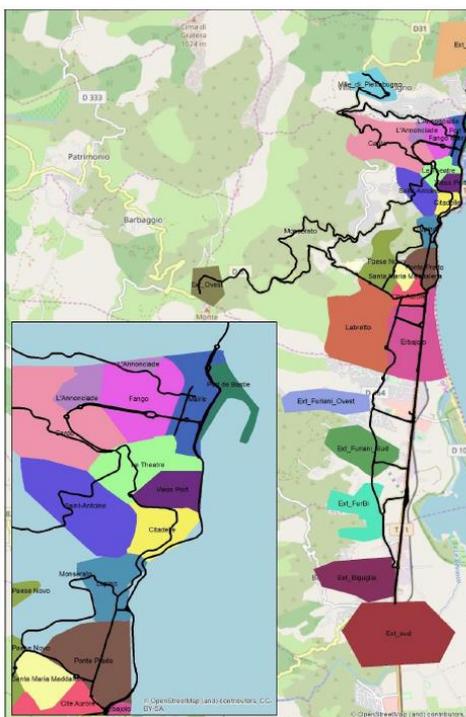


FIGURE III.13: LE ZONAGE DE BASTIA

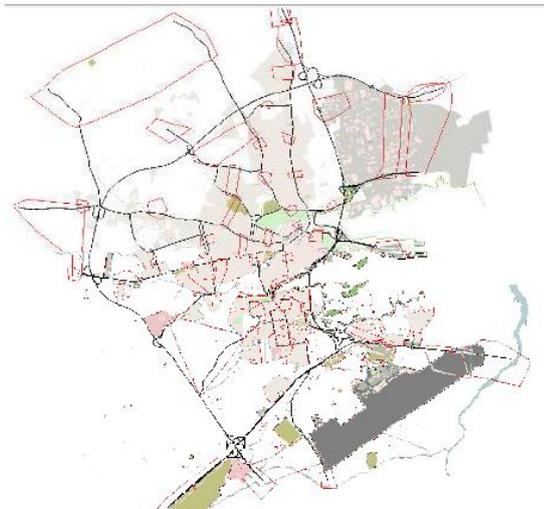


FIGURE III.14: LE MODELE CHARGE ET LE ZONAGE D'OLBIA

Pour chaque ville, les modèles de trafic ont été développés dans les intervalles de temps considérés comme les plus significatifs, ceux dans lesquels les plus grandes charges se produisent sur le réseau.

Une fois que la construction d'une matrice O/D à partir des données ISTAT a été achevée, elle a ensuite été calibrée à l'aide des débits enregistrés sur le réseau. Pour la correction de la matrice O/D, le paquet Marouter a été utilisé pour l'affectation à l'équilibre stochastique..

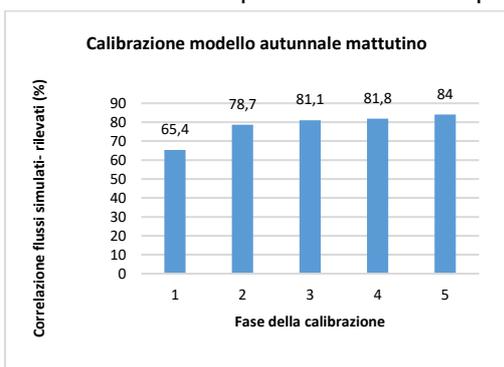


FIGURE III.15: CORRECTION INITIALE DE LA MATRICE O/D RELATIVE A LA PERIODE MATINALE D'AUTOMNE (OLBIA)

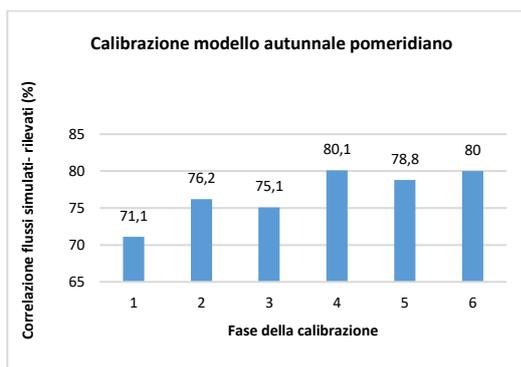


FIGURE III.16: CORRECTION INITIALE DE LA MATRICE O/D RELATIVE A LA PERIODE MATINALE D'ETE (BASTIA)

FIGURE III.17

En sortie, Marouter fournit le fichier contenant les flux, les temps de parcours moyens et le degré de saturation de chaque arc du graphe, ainsi que la génération

d'un fichier contenant toutes les routes utilisées pour connecter les paires O/D simples.

Une fois que la matrice O/D a été corrigée, et que les flux sur les arcs simples du réseau ont été définis par l'affectation de l'équilibre, il a été possible de calculer le niveau de service de chaque arc routier, en analysant les retards pour les flux de véhicules simples (voir Figure III.17 et Figure III.18)..



FIGURE III.18: SIMULATION DYNAMIQUE AVEC PRESENCE DE FILES D'ATTENTE (OLBIA)

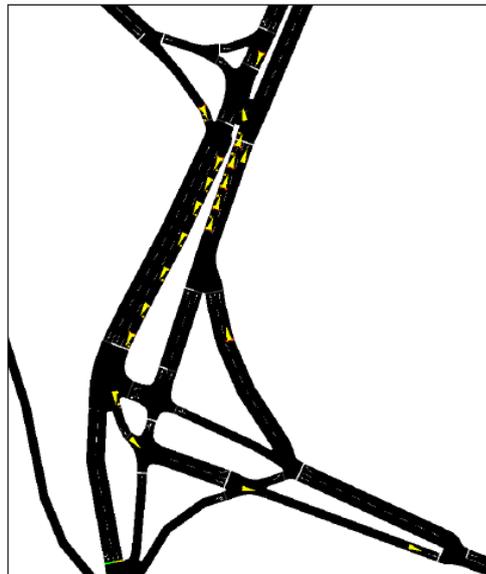


FIGURE III.19: SIMULATION DYNAMIQUE AVEC PRESENCE DE FILES D'ATTENTE (PIOMBINO)

3.2.1.3 *Les résultats des modèles et l'identification des criticités*

Afin d'analyser l'état du réseau chargé, et d'identifier les points critiques, on a examiné les résultats obtenus à partir de l'affectation d'équilibre, effectuée en sélectionnant la partie du réseau routier qui présentait une valeur de vitesse horaire moyenne inférieure à 10 km/h, considérée comme le seuil en dessous duquel se produisent les situations de congestion. Les figures suivantes montrent l'état du réseau et certains des carrefours, dans les différentes villes, qui ont montré des phénomènes de congestion, et sur lesquels il faudra activer des solutions de réorganisation du réseau routier à transmettre aux usagers de la route afin de limiter l'impact du bruit généré par le trafic.



FIGURE III.20: LA REPARTITION DES FLUX DE TRAFIC (OLBIA)

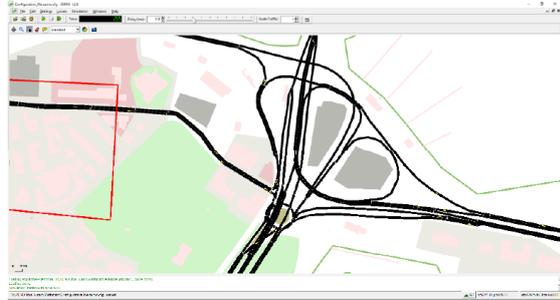


FIGURE III.21: SIMULATION DYNAMIQUE DU NODE D'ACCES AU PORT D'OLBIA

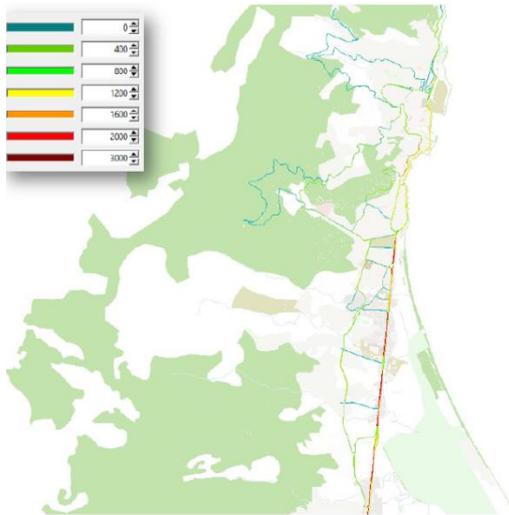


FIGURE III.22: LA REPARTITION DES FLUX DE TRAFIC (BASTIA)



FIGURE III.23: SIMULATION DYNAMIQUE (BASTIA)

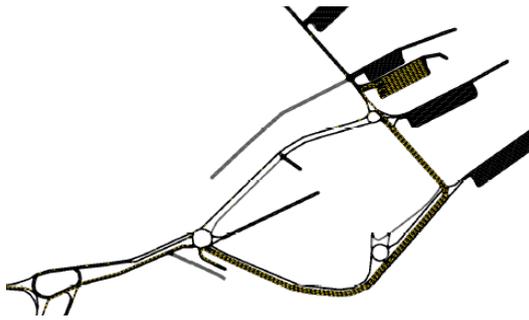


FIGURE III.24: SIMULATION DE CRITICITE DU QUAI 5 (PIOMBINO)

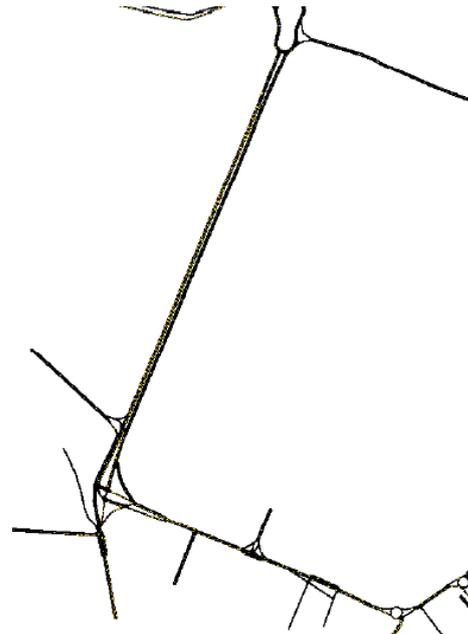


FIGURE III.25: SIMULATION DES FILES D'ATTENTE JUSQU'AU VIALE UNITA D'ITALIA (PIOMBINO)

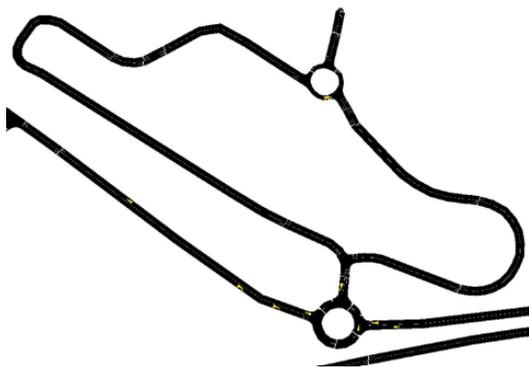


FIGURE III.26: SIMULATION DE CRITICITE DU PORT DE VADO LIGURE

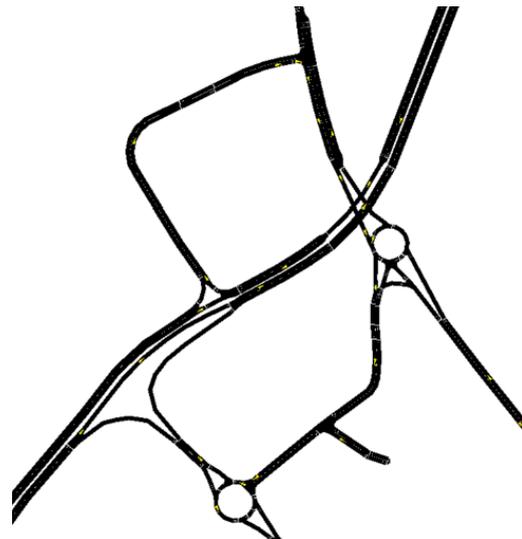


FIGURE III.27: SIMULATION DE LA CRITICITE DU CARREFOUR A FEUX ENTRE VIA CADUTI PER LA LIBERTA ET AURELIA (VADO LIGURE)

Le tableau ci-dessous résume les points critiques qui ont émergé pour chaque ville individuelle.

VILLE	POINTS CRITIQUES
Olbia	Il y a des encombrements : pendant la période estivale le matin sur 16% des arcs et l'après-midi sur 9,4% des arcs, tandis que pendant la période automnale le matin sur 8,5% des arcs et l'après-midi sur 9,9% des arcs. Sont particulièrement encombrés : la branche de la via S. Simplicio entre la via Brigata Sassari et la via

	Vittorio Veneto et le rond-point entre la via Roma, la via Ungheria et la via Tasso.
Bastia	Phénomène de congestion de Bastia : pendant la période estivale le matin sur 15% des arcs et l'après-midi sur 17% des arcs, tandis que pendant la période automnale le matin sur 16% des arcs et l'après-midi sur 22% des arcs. Sont particulièrement congestionnés : le boulevard Auguste Gaudin, le tunnel de la RT11, et le rond-point situé entre l'avenue Pierre Guidicelli, l'avenue Pascal Lota et la territoriale T11.
Vado Ligure	Le point potentiellement critique pourrait être le rond-point sur Corso Svizzera à l'intersection avec Via Caravaggio.
Piombino	En période estivale, l'ensemble du réseau est très fréquenté : les points critiques pourraient être le rond-point entre via Cavallotti, via Pisacane et la route communale de Portovecchio, et l'intersection 6 entre viale della Resistenza et viale Unità d'Italia.

3.2.2 Caractérisation acoustique

Les activités de caractérisation acoustique visent à étudier la corrélation entre le climat acoustique des différentes villes pilotes et les flux de trafic induits par les activités portuaires. Avant les campagnes de mesure, des enquêtes directes et une documentation approfondie ont été réalisées afin de dresser un tableau suffisamment exhaustif de l'état actuel des villes pilotes du point de vue acoustique et environnemental, pour étayer les enquêtes sur les transports et la situation socio-économique.

Dans le cadre de la présente activité, la documentation technique a été acquise et les réglementations applicables ont été analysées (tant du côté français qu'italien), des données cartographiques ont été acquises ainsi que des extraits des instruments de planification en vigueur, et en général tous les éléments contribuant à la détermination des scénarios de climat acoustique et de trafic ont été évalués. Ces analyses ont permis de développer une identification préliminaire des criticités possibles pour l'exécution ultérieure du plan de sondage et pour la construction du modèle acoustique prévisionnel.

3.2.2.1 *Analyse de la planification des villes pilotes*

Les outils de planification urbaine tracent les lignes du développement futur des zones bâties. Dans le cas des villes côtières, en présence d'infrastructures portuaires, la coexistence entre ces instruments et la planification portuaire des organismes gestionnaires des ports est vérifiée. En outre, au niveau territorial, la planification des infrastructures et des transports intervient, ce qui place les nœuds portuaires dans un réseau plus large et plus complexe.

Une analyse générale des outils de planification montre qu'il y a généralement un chevauchement de plusieurs niveaux de planification, et souvent les zones portuaires et rétro-portuaires, si vitales pour le système économique, constituent un système fermé, en marge, alors que les activités qui y sont menées ont des répercussions importantes sur l'environnement urbain. Dans ce contexte, la planification portuaire conserve encore un fort caractère d'autonomie par rapport aux plans urbains : les exigences dynamiques et compétitives de la gestion des ports maritimes contrastent avec la tendance à les intégrer dans la ville, en récupérant et en valorisant de vastes zones.

Vous trouverez ci-dessous quelques extraits de la planification actuelle concernant les zones portuaires et arrière-portuaires de la ville pilote examinée. .

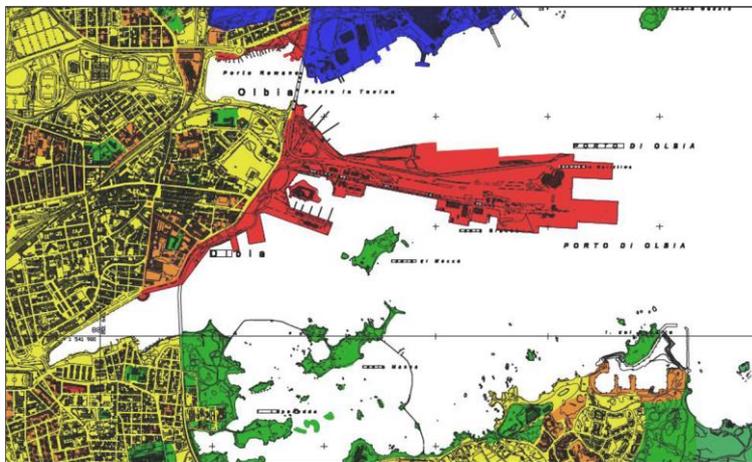


FIGURE III.28: EXTRAIT DU PLAN DE CLASSIFICATION ACOUSTIQUE DE LA VILLE D'OLBIA

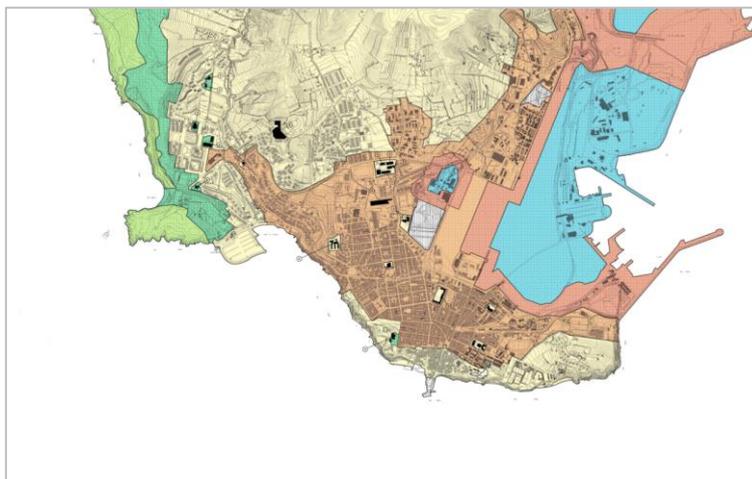


FIGURE III.29: EXTRAIT DU PLAN DE CLASSIFICATION ACOUSTIQUE DE LA VILLE DE PIOMBINO

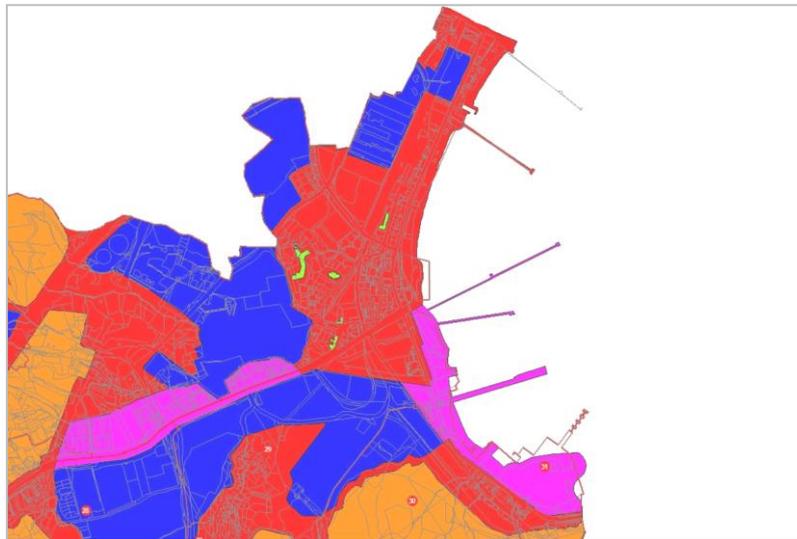


FIGURE III.30: PLAN DE CLASSEMENT ACOUSTIQUE DE LA COMMUNE DE VADO LIGURE - ZONAGE ACOUSTIQUE DE LA PORTION DE TERRITOIRE CONCERNEE PAR LES ANALYSES

3.2.2.2 Les enquêtes acoustiques

Dans les villes pilotes du projet LIST-PORT, des enquêtes ex ante sur le bruit dans l'environnement ont été réalisées, en période de pointe estivale et en période douce hivernale, dans le but de créer la base de données de référence pour l'analyse du climat acoustique de la façade portuaire, pour l'élaboration de la cartographie acoustique et pour la mise en œuvre des modèles de prévision du bruit du trafic automobile.

La gêne potentielle due au bruit d'une infrastructure de transport terrestre est classiquement caractérisée par le $Leq(A)^4$ (niveau sonore équivalent pondéré A) exprimé par des indicateurs se référant aux périodes de jour et de nuit codifiés par les règlements européens et mis en œuvre par les règlements nationaux.

Pour les villes pilotes situées sur le territoire italien, la référence législative pour effectuer les mesures est le décret ministériel du 16/03/1998 "Techniques de détection du bruit dans l'environnement", tandis que pour la ville de Bastia, sur le territoire français, l'étude pertinente cite les normes NFS 31-085 et NFS 31-110 ainsi que les articles L571-9, R571-44 et R571-52 du Code de l'environnement.

Comme il n'a pas été possible d'effectuer des relevés ponctuels sur toute l'extension des façades portuaires et des zones urbaines affectées par le trafic et

⁴ Définition : $LAeq$ (niveau sonore continu équivalent pondéré A) est la dose de bruit perçue (énergie acoustique cumulée) pendant une période donnée à une position donnée. En pratique, c'est la valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son constant qui, sur une période T spécifiée, a la même pression quadratique moyenne qu'un son considéré dont le niveau varie avec le temps. Il est exprimé en décibels pondérés A (dB (A)). La pondération A est un filtre de pondération qui tient compte du fait que l'oreille humaine n'est pas sensible aux différentes fréquences (basses - moyennes - hautes) de la même manière.

pour des périodes suffisamment représentatives simultanément au comptage des véhicules en transit, certains points particuliers ont été étudiés, comme par exemple des routes importantes, des intersections, des infrastructures ou des récepteurs sensibles, identifiés stratégiquement sur le territoire, pour ensuite étendre l'estimation des niveaux sonores aux zones d'intérêt au moyen de modèles de propagation physique.



FIGURE III.31: STATIONS DE DETECTION ACOUSTIQUE COMUNE DI OLBIA



FIGURE III.32: STATIONS DE MESURE DU NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE DANS LA VILLE D'OLBIA

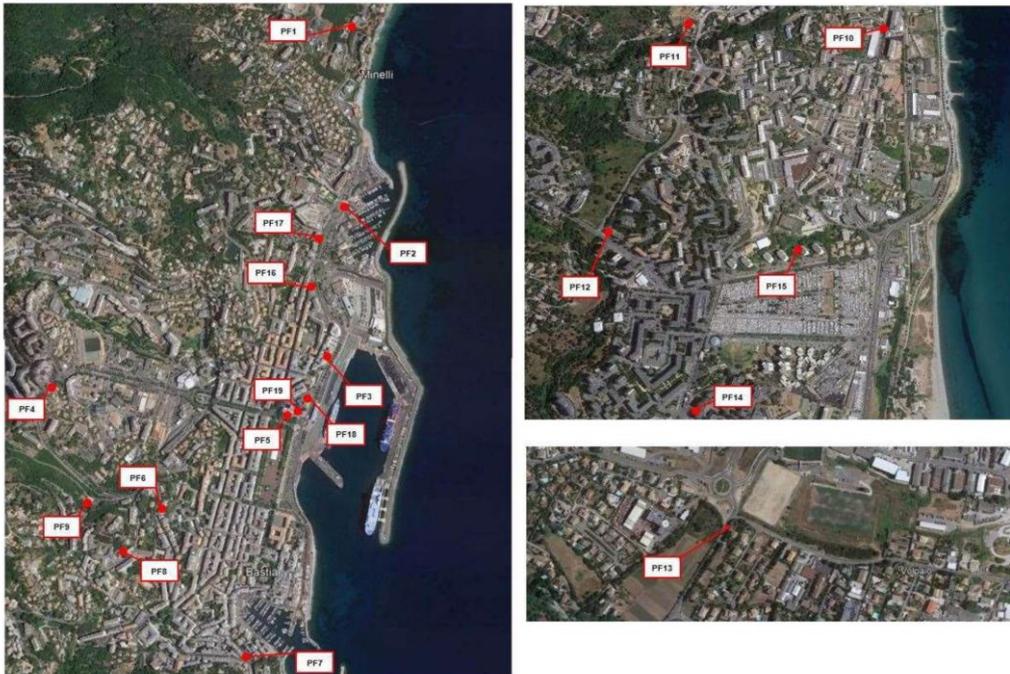


FIGURE III.33: LIEUX DE SURVEILLANCE DU BRUIT DANS LA VILLE DE BASTIA



FIGURE III.34: STATIONS DE RELEVES ACOUSTIQUES DANS LA VILLE DE PIOMBINO - PERIODE DE POINTE

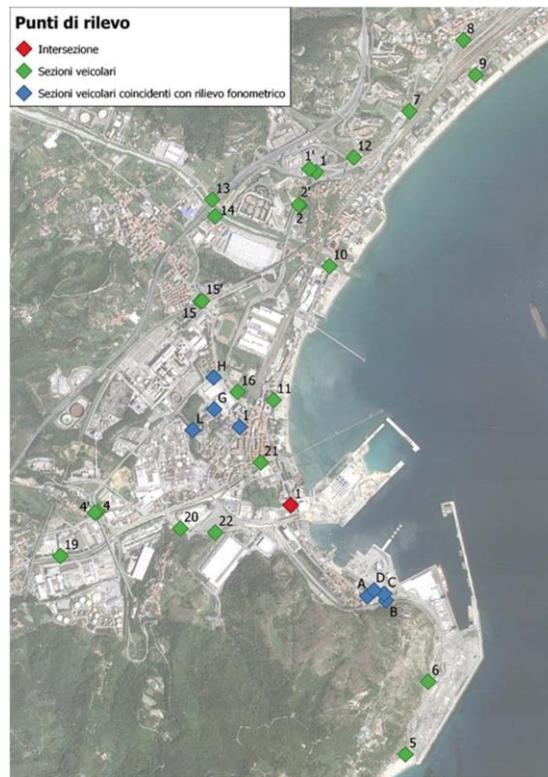


FIGURE III.35: POSTES D'ENQUETE SUR LA CIRCULATION DES VEHICULES DANS LA VILLE DE VADO LIGURE

Lors de la campagne de mesure et des répétitions ultérieures, on a essayé de comprendre la dynamique des mouvements de véhicules liés à la présence des zones portuaires et la tendance des niveaux de pression acoustique dans les zones urbaines adjacentes.

L'enquête a certainement permis de cadrer la réalité des villes portuaires pilotes d'un point de vue acoustique et du transport, tout en mettant en évidence la complexité des contextes urbains investigués.

Les données acquises ont été utilisées pour développer des modèles permettant de mettre en œuvre les actions envisagées par le projet. Il est toutefois possible de jeter un regard unitaire sur les expériences de suivi réalisées jusqu'à présent, de comparer et d'analyser les données, de comparer les méthodologies adoptées dans les différentes villes et de tirer des premières indications.

Le tableau récapitulatif des périodes d'enquête montre la correspondance temporelle entre les activités réalisées, à l'exception de la période douce à Olbia (mars 2019), qui, selon la tendance de la ville, peut certainement être classée en basse saison.

	Période douce ex ante		Période de pointe ex ante	
	de	à	de	à
Bastia	10/10/2019	19/10/2019	22/09/2019	01/09/2019

Olbia	25/03/2019	28/03/2019	23/08/2019	26/08/2019
Piombino	04/10/2019	21/10/2019	09/08/2019	20/08/2019
Vado Ligure	28/10/2019	31/10/2019	29/07/2019	05/08/2019

TABLE III.1: SCHEMA TEMPOREL SYNOPTIQUE DES RELEVES ACOUSTIQUES EFFECTUES

En ce qui concerne la variabilité saisonnière des niveaux de pression acoustique liée à l'augmentation des activités portuaires pendant la saison estivale, on constate une tendance générale à l'aggravation des nuisances sonores, sans toutefois qu'il y ait une tendance constante et uniformément répartie, mais plutôt des effets différenciés qui peuvent être détectés au cas par cas. Dans certaines villes, la distribution temporelle des niveaux de pression acoustique équivalents dans les deux périodes est déphasée. La dynamique locale et la variabilité saisonnière des activités anthropiques ont sans aucun doute une influence.

En ce qui concerne les modes opératoires, les relevés pour les villes d'Olbia, Piombino et Vado Ligure ont été effectués presque exclusivement en utilisant une modalité de type source orientée avec un microphone placé près de l'infrastructure routière. Pour la ville de Bastia, en revanche, une approche de type récepteur orienté a été suivie, le microphone étant placé à proximité des points sensibles, généralement des bâtiments.

Les mesures effectuées en des points de la ville situés à une certaine distance des ports ont une valeur de transport et de caractérisation acoustique de la source routière dans le but principal de reconstruire le climat acoustique sur la base d'un modèle physique "statique" qui saisit la tendance des courbes de niveau d'isolement dans l'espace (typiquement représentées sur des cartes bidimensionnelles) associées à certains flux horaires de trafic attribués à la section routière. Ces modèles permettent une évaluation homogène des niveaux sonores sur toute l'étendue du territoire examiné.

3.2.2.3 Cartographie du bruit et communication des résultats

L'activité de cartographie acoustique des zones portuaires des villes pilotes a été développée sous la forme d'une représentation spatiale, en fonction d'un descripteur acoustique, des niveaux de pression acoustique corrélés à la source de perturbation représentée par le trafic de véhicules dans les conditions étudiées.

Cela a permis d'indiquer le dépassement des valeurs limites pertinentes, le nombre de personnes exposées ou le nombre de logements exposés à certaines valeurs de bruit.

Les modèles numériques des fronts portuaires ont été reconstruits en utilisant des plateformes logicielles spécifiques pour la construction des cartes et les données collectées lors des campagnes de mesure des flux de trafic ont été utilisées pour la

définition qualitative et quantitative des sources de bruit représentées par les routes. La comparaison entre les valeurs simulées et mesurées a montré que les modèles de propagation numérique utilisés étaient cohérents.

Les indicateurs acoustiques utilisés sont basés sur les dispositions de la législation acoustique en vigueur. À cet égard, les valeurs des niveaux sonores ambiants pour les différentes périodes de référence du jour, diurne et nocturne, respectivement LeqD et LeqN, ont été analysées. A partir de ceux-ci, on a obtenu les niveaux sonores qui ont pu être comparés aux valeurs limites fixées par le D.P.C.M. 14 novembre 1997, DPR 30 mars 2004 n.142 pour les routes et tirées des plans de zonage acoustique municipaux pour les zones acoustiquement homogènes dans lesquelles sont divisés les territoires municipaux.

Les indicateurs acoustiques introduits par le décret législatif 194/2005 ont également été pris en considération : Lden (Day-Evening-Night Level) et Lnight (Night Level), tels que définis par la directive européenne 2002/49/CE, mais en modifiant les bandes horaires dans lesquelles doivent être mesurés/calculés les indicateurs acoustiques Lday, Levening et Lnight, qui définissent ensemble l'indicateur acoustique Lden. Par conséquent, les coefficients numériques de la formule Lden sont également différents.

Les périodes identifiées par la réglementation pour l'élaboration des cartes de bruit sont jour-soirée-nuit soit de 6h00 à 6h00 du lendemain alors que pour la directive européenne elle est de 7h00 à 7h00 du lendemain. Les périodes de jour sont réparties comme suit :

période de jour : de 6 heures à 20 heures (alors que pour la directive, elle est de 7 heures à 19 heures) :

- période du soir : de 20h00 à 22h00 (tandis que pour la directive, elle est de 19h00 à 23h00) ;
- période nocturne : de 22h00 à 06h00 (alors que pour la directive, elle est de 23h00 à 7h00).

Ces indicateurs sont utiles pour la préparation des cartes de bruit pour la cartographie stratégique du bruit, comme l'exige la directive européenne 2002/49/CE.

Les figures suivantes montrent des extraits des cartes de bruit établies pour les 4 villes portuaires pilotes.

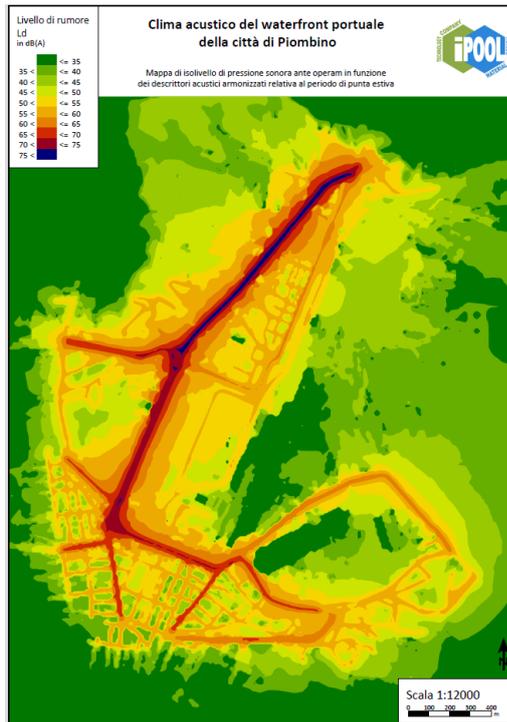
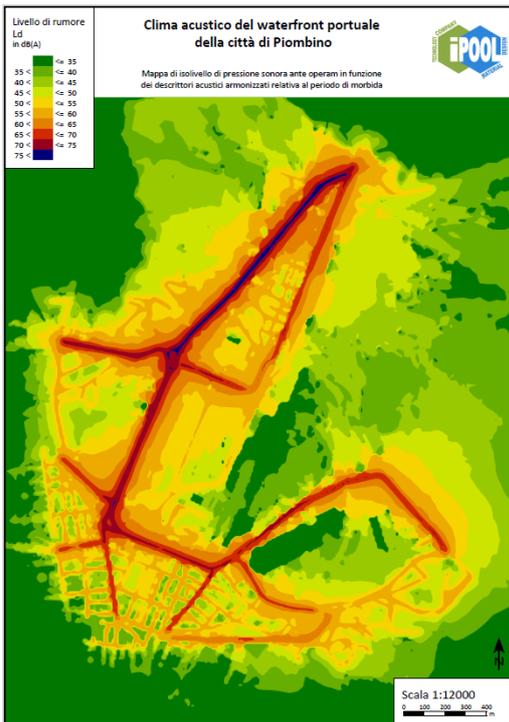


FIGURE III.36: CARTES DE BRUIT DE LA VILLE DE PIOMBINO

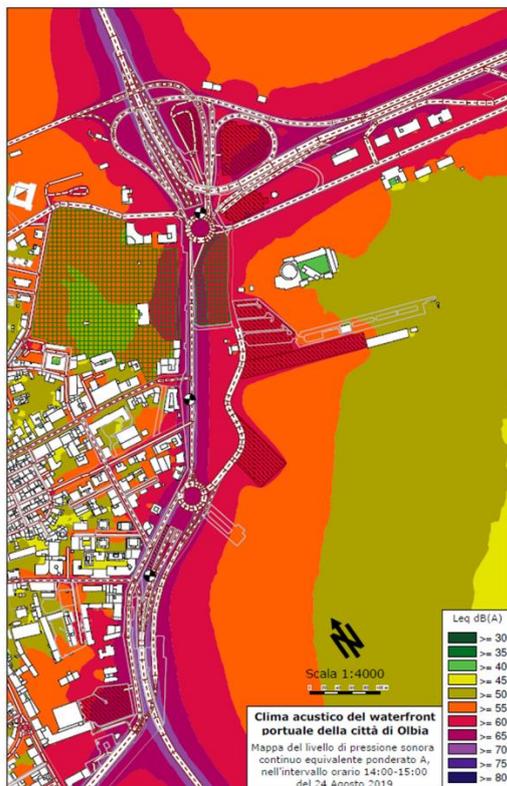


FIGURE III.37 : CARTES DE BRUIT DE LA VILLE D'OLBIA

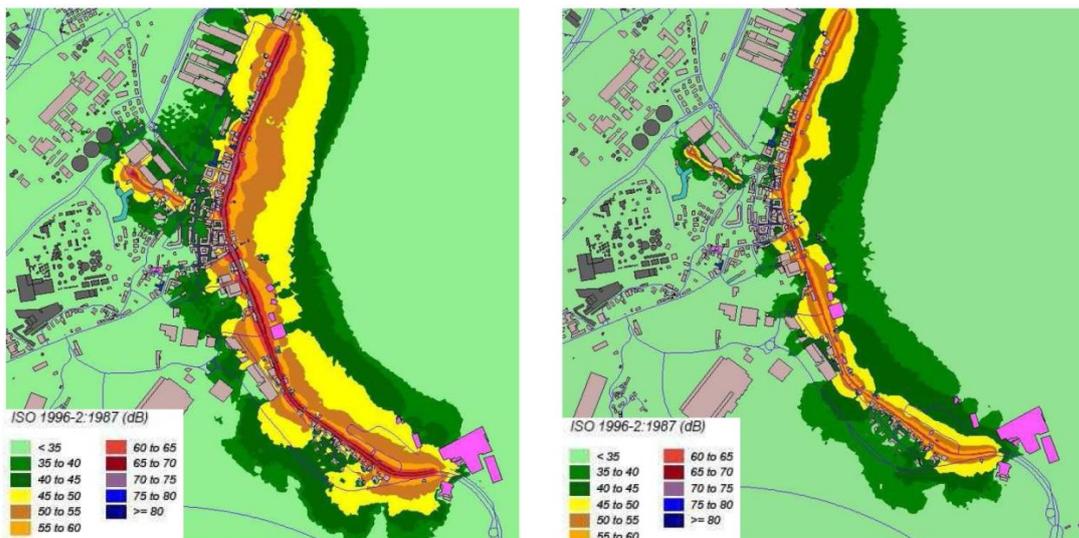


FIGURE III.38: : CARTES DE BRUIT DE LA VILLE D'OLBIA

3.2.3 Le modèle de prédiction du bruit de transport

Le modèle de prévision du bruit des transports consiste essentiellement à définir une procédure de détermination de la capacité acoustique d'un tronçon routier et à l'implémenter dans SUMO (Simulation of Urban MObility).

La procédure de détermination du modèle a été articulée en deux activités distinctes menées par l'UNIFI, à savoir :

- Détermination de la capacité acoustique ;
- Mise en œuvre du module de simulation du trafic et du bruit.

Dans le cadre du projet LIST Port, l'UNIFI a développé une méthodologie pour la détermination de la capacité acoustique d'un tronçon routier qui a ensuite été implémentée dans le logiciel libre de simulation de trafic SUMO.

Comme décrit ci-dessous, pour déterminer la capacité acoustique d'un tronçon de route, on détermine les émissions et les immissions de bruit dues à la circulation des véhicules.

Les émissions sonores sont calculées directement à l'aide du logiciel SUMO. Les immissions de bruit sont calculées directement à l'aide du logiciel SUMO, tandis que les immissions sont calculées à l'aide d'un script Python qui reçoit les émissions de bruit calculées par SUMO et calcule les immissions de bruit à un point récepteur..

Le processus méthodologique qui a conduit à la définition du modèle de prévision est présenté ci-dessous :

- les principales réglementations italiennes et européennes concernant la pollution sonore due à la circulation des véhicules.

- la modélisation des émissions sonores à l'aide du modèle Harmonoise.
- la modélisation de la propagation du son dans l'environnement, à l'aide du modèle Harmonoise.
- la procédure de calcul de la capacité acoustique d'une section de route.
- un script Python implémentant le modèle de propagation Harmonoise, bien qu'avec quelques simplifications.

3.2.3.1 Le concept de "capacité acoustique".

La méthodologie pour la détermination quantitative de la capacité sonore d'un tronçon routier a été développée selon un schéma qui a déjà été utilisé pour la détermination de la capacité environnementale due aux polluants atmosphériques d'un tronçon routier.

La capacité environnementale due aux polluants atmosphériques d'un tronçon routier est définie comme le flux de véhicules pour lequel la concentration d'au moins un des polluants atmosphériques considérés est égale à la valeur limite (établie par la réglementation), tandis que la concentration des autres polluants est inférieure ou au plus égale à leurs valeurs limites respectives (établies par la réglementation).

Comme nous le verrons dans la section suivante, la législation sur le bruit prévoit deux types de valeurs limites : une pour les "émissions sonores" et une pour les "immissions sonores".

La capacité acoustique d'un tronçon routier est définie comme le flux de véhicules pour lequel l'une des deux valeurs, soit "émissions sonores", soit "immissions sonores", est égale à la valeur limite (fixée par la réglementation), tandis que l'autre valeur est inférieure ou au plus égale à la valeur limite respective (fixée par la réglementation).

La capacité environnementale d'un tronçon routier peut être définie comme la plus faible des deux valeurs suivantes : la capacité environnementale due aux polluants atmosphériques et la capacité sonore, telles que définies ci-dessus.

En ce qui concerne les "émissions sonores" ou "immissions sonores", la législation sur la pollution sonore (DPCM 14/11/1997) définit deux types de valeurs limites :

- La valeur limite d'émission sonore est la valeur maximale du niveau de pression acoustique (exprimée en dBA) mesurée en un point récepteur situé à 7,5 m de la trajectoire des véhicules.
- La valeur limite d'immission sonore est la valeur maximale du niveau de pression acoustique (exprimée en dBA) à un point de réception donné. La législation établit une valeur limite d'immission à mesurer au niveau du récepteur le plus sensible dans la section concernée de la route. Mais en

général, la législation fixe des limites dans chaque zone dans laquelle la zone urbaine est divisée en fonction de son utilisation. Ces limites peuvent également déterminer la capacité acoustique d'un tronçon de route urbaine. Par exemple, en supposant que le tronçon de route a une longueur de 30 mètres, il pourrait y avoir un hôpital à 50 mètres de la route : la limite de bruit pour l'hôpital détermine la capacité sonore du tronçon de route.

Les concepts de limites d'émission et d'immission ont été introduits par la loi 447/95. Les valeurs limites d'émission et d'immission, pour chacune des classes d'utilisation des sols, ont été définies dans le DPCM 14/11/1997, qui est un décret d'application de la loi 447/95. Les positions dans lesquelles les émissions et les immissions sonores doivent être mesurées sont définies dans le décret ministériel 16/3/1998, qui est également un décret d'application de la loi 447/95.

Les valeurs limites sont toujours exprimées en termes équivalents : c'est-à-dire que pour un bruit qui est de toute façon fluctuant, dans une certaine période T, on calcule le niveau de pression acoustique équivalent : celui-ci est comparé à la valeur limite. Le niveau de pression acoustique équivalent d'un bruit (son) fluctuant dans une période de temps donnée T est le niveau de pression acoustique constant avec le même contenu énergétique que le bruit (son) fluctuant.

La modélisation du phénomène du bruit dû à la circulation des véhicules comprend les deux étapes suivantes :

- Modélisation des émissions sonores : détermination du bruit émis dans l'environnement par la circulation des véhicules ;
- Modélisation de la propagation du bruit du trafic routier dans le milieu environnant : détermination de l'émission sonore mesurée à un point récepteur donné.

Pour la modélisation du bruit du trafic automobile, il est fait référence au modèle Harmonoise (Nota et al., 2005) : il s'agit d'un modèle " évolué ", reconnu au niveau européen, et implémenté dans le logiciel SUMO. Ce modèle permet de déterminer, de manière détaillée, à la fois les émissions sonores du trafic automobile et leur propagation dans l'environnement.

Les émissions sonores dues à la circulation des véhicules sont des résultats normaux des modèles de circulation couramment utilisés dans la phase d'affectation des réseaux de transport : l'affectation est l'une des "étapes" fondamentales de l'étude des réseaux de transport (on considère généralement les étapes suivantes : génération, distribution, choix modal, affectation). Par exemple, les émissions sonores dues à la circulation des véhicules sont l'un des

résultats de simulation du logiciel libre SUMO qui a été utilisé, dans le cadre du projet LIST Port, pour les analyses de transport des systèmes urbano-portuaires examinés dans le projet. Les émissions sonores fournies dans la sortie SUMO sont calculées à l'aide du modèle Harmonoise.

La propagation du son dans l'environnement n'est pas modélisée dans les modèles d'affectation des réseaux et, en particulier, dans SUMO. Dans tous les cas, il existe des logiciels spécifiques qui mettent en œuvre la propagation : parmi ceux-ci, l'un des plus utilisés est iNoise, sortie "Predictor - LimA"⁵, qui met en œuvre le modèle de propagation du son Harmonoise et effectue le zonage de l'utilisation des sols.

3.2.3.2 Aperçu de la législation européenne et italienne sur la pollution sonore

3.2.3.2.1 Directive 2002/49/CE

Législation européenne fondamentale concernant l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. Également appelée END (Environmental Noise Directive). La directive END introduit l'indicateur de bruit L_{den} à l'article 3. Appelé indicateur de bruit "jour-soir-nuit", il est utilisé pour normaliser la "gêne" causée aux personnes par le bruit à différents moments de la journée :

- lg signifie \log_{10} .

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

- L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} : indicateurs de bruit de jour, de soirée et de nuit, égaux au niveau de pression acoustique équivalent pondéré A pendant les périodes de jour, de soirée et de nuit.

La norme européenne prend en compte : la période diurne de 7 heures à 19 heures, la période nocturne de 19 heures à 23 heures et la période nocturne de 23 heures à 7 heures (durée 8 heures). Chaque pays peut modifier les limites horaires de ces trois périodes. En Italie, le décret législatif 194/2005 établit : la période diurne de 6 heures à 20 heures, la période nocturne de 20 heures à 22 heures et la période nocturne de 22 heures à 6 heures.

La directive 2002/49/CE précise également qu'il appartient à chaque État membre de fixer les valeurs limites pour les descripteurs L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et L_{den} . Cette directive a été transposée en Italie par le décret législatif 194/2005.

⁵ https://software.dgmr.nl/brochures/Leaflet_Predictor-LimA_sep-2020.pdf

3.2.3.2.2 Recommandation du C.E. 6/8/2003

Section 3 de la recommandation 6/8/2003 : spécifie la méthodologie de calcul des indicateurs de bruit pour le bruit routier, ferroviaire, industriel et aérien. Pour le bruit routier, la méthodologie proposée dans la recommandation est basée sur le "Guide du Bruit 1980", c'est-à-dire la méthode française. Toutefois, cette section a été "remplacée" et abrogée par la directive 2015/996/UE, décrite ci-dessous.

3.2.3.2.3 Directive 2015/996/UE

Établit une méthodologie sans ambiguïté pour la détermination des émissions et immissions de bruit provenant de la circulation des véhicules : CNOSSOS-EU.

La méthodologie CNOSSOS-EU est une simplification du modèle Harmonoise qui sera décrite dans les diapositives suivantes.

3.2.3.2.4 Loi-cadre sur la pollution sonore : L.447/95

La loi-cadre sur la pollution sonore fournit d'abord quelques définitions de base. Elle définit notamment : la pollution sonore, les sources de bruit fixes et mobiles, les valeurs limites d'émission et d'immission, les valeurs d'attention et les valeurs de qualité.

3.2.3.2.5 DPCM 14/11/1997

Le DPCM '97 rapporte la classification suivante du territoire municipal :

- CLASSE I - zones particulièrement protégées
- CLASSE II - zones destinées à un usage principalement résidentiel
- CLASSE III - zones à usage mixte
- CLASSE IV - zones d'activité humaine intense
- CLASSE V - zones principalement industrielles
- CLASSE VI - zones exclusivement industrielles

La classification ci-dessus avait déjà été introduite dans le décret du Premier ministre 1/3/1991 et a ensuite été mise à jour par le décret du Premier ministre 97. Le décret du Premier Ministre du 14/11/1997 établit, pour chacune des classes d'utilisation : les valeurs limites d'émission, les valeurs limites d'immission absolue, les valeurs limites de qualité. Toutes les valeurs (limites d'émission et d'immission, et limites de qualité) sont exprimées en niveau Leq en dBA.

3.2.3.2.6 Décret ministériel du 16 mars 1998 : "Techniques de détection et de mesure de la pollution sonore".

Dans l'annexe A, le DM '98 introduit quelques définitions de base sur la pollution sonore : temps de référence, temps d'observation et temps de mesure ; niveau de bruit ambiant et niveau de bruit résiduel.

L'annexe B de la DM '98 précise que la mesure du niveau sonore équivalent dans la période de référence, de jour ou de nuit, peut être mesurée de deux façons : par intégration continue (mesurée pendant toute la période de référence) ou par technique d'échantillonnage.

Enfin, l'annexe C du décret ministériel 98 précise où les émissions et immissions sonores doivent être mesurées.

3.2.3.2.7 D.P.R. 30 mars 2004, n°142

Met à jour les règlements précédents en définissant ce qu'on appelle la "bande de pertinence acoustique" d'une route. Elle établit également : la largeur de la bande de pertinence en fonction du type de route, et les valeurs limites d'émission sonore pertinentes, qui sont également différentes pour chaque type de route.

3.2.3.2.8 Décret législatif n° 194 du 19 août 2005 (mis à jour par le décret législatif 42/2017).

Le décret législatif 194/2005 est la transposition de la directive 2002/49/CE ; mise à jour ultérieure par le décret législatif n° 42 du 17/02/2017. Le D. Lgs. 194/2005 établit l'utilisation des descripteurs acoustiques L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} comme suggéré par la Directive Européenne et impose que le calcul de L_{den} soit effectué selon l'expression donnée par la Directive 2002/49/CE. Le décret législatif 194/2005 prévoit, à l'article 5, paragraphe 2, la publication d'un décret d'application établissant les valeurs limites pour L_{den} et L_{night} . Dans l'art. 5, alinéa 4, il est dit : "Jusqu'à la promulgation des décrets mentionnés à l'alinéa 2, on utilise les descripteurs acoustiques et les valeurs limites pertinentes déterminées selon l'article 3 de la loi n. 447 de 1995". Le décret d'application mentionné dans le décret législatif 194/2005 (mis à jour par le décret législatif 42/2017) n'a jamais été promulgué, par conséquent, seules les valeurs limites pour L_{day} et L_{night} fournies par le DPCM '97 restent valables.

3.2.3.2.9 D. Lgs. n° 42 du 17 février 2017

Le décret législatif n° 42 du 17 février 2017 a modifié de nombreuses parties du décret législatif 194/2005. En outre, elle établit qu'à partir du 31 décembre 2018,

pour le calcul des indicateurs de bruit, les méthodes établies, conformément à la directive 2015/996/UE, s'appliquent : c'est-à-dire la méthodologie CNOSSOS-UE.

3.2.3.3 *Modèle d'émission harmonisé*

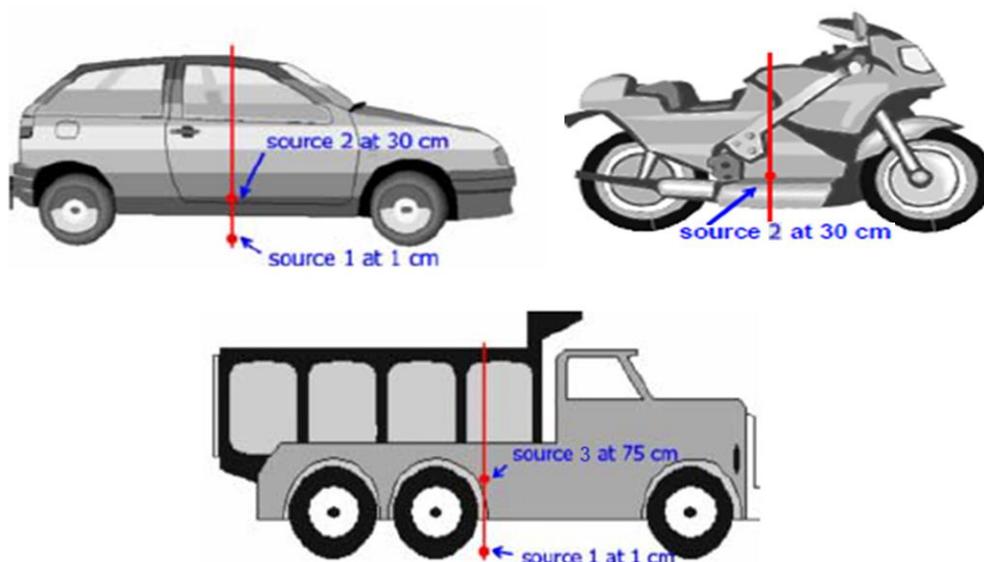
Cette méthode dite "d'ingénierie" est utilisée pour prévoir le niveau de pollution sonore causé par le trafic routier et ferroviaire.

Le modèle d'émission Harmonoise reçoit en entrée les caractéristiques du flux de véhicules : flux de véhicules (nombre de véhicules dans l'unité de temps) divisé par catégorie de véhicules, vitesse moyenne et accélération moyenne du flux de trafic de chaque catégorie de véhicules.

Le modèle d'émission Harmonoise fournit le niveau de puissance acoustique émis par la source routière.

La source sonore "route" est modélisée comme un ensemble de sources ponctuelles : les véhicules. Chacune de ces sources ponctuelles a une position, un niveau de puissance acoustique et une direction de mouvement. Chaque source sonore "véhicule" est à son tour subdivisée en sous-sources, situées à différentes hauteurs de la surface du sol.

Voici les trois sous-sources considérées dans Harmonoise:



Le bruit produit par chaque véhicule a deux causes fondamentales : le roulement et la propulsion.

Le bruit de roulement des voitures particulières (classe de véhicule $m=1$) est produit à 80% par la sous-source 1 à 1 cm du sol, et à 20% par la sous-source 2 à 30 cm du sol. Le bruit de roulement des véhicules lourds et des "véhicules moyennement lourds" (classes de véhicules $m=2$ et $m=3$) est produit à 80% par la

sous-source 1 située à 1 cm du sol et à 20% par la sous-source 3 située à 75 cm du sol. Pour les motos, le bruit de roulement est considéré comme négligeable.

En ce qui concerne le bruit de propulsion, pour les voitures particulières, 20% est produit par la sous-source 1 (1 cm au-dessus du sol) et 80% par la sous-source 2 (30 cm au-dessus du sol). Pour les motos, 100% du bruit de propulsion (qui est le seul pris en compte) provient de la sous-source 2 à 30 cm du sol. Pour les véhicules lourds, 20 % du bruit de propulsion provient de la sous-source 1 (1 cm au-dessus du sol) et 80 % de la sous-source 3 (75 cm au-dessus du sol).

Vous trouverez ci-dessous les catégories de véhicules prises en compte par Harmonoise:

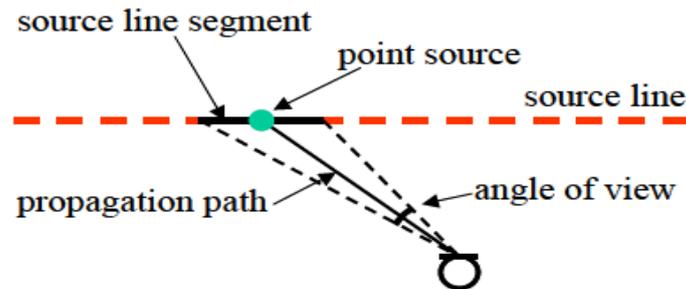
Main type	m	Example of vehicle types	Notes
Light vehicles	1a	Cars (incl MPV:s up to 7 seats)	2 axles, max 4 wheels
	1b	Vans, SUV, pickup trucks, RV, car+trailer or car+caravan ⁽¹⁾ , MPVs with 8-9 seats	2-4 axles*, max 2 wheels per axle
	1c	Electric vehicles	
	1d	Hybrid vehicles	
Medium heavy vehicles	2a	Buses	2 axles (6 wheels)
	2b	Light trucks and heavy vans	2 axles (6 wheels) ⁽²⁾
	2c	Medium heavy trucks	2 axles (6 wheels) ⁽²⁾
	2d	Trolley buses	2 axles (6 wheels) ⁽²⁾
	2e	Low noise design	2 axles (6 wheels) ⁽²⁾
Heavy vehicles	3a	Buses	3-4 axles
	3b	Heavy trucks	3 axles
	3c	Heavy trucks	4-5 axles
	3d	Heavy trucks	≥6 axles
	3e	Low noise design	≥3 axles
Other heavy vehicles	4a	Construction trucks (partly off-road use)	
	4b	Agr. tractors, machines, dumper trucks, tanks	
Two-wheelers	5a	Mopeds, scooters	Include also 3-wheel motorcycles
	5b	Motorcycles	

Le modèle d'émission Harmonoise se compose de deux modèles en cascade :

- **Modèle de véhicule** : reçoit en entrée la vitesse et l'accélération moyennes du courant de véhicule de chaque catégorie de véhicule, et fournit en sortie le niveau de puissance acoustique émis par chaque véhicule.
- **Modèle de trafic** : reçoit en entrée le niveau de puissance acoustique émis par chaque véhicule (plus précisément, par chaque sous-source), combine les émissions sonores des différents véhicules et fournit le niveau de puissance acoustique par mètre de longueur du flux de véhicules. Les

émissions sonores des trois sous-sources sont déterminées séparément, et ne sont "combinées" qu'à la fin du modèle d'émission.

L'infrastructure routière est modélisée au moyen d'une "ligne de source", qui est à son tour divisée en segments de ligne de source, chacun d'une longueur de 1m. Chaque segment de ligne source est modélisé au moyen d'une source ponctuelle : voir la figure ci-dessous..



3.2.3.3.1 Modèle de propagation Harmonoise

$$L_{p,h,j,i} = L_{W,h,j,i} - A_{div} - A_{atm,i} - A_{excess,i} - A_{refl,i} - A_{scat,i}$$

- $L_{p,h,j,i}$ = niveau de pression acoustique instantané, émis en un point récepteur donné, par la sous-source h (à 1 cm, 30 cm ou 75 cm), à partir du segment de ligne source j (modélisé par une source ponctuelle), à la fréquence sonore i
- $L_{W,h,j,i}$ = niveau de puissance acoustique [dB], émis par la sous-source h , à partir du segment de ligne de source j , à la fréquence i ; il s'agit de la sortie du modèle d'émission.
- A_{div} = atténuation due à la divergence géométrique
- $A_{atm,i}$ = atténuation due à l'absorption du son par l'atmosphère ;
- $A_{excess,i}$ = "atténuation excessive", due aux réflexions sur le sol.
- $A_{refl,i}$ = atténuation due à la perte d'énergie dans la réflexion du son
- $A_{scat,i}$ = atténuation due à la dispersion du son par la végétation

3.2.3.4 Mise en œuvre des modèles d'émission et de propagation

Le modèle Harmonoise d'émission des véhicules est déjà implémenté dans SUMO. Cependant, le modèle de SUMO considère déjà une seule valeur d'émission par véhicule, c'est-à-dire que les émissions sonores des trois sous-sources ont déjà été agrégées.

SUMO produit l'émission de bruit de chaque véhicule à chaque temps de simulation. Il indique également sur quel arc du réseau routier se trouve chaque véhicule à chaque instant.

Un script Python a été développé qui implémente le modèle de trafic Harmonoise et le modèle de propagation, bien que simplifié dans certaines parties.

Le script reçoit en entrée les émissions acoustiques de chaque véhicule à chaque instant de simulation, et l'identifiant de l'arc sur lequel se trouve le véhicule, et fournit en sortie : les émissions acoustiques sur chaque arc, et les immissions acoustiques en un point récepteur donné.

3.3 Scénarios de projet

Après avoir analysé les points critiques tant du point de vue du transport que de l'acoustique, des scénarios alternatifs et des emplacements possibles pour les systèmes d'info-mobilité avec les PMV ont été identifiés pour toutes les villes portuaires pilotes du projet, qui sont plus fonctionnels pour rediriger le trafic lorsqu'il provoque des niveaux d'émissions sonores supérieurs aux seuils.

Les scénarios identifiés pour chaque ville portuaire pilote consistent à identifier des itinéraires alternatifs pour les véhicules se dirigeant vers le port ou le quittant, capables de réduire le flux de véhicules sur les tronçons routiers les plus encombrés et de les faire transiter sur les moins encombrés, et donc de réduire les émissions sonores qu'ils génèrent.

Les scénarios ont été définis à l'aide du modèle de trafic créé avec le logiciel open source SUMO pour toutes les villes portuaires, qui permet de définir comment le trafic est redistribué sur le réseau routier en fonction de différentes réorientations du trafic et de vérifier le niveau de cogestion des différentes branches.

Les figures suivantes montrent des exemples de diagrammes de positionnement des systèmes PMV pour les villes de Bastia et Piombino afin d'informer les usagers de la route et de réorienter les flux de trafic.

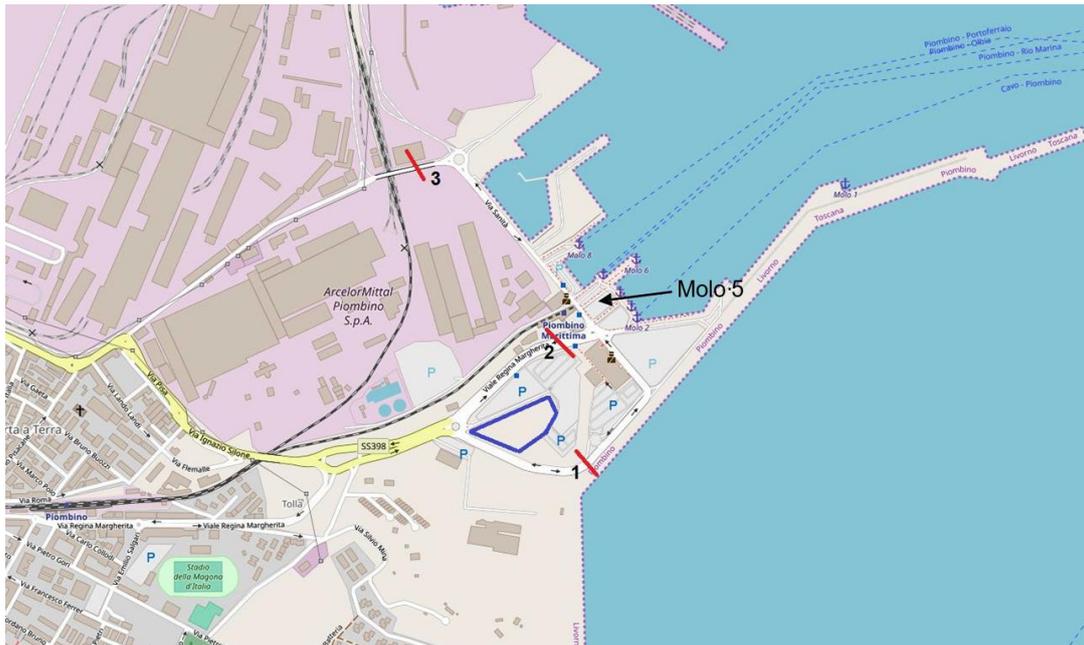


FIGURE III.39: CARTE DE LA ZONE PORTUAIRE DE PIOMBINO ET DES ENVIRONS, MONTRANT LES TROIS PORTES D'ACCES AU PORT (EN ROUGE) ET LA " POLMON AREA " (EN BLEU). (IN BLEU).



FIGURE III.40: LOCALISATION DE PMV1. LES DIMENSIONS DE PMV1 SONT ENTIEREMENT INDICATIVES CAR ELLES SONT HORS ECHELLE. LES MESSAGES QUE LE PMV1 POURRAIT RAPPORTER DANS LES DEUX CAS DE NON-CONGESTION ET DE CONGESTION SONT PRESENTES RESPECTIVEMENT A LA FIGURE III.40 ET A LA FIGURE III.41.

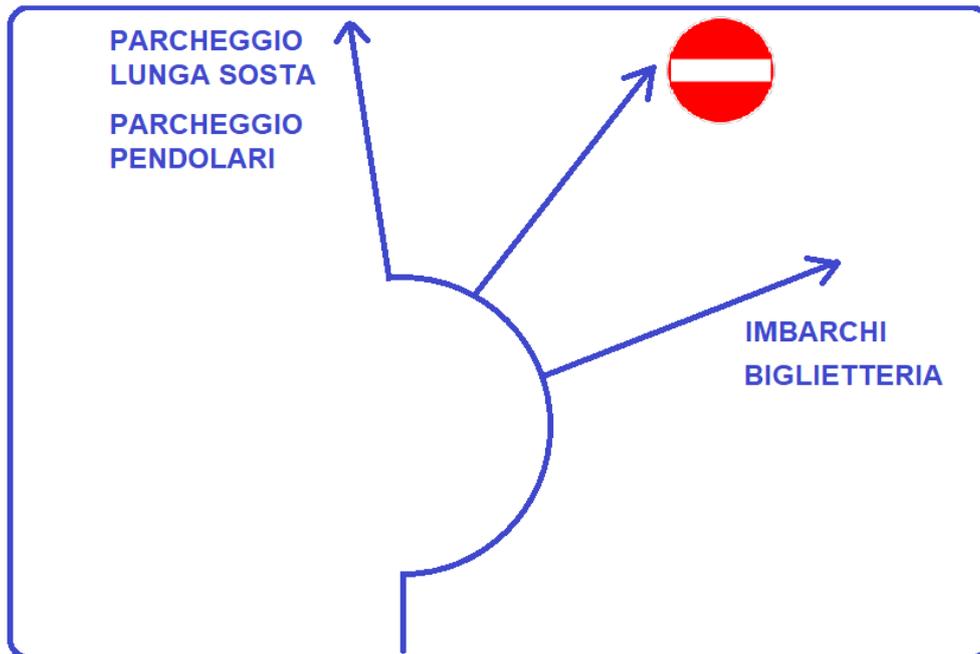


FIGURE III.41: EXEMPLE DE MESSAGES QUE PMV1 POURRAIT RAPPORTER EN CAS DE NON-CONGESTION.

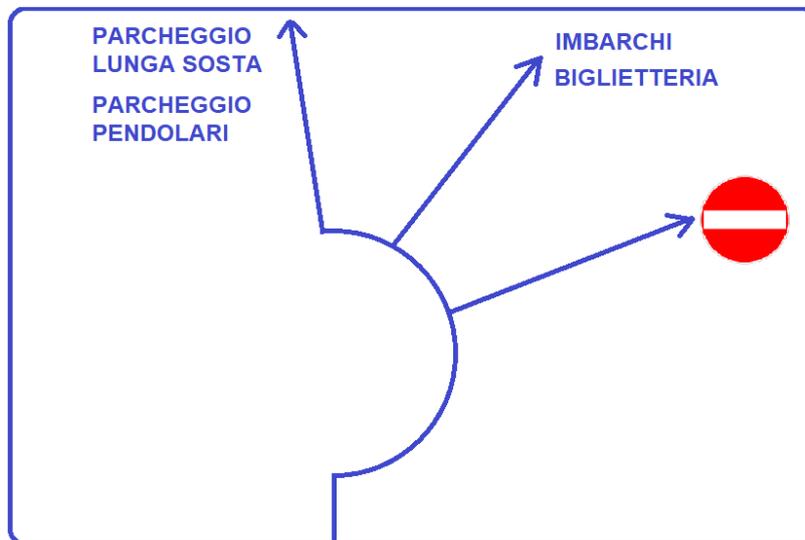


FIGURE III.42: EXEMPLE DE MESSAGES QUE PMV1 POURRAIT SIGNALER EN CAS DE CONGESTION.

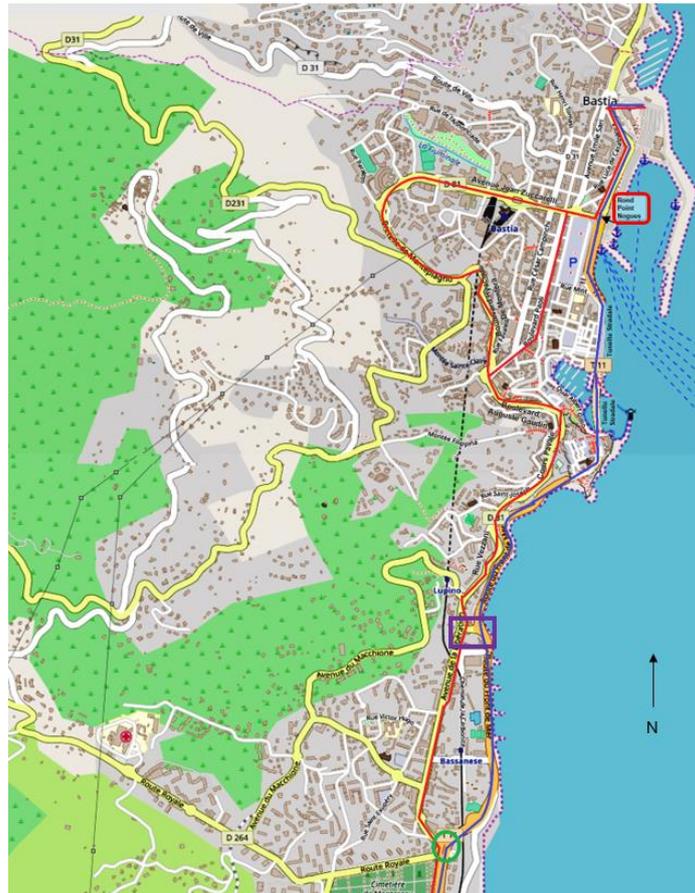


FIGURE III.43: ILLUSTRE : EN BLEU, L'ITINERAIRE PRINCIPAL PAR LA T11, ET EN ROUGE, L'ITINERAIRE ALTERNATIF ("ITINERAIRE BIS"), PAR LE CENTRE DE BASTIA : QUI EST CEPENDANT CONSTITUTE EN GRANDE PARTIE DE ROUTES ETROITES ET SINUEUSES. LES DEUX SONT DES ROUTES BIDIRECTIONNELLES. LE CERCLE VERT EN BAS DE LA FIGURE MONTRE LE ROND-POINT QUE NOUS APPELLERONS DANS LA SUITE DE CET ARTICLE LE ROND-POINT DE MONTESORO. LES DEUX ROUTES SONT RELIEES PAR UN TRES COURT TRONÇON DE ROUTE, MIS EN EVIDENCE PAR LE RECTANGLE VIOLET. DANS L'ITINERAIRE BIS, ON DISTINGUE : UNE PARTIE SUD, DU ROND-POINT DE MONTESORO (CERCLE VERT) AU TRONÇON DE ROUTE MIS EN EVIDENCE PAR LE RECTANGLE VIOLET ; UNE PARTIE NORD, DU TRONÇON DE ROUTE CI-DESSUS AU ROND-POINT NOGUES.

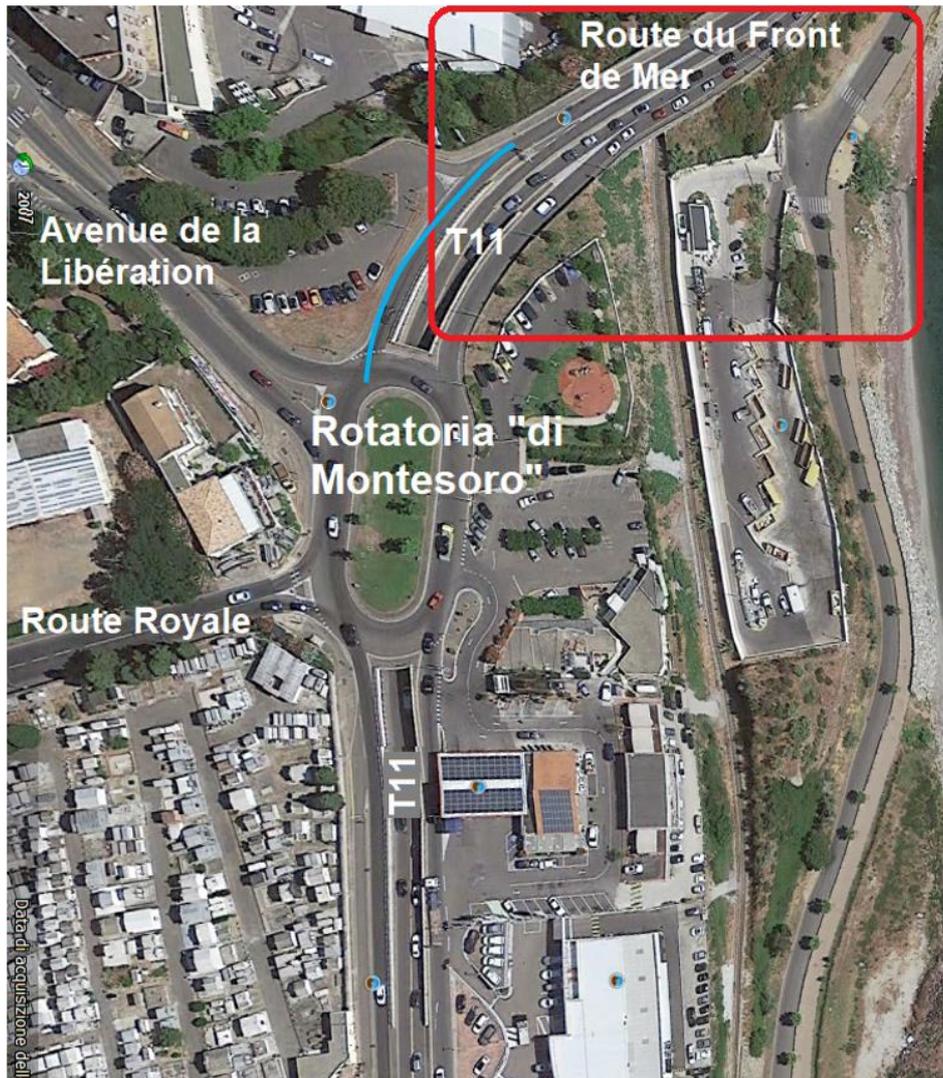


FIGURE III.44: ROND-POINT DE MONTESORO. LE POINT DE CONGESTION LE PLUS IMPORTANT EST SURLIGNE EN ROUGE ET CORRESPOND A L'ENTREE DE LA RAMPE QUI RELIE LE ROND-POINT A LA T11 EN DIRECTION DU NORD (SURLIGNEE EN BLEU DANS LA FIGURE ET APPELEE DANS LA SUITE, PAR SOUCI DE BRIEVETE, "RAMPE NORD").

3.4 Le système ITS LISTE-PORT - Description générale -

Les technologies des systèmes de transport intelligents (ITS) sont des outils fondamentaux pour la planification de la mobilité urbaine et aident les autorités publiques (AP) à atteindre leurs objectifs stratégiques et à gérer les opérations concrètes de gestion du trafic, notamment en s'attaquant aux problèmes directs que le trafic cause sur le bien-être et la pollution de l'environnement. Ces systèmes aident également les utilisateurs finaux en leur permettant de faire des choix éclairés en matière de mobilité, par exemple en optimisant l'utilisation des infrastructures existantes par divers moyens, tels que les feux de circulation, les systèmes de planification d'itinéraire ou les systèmes coopératifs (y compris les systèmes de communication entre véhicules et entre véhicules et infrastructures).

L'intégration de ces outils selon une logique systémique assure une meilleure gestion des réseaux routiers et des transports publics et facilite la mise en œuvre de schémas intégrés de logistique urbaine et d'accès réglementé, surtout s'ils visent à réduire la pression de la pollution environnementale et sonore sur les villes, notamment celles où la présence de nœuds portuaires accentue l'attraction du trafic léger et lourd.

Après avoir défini le contexte, les systèmes ITS prévus dans la composante du projet LIST-PORT ont été développés selon un processus et une architecture de système permettant de les mettre en œuvre et de les utiliser facilement, même après la conclusion du projet. Un des aspects qui les caractérisent est leur fonctionnalité et leur autonomie de gestion qui reste au-delà de la fin du projet ; en effet, une fois la phase d'expérimentation du système terminée, la gestion et les mises en œuvre ultérieures seront à la charge des AP partenaires bénéficiaires du projet (Villes et Autorités portuaires d'Olbia, Vado Ligure, Piombino et Bastia) qui, grâce à l'activité de formation prévue, seront en mesure de gérer le système de manière autonome.

À la fin de l'installation et de la mise en œuvre des systèmes dans les quatre villes portuaires pilotes, une phase d'expérimentation du système a été prévue, avec de nouvelles mesures acoustiques coordonnées avec celles du trafic, nécessaires pour évaluer l'efficacité et la réponse des systèmes ITS aux objectifs du projet, ainsi que pour évaluer les niveaux d'utilisabilité du système par les opérateurs de l'AP chargés de la gestion, et par les utilisateurs qui l'utilisent vice versa (utilisateurs attirés et générés par le nœud portuaire).

Les modules du système ITS LIST-PORT ont été conçus en conformité avec la Directive 2010/40/UE concernant le cadre général pour le déploiement de systèmes de transport intelligents dans le domaine du transport routier et de ses interfaces avec d'autres modes de transport, Règlement délégué n° 886/2013 dans la partie qui établit les exigences pour le déploiement de systèmes de transport intelligents. 886/2013 dans la partie qui établit les spécifications pour assurer la compatibilité, l'interopérabilité et la continuité dans l'activation et le fonctionnement des données et des procédures pour la communication gratuite aux utilisateurs des informations minimales universelles sur la sécurité routière, et enfin la directive 2003/98/CE du Parlement européen et du Conseil sur la réutilisation des informations du secteur public pour la diffusion gratuite et facile des informations ou des données détenues par des organismes publics.

Les systèmes développés peuvent être encore améliorés et perfectionnés grâce à l'architecture "ouverte" du système et à la configuration de la plate-forme, qui a été conçue pour pouvoir interagir avec d'autres systèmes ITS, ou morè

généralement pour utiliser des données et des enquêtes supplémentaires sur la mobilité des personnes, des véhicules privés et des systèmes de transport public provenant d'autres systèmes. En ce sens, la gamme de services offerts et le public d'utilisateurs potentiels/utilisateurs finaux pourraient être élargis par rapport à ceux qui ont participé au développement et à l'essai du projet. Le système est également facilement extensible sur différentes réalités territoriales qui sont en dehors de la zone de coopération, ainsi que d'avoir une architecture ouverte, extensible, et surtout développé pour traiter les données "ouvertes" et les informations provenant de différentes stations PA, ainsi que ceux d'autres systèmes ITS structurés selon une architecture ouverte et utilisant des données ouvertes.

Le système intégré ITS LIST-PORT garantit la reproductibilité et l'évolutivité dans d'autres contextes que celui du projet, car il répond aux exigences et principes suivants:

- a) apporte un soutien aux problèmes de transport routier, tels que la congestion du trafic, les émissions polluantes, et indirectement à l'efficacité énergétique et à la sécurité des usagers de la route ;
- b) assure l'interopérabilité, en effet les systèmes de gestion et d'exploitation garantissent la capacité de partager des informations et des données afin d'être facilement mis en œuvre, intégrés, extensibles et évolutifs dans d'autres réalités différentes sans difficultés particulières, sauf celles liées à la mise en œuvre d'informations spécifiques qui caractérisent le contexte dans lequel il est appliqué. (données informatives et descriptives du système de transport, et scénarios de réorganisation de ce même système en fonction des criticités détectées) ;
- c) promeut, à travers les systèmes ITS de LIST PORT, l'égalité d'accès à l'information et la non-discrimination envers les catégories faibles et défavorisées,
- d) elle offre des niveaux élevés de qualité et de diffusion des services, parce qu'elle est facile à mettre en œuvre et évolutive pour pouvoir tenir compte des spécificités locales, régionales et nationales
- e) est conçu pour être intégrable avec d'autres technologies déjà disponibles dans les réseaux et systèmes STI existants
- f) assurer la rétrocompatibilité des solutions adoptées, et garantir la capacité de fonctionner avec les systèmes STI existants ayant des objectifs communs ou similaires.

Avec ces critères pour atteindre l'efficacité, la rationalisation et la rentabilité de l'utilisation, les produits de base du système LIST-PORT ont été créés pour être mis

à la disposition des AP en dehors de la zone de coopération. Pour atteindre ces objectifs, le projet répond aux lignes d'action suivantes

- a) explication détaillée de l'architecture et des éléments nécessaires pour développer, étendre, maintenir et gérer la plate-forme.
- b) la libre disponibilité de modèles de référence et de normes techniques pour la conception du système, afin de favoriser et de réaliser l'interopérabilité et la cohérence du système ITS LIST-PORT avec ceux disponibles dans les États transfrontaliers et avec les systèmes similaires dans le contexte de l'UE ;
- c) disponibilité de bases de données pour alimenter le système ITS List Port, qui sont interopérables et facilement accessibles selon les normes européennes de données ouvertes.
- d) une architecture de système capable à l'avenir d'être alimentée par les données de géolocalisation des véhicules du système de satellites EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) et GALILEO pour les services de navigation par satellite soutenant le transport de personnes et de marchandises.

Il convient également de souligner que la formation à l'utilisation du système ITS LIST PORT adressée aux opérateurs de l'AP est en soi une garantie de la durabilité des résultats de la composante dans le temps, étant donné que le système a commencé comme un projet pilote expérimental, mais qu'il est destiné à être la première action visant à son développement et à sa mise en œuvre ultérieurs, tant en termes de nombre d'équipements et de systèmes installés que d'interopérabilité ultérieure avec d'autres systèmes ITS de gestion du trafic tels que les points d'accès portuaires.

3.4.1 Le module du système ITS avec PMV

Le module du système intégré d'infomobilité LIST-PORT basé sur des panneaux à messages variables, visant à réduire l'impact acoustique causé par le trafic généré par le port, est composé d'un système de surveillance du trafic (avec caméras ou enregistreur radar), de panneaux à messages variables (PMV) pour l'information des usagers de la route, ainsi que du système de gestion des équipements.

Le système, comme mentionné, permet de surveiller les niveaux de trafic sur les principales routes d'accès et de sortie des ports de Pilot City afin de définir un modèle virtuel capable de simuler de nouveaux scénarios d'aménagement du réseau capables de réduire la charge des véhicules et donc de réduire l'impact sonore qu'ils génèrent.

Des plateformes logicielles pour la gestion du trafic et de la mobilité ont été créées et mises en œuvre dans les villes dans le but de réduire l'impact du bruit du trafic automobile généré et attiré par le port. Ce système permet:

- une représentation de l'axe routier sur un module cartographique dédié, intégré au système logiciel de gestion ;
- Mise en œuvre ultérieure des informations provenant de tous les systèmes, car le système TMacs est modulaire et évolutif ;
- traitement de toutes les données avec l'état du trafic
- la détection de toute criticité sur le réseau routier surveillé ;
- traitement des scénarios mis en œuvre en présence de certaines conditions de circulation (niveaux de bruit/trafic élevés).

Le module du système ITS avec PMV installé dans chaque ville portuaire pilote se compose des éléments suivants:

- **Système de surveillance du trafic (caméras vidéo ou systèmes d'enregistrement radar)** pour évaluer les paramètres caractéristiques et la classification des flux de trafic,
- **No. 2 PMV graphiques pour chaque ville pilote**, et le système de télégestion des équipements installés aux points stratégiques du réseau d'accès/sortie du port ;
- Unité de traitement pour la connexion des systèmes de surveillance du trafic avec les PMV ;
- Système de communication avec équipement pour la connectivité au système central ;

3.4.1.1 Fonctionnement du système de contrôle central et du système de communication

Le système dispose d'un module central qui permet d'acquérir les informations détectées par les stations de surveillance du trafic sur la route et d'envoyer des messages d'infomobilité au citoyen sur des panneaux à messages variables pour limiter le trafic et recommander des itinéraires alternatifs lorsqu'il y a des files d'attente ou des situations de congestion sur le réseau routier.

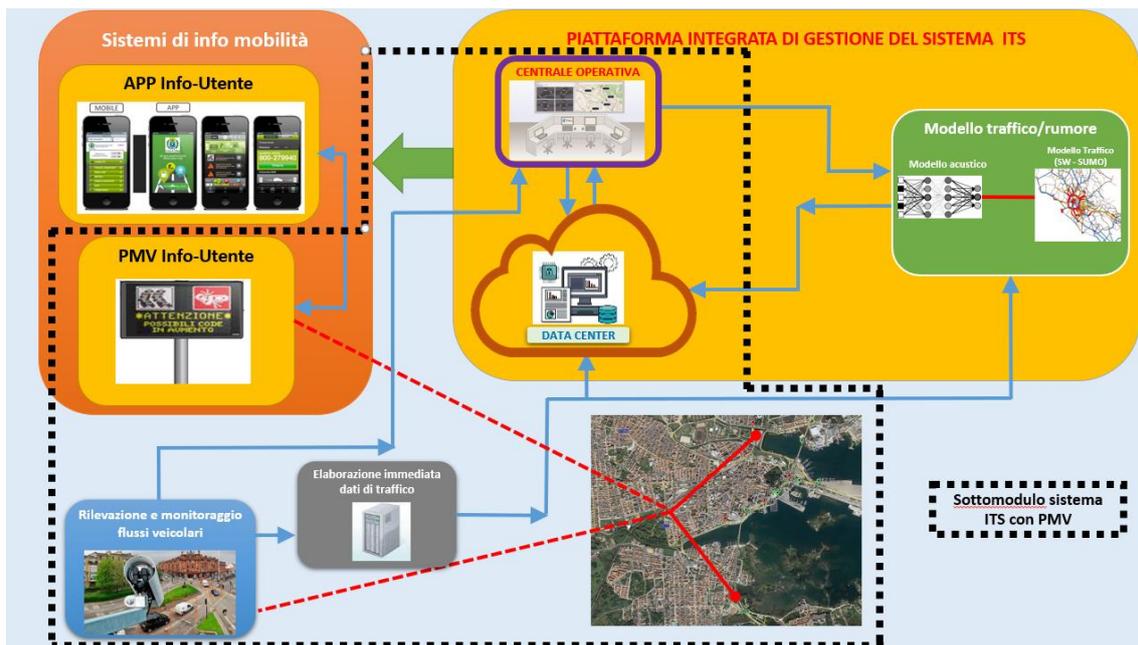


FIGURE III.45: DIAGRAMME FONCTIONNEL DU MODULE SYSTEME ITS AVEC PMV ET DETECTEURS DE TRAFIC

Concrètement, le système est constitué d'équipements intégrés pour l'acquisition, le traitement et la distribution d'informations sur la mobilité et en particulier sur l'état du trafic, et d'informations à l'utilisateur visant à rationaliser celui-ci par l'envoi de messages aux PMV, et aux APP qui seront décrits au paragraphe 4 suivant, indiquant des itinéraires alternatifs et/ou des comportements de mise en route des déplacements visant à réduire la congestion et donc l'impact du bruit généré par le trafic dans les voies d'accès/de sortie du port.

Le système intégré ITS LIST PORT est le principal outil de gestion du trafic et de la mobilité dans la ville, avec pour objectif de réduire l'impact sonore du trafic automobile généré par le port et attiré par celui-ci. Il sera entouré d'une salle de contrôle capable de :

1. Opérer sur une représentation unitaire du graphe routier et une restitution cartographique relative ;
2. Centraliser les informations provenant de tous les systèmes qui, de diverses manières, régissent des parties du système de mobilité global (tels que les détecteurs de trafic), tant publics que privés, y compris les mises en œuvre ultérieures telles que celles destinées à détecter la qualité de l'air ;
3. Traiter ces informations en temps réel à différentes fins :
 - a) Obtenir une image concise de l'état de la circulation ;
 - b) Identifier les situations critiques le plus tôt possible et les traiter de manière appropriée ;
 - c) Synthétiser les informations utiles à la gouvernance du système de mobilité et à l'optimisation de l'utilisation des ressources par

- l'utilisateur et les transmettre aux citoyens ou à des catégories particulières d'entre eux en exploitant la grande variété de canaux de distribution de l'information qui peuvent être utilisés (site web, APP, réseau social, PMV, etc.) ;
- a. Élaborer des stratégies de gouvernance pour les sous-systèmes individuels (par exemple, points de consigne pour les systèmes UTC, messagerie, etc.) en fonction de l'occurrence de certains schémas de trafic ;
4. Le routage dynamique avec l'acheminement des flux sur les routes les plus appropriées par l'envoi d'informations (ceci également, comme cas particulier, en ce qui concerne l'acheminement vers des parkings ou des zones tampons, en attendant l'accès au port) ;
 5. Traiter les données acquises et traitées en temps réel afin de :
 - a) Établir un référentiel de données de toutes les mesures de trafic comparables entre elles et référencées dans un graphe unitaire ;
 - b) Cataloguer les situations caractéristiques du trafic et les actions correctives relatives adoptées au niveau de la réglementation et de l'information ;
 - c) traiter les données à des fins statistiques (en termes d'ingénierie du trafic) ;
 - d) Interfacer le monde de la "planification de la mobilité", c'est-à-dire fournir des données et leur traitement statistique aux modèles de simulation existants (en particulier avec le modèle de simulation de trafic open source sumo développé dans le cadre du projet LIST-PORT).

D'un point de vue fonctionnel, le système sera spécifiquement décrit dans les paragraphes suivants.

Plus précisément, le système permet de transmettre à l'utilisateur de la route des informations relatives aux flux de véhicules mesurés sur le réseau routier en temps réel, dans le but de rediriger le trafic, de rationaliser ses itinéraires, en particulier pour les flux de véhicules qui ont pour origine et destination le port. Le système est intégré à l'APP info-mobilité et peut être intégré à d'autres systèmes tels que les informations sur le web. Le système sera également interfacé avec le module de prévision du trafic et du bruit (voir 3. 3), qui a pour tâche d'évaluer, sur la base des données de trafic collectées en temps réel, les niveaux d'émission de bruit en certains points singuliers et sensibles du réseau routier, pour lesquels, une fois les niveaux limites dépassés, il communique au système ITS les nouveaux scénarios (chaînes de texte d'information à l'utilisateur) de rationalisation du trafic

transmis aux usagers de la route par le biais de messages sur les PMV l'APP et d'autres systèmes d'information supplémentaires aux utilisateurs tels que les messages sur les canaux sociaux, visant à réduire le trafic et l'impact sonore généré par celui-ci. Les messages et les informations à véhiculer par les PMV et l'APP sont préalablement construits sur la base d'une série de scénarios élaborés par des simulations sur le réseau de transport, à partir des données instantanées de trafic, définies par le modèle développé par les partenaires du projet ListPort. Au moyen du système d'info-mobilité ITS List Port, la gestion intégrée du trafic généré/attracté par le nœud portuaire des villes pilotes de Piombino sera réalisée, dans le but de réduire la pollution sonore.

Le système ITS avec les PMV et les systèmes de surveillance du trafic se compose de :

1. Des stations de surveillance du trafic équipées de caméras vidéo ou de systèmes à boucle, capables d'identifier la classe des véhicules, leur vitesse de transit et d'autres paramètres caractéristiques dans les sections d'intérêt ;
2. **n° 2 PMV**, capables de véhiculer des messages d'info-mobilité définis sur la base des flux de véhicules ;
3. le système matériel et logiciel permettant de gérer le système ;
4. Plate-forme/module permettant au système d'être interfacé avec l'APP ou de s'interfacer avec d'autres systèmes d' *infotainment* possibles dont sont équipés les véhicules routiers de construction récente et qui pourraient être mis en œuvre à l'avenir;

Le système a des exigences fonctionnelles utilisant des normes technologiques largement utilisées qui peuvent ensuite être diffusées avec le moins de contraintes technologiques et contractuelles possible. Il permet également la représentation géographique des données et l'exportation vers des applications externes pour tenir compte de l'interfaçage et de l'interopérabilité avec les applications déjà utilisées par les villes/autorités/institutions impliquées dans le projet (autorités portuaires, autorités de gestion des routes, compagnies maritimes, etc.).

3.4.1.2 Architecture et fonctionnement du module de gestion du système PMV et de surveillance du trafic

Le logiciel de gestion **des PMV et du système de surveillance du trafic LIST-PORT** est une plateforme ITS qui, par le biais d'une interface unique, permet le contrôle et la gestion de dispositifs centralisés en bord de route. La plateforme est **modulaire, évolutive, flexible**, adaptée à toute complexité de système et **open-data**. La plateforme permet de recevoir les données acquises par les stations de

surveillance du trafic en temps réel et d'envoyer des messages aux PMV. Le système est capable de gérer le système de circulation avec une interface conviviale et **user-friendly**. Le logiciel de gestion permet la gestion à distance des PMV et des équipements de détection des paramètres caractéristiques pour la classification des flux de véhicules en transit, capable de produire des statistiques et des rapports et les représentations graphiques correspondantes, l'analyse des données de l'ensemble des transits, des flux de trafic, l'analyse, l'archivage, le traitement des données et la gestion du système complet par les opérateurs.

Les utilisateurs peuvent accéder à la plate-forme sur un nombre illimité de postes de travail au moyen d'identifiants d'accès personnels et peuvent être autorisés individuellement à accéder aux fonctions du système. Les sous-modules dont se compose la plate-forme sont les suivants :

- **Le sous-module Cartes** permet d'afficher les plantes sur une carte,
- **Sous-module visuel** pour la gestion des panneaux à messages variables,
- **Sous-module d'analyse** pour l'affichage de données de circulation provenant de capteurs de stationnement
- **Sous-module scénario Logiciel** capable de reconnaître l'état des stations de surveillance du trafic à partir du sous-module Analysis et de piloter d'autres modules tels que le sous-module Visual avec des actions programmées.

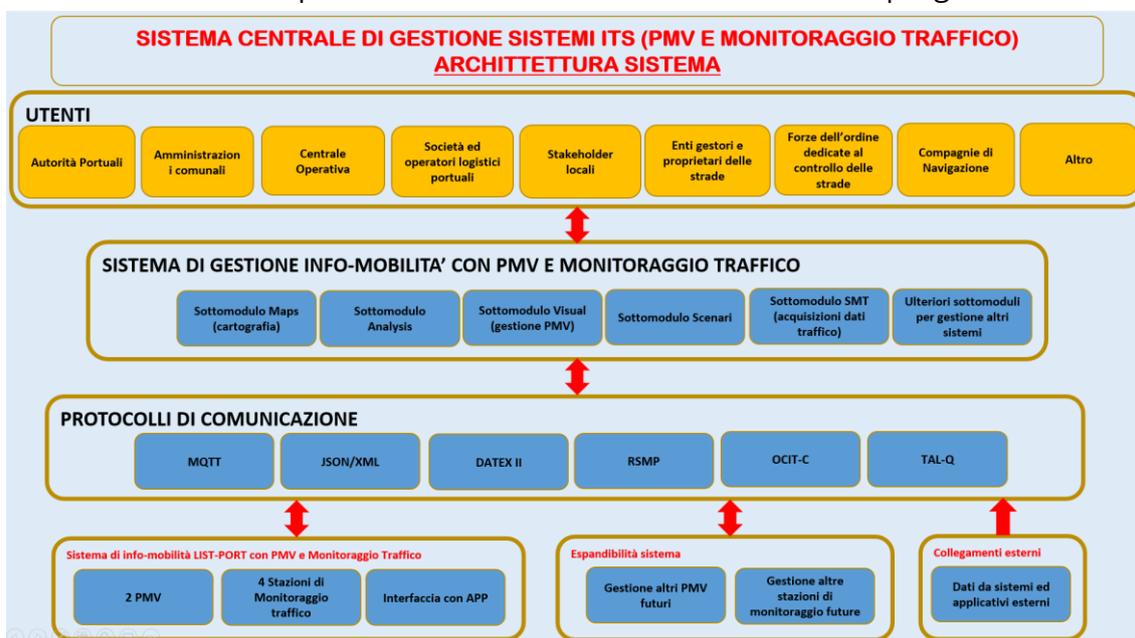


FIGURE III.46: ARCHITECTURE DU SYSTEME DE GESTION CENTRAL DU SYSTEME ITS-LIST PORT AVEC PMV ET SURVEILLANCE DU TRAFIC

3.4.2 Système ITS List Port avec APP

L'exigence fondamentale de l' APP LIST Port est de fournir aux utilisateurs des informations permettant de réduire les encombrements routiers et les nuisances sonores sur les voies d'accès ou de sortie dans les zones portuaires des villes du LIST Port : Vado Ligure, Piombino, Olbia et Bastia.

L'application est une plateforme de prestation de services : elle permet l'intégration dans le nuage de services et de systèmes d'information locaux, la fourniture de services géolocalisés et est compatible avec de nombreuses normes de données.

Les types de services fournis par l'application sont les suivants : informations sur la mobilité, planification des voyages et, dans la mesure du possible, facilitation des réservations auprès des transporteurs. L'application permet également aux utilisateurs de laisser des commentaires. La structure générale de l'application est présentée en détail à la Figure III.46.

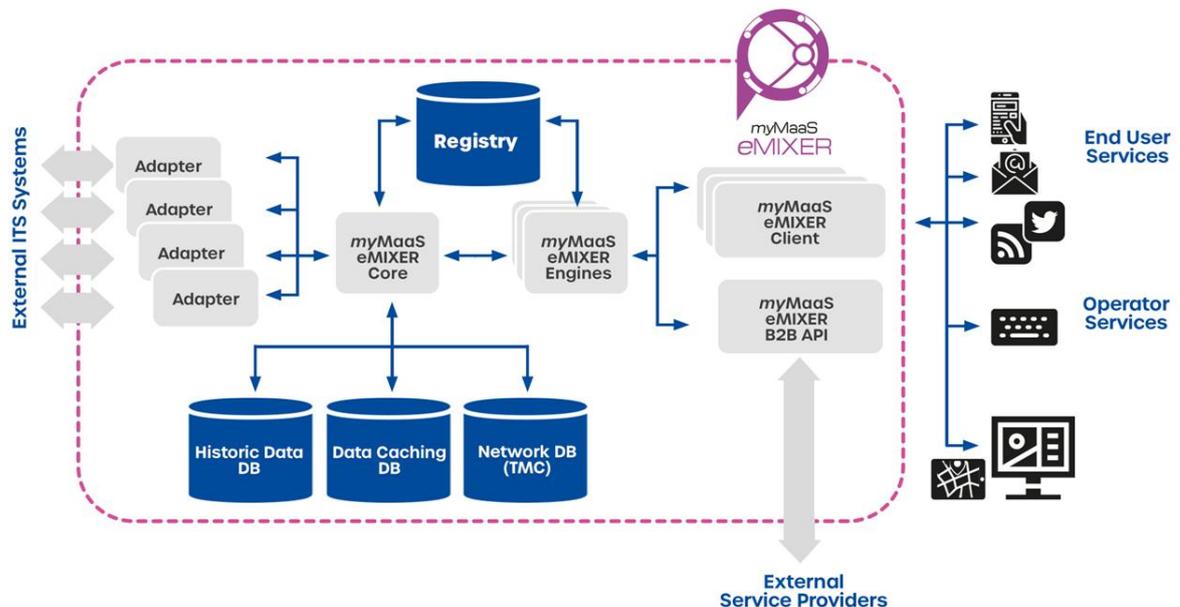


FIGURE III.47 STRUCTURE GENERALE DE L'APP.

L'application est un outil complémentaire aux PMV et aux systèmes de signalisation et de routage mis en œuvre sur la route. En particulier, les PMV fournissent des indications de proximité, tandis que l'appli fournit non seulement des informations sur le trajet mais aussi des informations avant le trajet, c'est-à-dire qu'elle permet d'organiser l'itinéraire vers et depuis le port.

La principale source des données nécessaires à l'application est le centre de contrôle du système ITS List-Port, qui gère toutes les informations recueillies par

les systèmes de surveillance du trafic et permet la gestion des PMV. L'application permet d'être connectée à d'autres sources d'information concernant : les systèmes ou services numériques locaux, différents dans chacun des quatre scénarios d'étude ; les services accessibles sur internet, tels que les heures d'arrivée et de départ des ferries.

Les stratégies d'acheminement sont calculées par le système central ITS List Port et sont le résultat de l'évaluation des flux de véhicules mesurés par les caméras et de la pollution sonore, estimée à partir des données de trafic à l'aide du modèle CNOSSOS-EU, établi par la législation actuelle sur la pollution sonore.

L'intégration de l'application avec le système ITS PMV est illustrée à la Figure III.47.

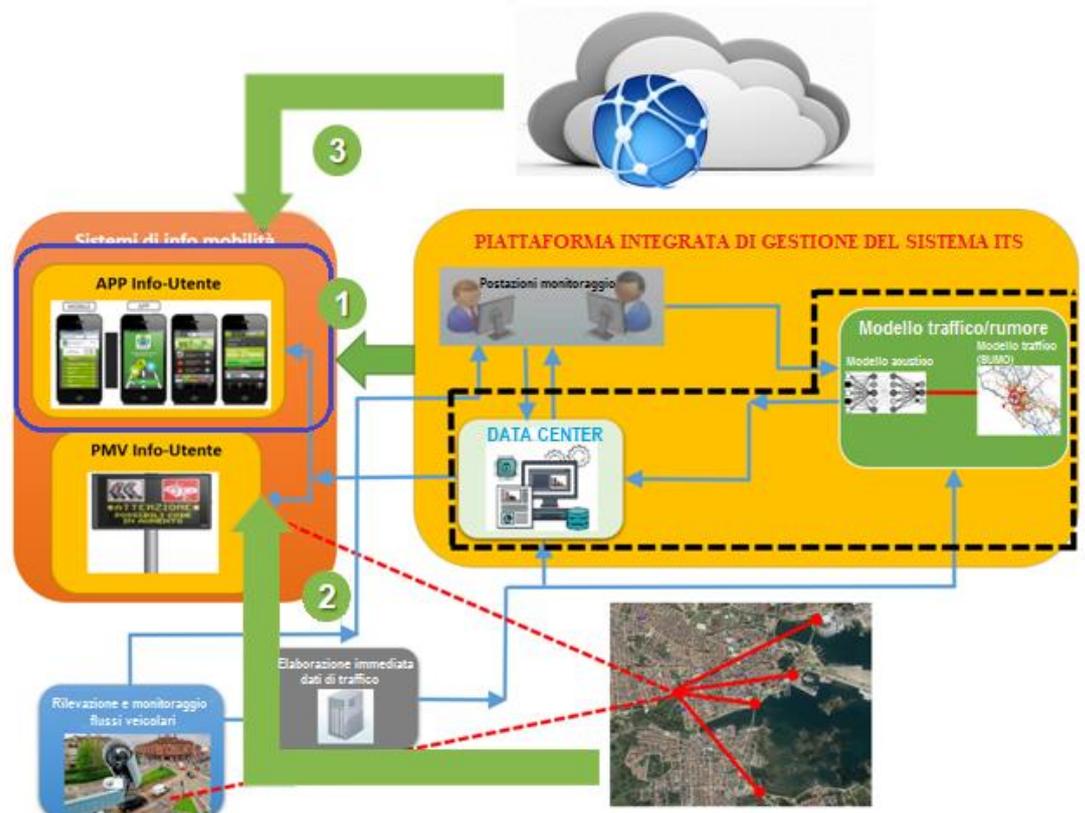


FIGURE III.48: INTEGRATION DE L'APPLICATION AVEC SYSTEME ITS DES PMV

Pour chaque ville portuaire, l'application fournit les services suivants : indications synthétiques concernant les itinéraires vers et depuis le port ; informations détaillées sur les itinéraires, qui sont affichées sur une carte ; si elles sont disponibles, les images prises par les caméras dans les zones portuaires et par les systèmes de surveillance du trafic avec des caméras ou des boucles LIST Port ; lien vers les sites web des compagnies maritimes présentes dans chaque port. Parmi

les raccourcis, il sera possible de visualiser les informations fournies par les PMVs installés dans le projet.

Un exemple d'information sur l'itinéraire dans le scénario Vado Ligure est illustré à la fig. 1.3 : l'application indiquera le meilleur itinéraire sur la carte, mais fournira également des informations "textuelles" sur l'itinéraire.

3.4.3 Plate-forme d'interfaçage des systèmes PMV, suivi du trafic et APP

La "plate-forme logicielle/applicative", en italien et en français, permet de faire communiquer le système INFO-Mobilité avec les stations à messages variables (PMV) et le contrôle du trafic et l'APP List Port, en envoyant des "entrées" de routage des véhicules en fonction des niveaux de seuil de pression acoustique évalués par la mise en œuvre de l'application du modèle Harmonoise ou de la méthodologie CNOSSOS-UE. Les deux systèmes à interfacier sont destinés à l'acheminement des véhicules sortant du port des villes portuaires pilotes d'Olbia, Bastia, Vado Ligure et Piombino.

3.4.3.1 Description de la plate-forme

La "plate-forme ou logiciel/application" permet à l'APP (voir 3.4.2) et au système INFO-Mobilité de communiquer avec le PMV (voir 3.4.1), en envoyant des "entrées" aux deux systèmes lorsque le niveau d'émission de bruit généré par le trafic dépasse un certain seuil. Les entrées, consistant à envoyer des informations sur le dépassement des seuils critiques d'émission sonore, activent les scénarios de trafic (préétablis et définis pour les différentes villes portuaires pilotes, voir 3.3) à la fois vers le PMV (informations de proximité) et vers l'App (planification du trajet). Le module d'évaluation des émissions sonores, en fonction des données de trafic collectées par les caméras ou les enregistreurs radar, devra traiter ces données de trafic et évaluer, en plus du niveau de congestion routière, le niveau d'émission sonore généré par celle-ci.

La "plate-forme logicielle/applicative" est intégrée à un sous-module permettant de déterminer les émissions sonores du trafic automobile. La plateforme d'application fonde également ses stratégies d'adressage des utilisateurs non seulement sur les conditions actuelles de congestion, mais aussi sur les émissions sonores que les niveaux de trafic déterminent. En particulier, pour la détermination des scénarios de routage, les émissions sonores du trafic automobile sont comparées aux valeurs limites fixées par la législation. Si les valeurs limites sont dépassées, les véhicules sont dirigés vers des itinéraires alternatifs.

Pour la détermination des émissions sonores, on a utilisé les descripteurs acoustiques L_{den} , L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} définis dans la *Environmental Noise Directive* (directive 2002/49/CE) et, pour l'Italie, dans le décret législatif du 19 août 2005, n° 194 (mis à jour par le décret législatif 42/2017), ainsi que la législation française spécifique dans le cas de la ville portuaire pilote de Bastia. Pour l'Italie, seules les valeurs limites pour L_{day} et L_{night} ont été fixées ; ces valeurs limites sont rapportées dans le DPCM 14/11/1997.

Seules les émissions sonores ont été prises en compte et non les immissions sonores.

Le calcul des émissions sonores a été élaboré en appliquant le modèle Harmonoise et la méthodologie CNOSSOS-UE (établie par la réglementation).

Le modèle Harmonoise utilisé est décrit en détail dans le rapport : Nota R., Barelds R., Van Maercke D., 2005. *Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning*. Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20. Harmonoise project consortium Editions, Brussels.

La méthodologie CNOSSOS-EU est décrite en détail dans la directive européenne n°996 de 2015 : Journal officiel de la Communauté européenne, directive (UE) 2015/996 de la Commission du 19 mai 2015.

Les données relatives au trafic, en particulier les flux de véhicules distingués par type et par vitesse, nécessaires au calcul des émissions sonores, sont fournies par le système de surveillance du trafic au moyen de caméras, d'enregistreurs radar laser ou de boucles, prévu dans le système d'info-mobilité avec PMV, et auquel s'interface la "plate-forme logicielle/applicative".

Étant donné que le modèle Harmonoise et la méthodologie CNOSSOS-EU nécessitent un très grand nombre de données d'entrée, bien supérieures à celles fournies par les caméras, des simplifications appropriées ont été apportées à la méthodologie de calcul.

La "plateforme logicielle/applicative", qui met en œuvre le modèle de détermination des émissions sonores du trafic, est intégrée à l'application LIST Port App, au système Info-Mobilité avec PMV et au système de surveillance du trafic. Cette "plateforme logicielle/applicative" étend l'application LIST-PORT, développée de manière unique, aux 4 villes portuaires pilotes et aux 4 systèmes d'info-mobilité avec PMV (ces derniers comprenant également le système de surveillance du trafic). Le système a été développé pour :

- a) mettre en œuvre un module logiciel/application qui code dans un modèle exécutable la fonctionnalité d'estimation de l'émission de bruit selon le modèle Harmonoise ;

- b) intégrer le module d'estimation des émissions sonores dans le système back-end de l'application LIST Port (plateforme myMaaSemiXer) ;
- c) Intégrer dans le back-end de l'application LIST Port (plateforme myMaaSemiXer) les fonctionnalités logicielles nécessaires pour étendre les critères de décision de l'adressage des flux de véhicules en utilisant les prédictions du module d'estimation des émissions sonores.
- d) Intégrer dans le back-end du système Info-Mobilité avec PMV LIST Port (plateforme myMaaSemiXer) les fonctionnalités logicielles nécessaires pour étendre les critères décisionnels de l'adressage des flux de véhicules en utilisant les prévisions du module d'estimation des émissions sonores.

Les critères et stratégies de traitement des flux en fonction des conditions de congestion et des émissions sonores à appliquer dans les villes portuaires pilotes sont ceux définis au paragraphe 3.3 et sont les suivants.

4. RÉSULTATS ET OUTPUT DU PROJET

4.1 *Système ITS avec PMV et dispositifs de surveillance du trafic*

Le projet a permis la réalisation d'un système ITS qui prévoit le suivi des niveaux de trafic sur les routes principales menant aux ports de la ville pilote, afin de définir un modèle virtuel capable de simuler de nouveaux scénarios d'aménagement du réseau, capables de réduire la charge des véhicules et donc de réduire l'impact sonore généré par ceux-ci. Grâce au système TMacs - en tant que plateforme logicielle pour la gestion du trafic et de la mobilité dans les villes portuaires, il est possible d'avoir une représentation de l'axe routier affecté par le trafic, de collecter des informations de tous les systèmes, de traiter les données avec l'état du trafic, de détecter les éventuelles criticités et de développer des scénarios à mettre en œuvre en présence de certaines conditions.

Le système ITS permet de centraliser, par le biais du système TMacs, l'acquisition d'informations provenant des stations de surveillance du trafic routier et l'envoi de messages d'infomobilité aux citoyens sur des panneaux à messages variables pour limiter le trafic et conseiller des itinéraires alternatifs en présence d'embouteillages dans les zones portuaires et urbaines de Piombino.

En particulier, l'architecture du système ITS a été réalisée à travers les composants suivants

- système de caméras vidéo pour le contrôle des paramètres caractéristiques et la classification des flux de trafic, composé de n° 4 stations d'enquête sur les tronçons routiers considérés comme les plus pertinents ;

- No. 2 PMV graphiques et le système de gestion à distance capable de fournir des informations sur la base des conditions de circulation sur le terrain détectées par le système de caméra vidéo fourni ;
- Unité de traitement pour la connexion avec les caméras et les PMVs ;
- Système de communication avec équipement pour la connectivité au système central ;
- Signes et étiquettes indiquant la zone surveillée/vidéo-surveillée..

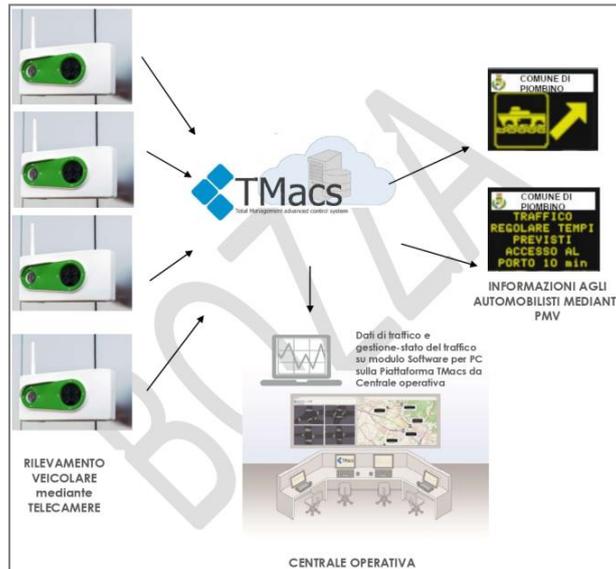


FIGURE III.49– ARCHITECTURE DU SYSTEME (PAR EX. PIOMBINO)

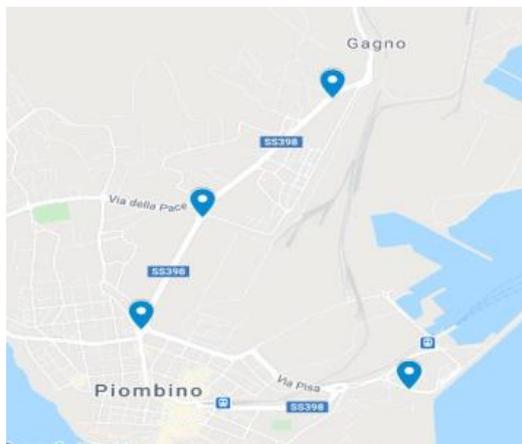


FIGURE III.50: POSITIONNEMENT DE LA CAMERA (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.51: MODELE DE CAMERA (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.52 VIALE DALLA CHIESA (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.53 T.2 VIALE UNITÀ D'ITALIA (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.54 T.3 VIALE UNITÀ D'ITALIA (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.55 T.4 VIALE UNITÀ D'ITALIA (PAR EX. PIOMBINO)

La plateforme TMacs consiste en un véritable système ITS modulaire qui permet de surveiller, gérer et faire interagir différents types de dispositifs. En outre, le logiciel du serveur remplit deux fonctions macro :

- l'interface entre le serveur et les unités de terrain (stations de surveillance du trafic, régulateurs de feux de circulation, PMV, passages souterrains, etc.)
- l'interface entre le serveur et les postes utilisateurs (clients).

Le chargement des messages affichés sur les deux PMV installés dans deux stations différentes, se fait automatiquement par le biais de différents modes tels que l'horaire, la situation du trafic identifiée par un scénario (détecté par les stations de surveillance, le système de comptage de stationnement, le système de temps de parcours et les systèmes de feux de circulation) ou choisie (messages par défaut) ou créée manuellement par un opérateur habilité. Grâce à la composante TMACS-Visual de la plateforme, les PMV peuvent être affichés simultanément et pour chaque PMV il est possible d'afficher le message sur la route, les éventuels problèmes de diagnostic et de communication afin de permettre à l'utilisateur

(automobiliste) de ne pas emprunter les zones à problèmes ou les zones encombrées. Entre autres fonctionnalités, la plateforme, à travers le composant Macs Analysis, permet la visualisation des données de trafic, le suivi en temps réel et les données historiques et fournit des analyses et des élaborations liées à la mobilité, dans le but de connaître les caractéristiques du trafic dans le réseau routier surveillé et d'étudier de meilleures solutions pour la mobilité dans les zones portuaires et urbaines. Enfin, grâce à l'utilisation du protocole de communication DATEX II promu par l'Union européenne et converti en norme par le CEN, il sera possible d'échanger des données entre le système central constitué par la plate-forme TMACS et le monde extérieur, offrant aux citoyens et aux opérateurs portuaires une gestion optimale de l'accès au port et une gestion plus efficace du trafic interne dans la zone portuaire des villes portuaires pilotes.

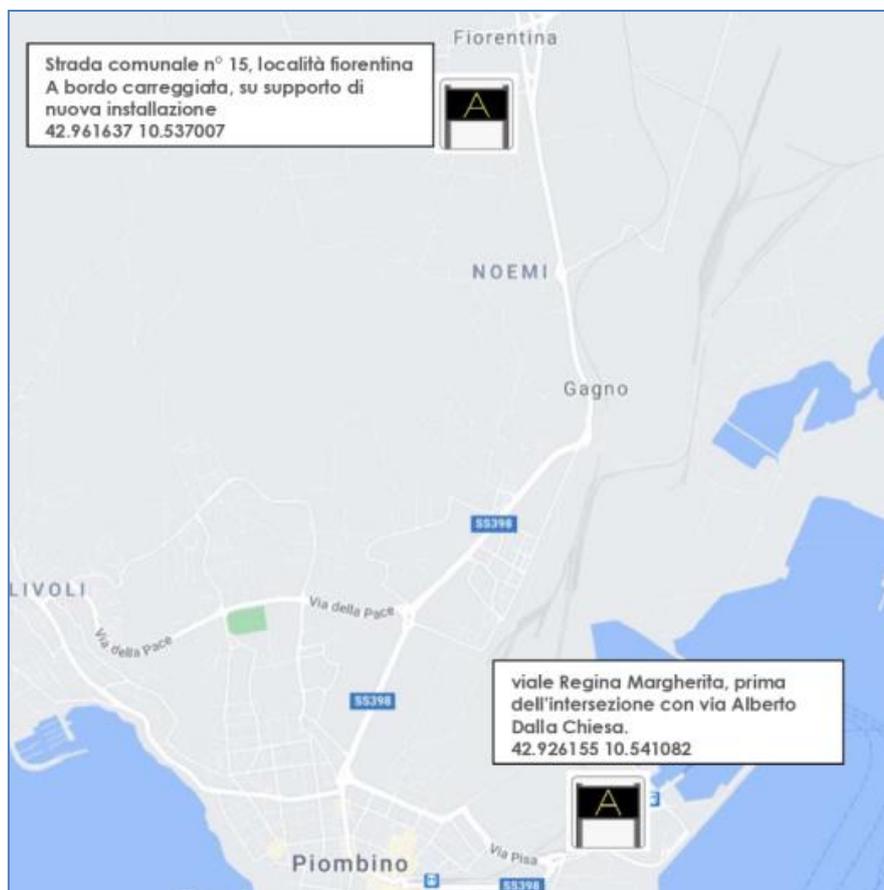


FIGURE III.56: POSITIONNEMENT DES DEUX PMV (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.57: INSERTION PHOTOGRAPHIQUE DE PMV DANS VIALE MARGERITA (PAR EX. PIOMBINO)



FIGURE III.58: INSERTION PHOTOGRAPHIQUE DE PMV DANS LE S.P. DELLA PRINCIPESSA (PAR EX. PIOMBINO)

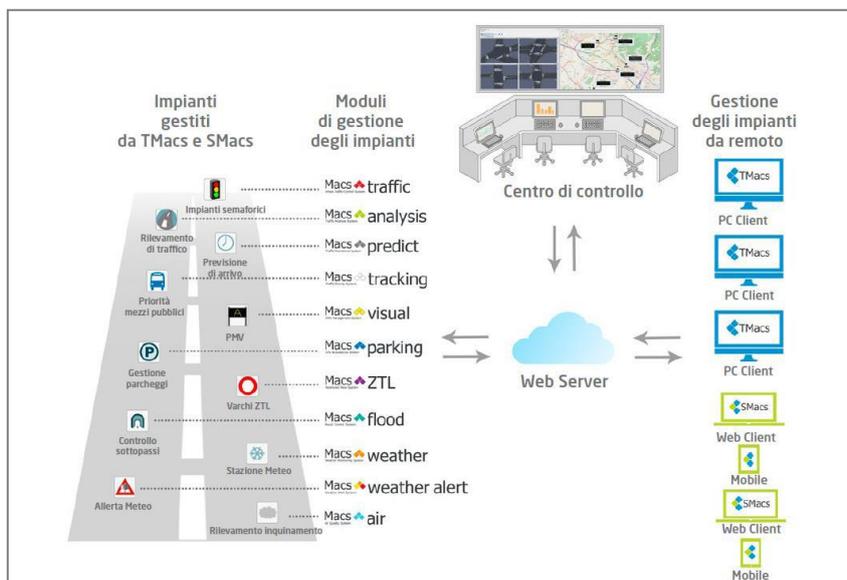


FIGURE III.59: PLATE-FORME TMACS

4.2 Application pour les appareils mobiles d'information des utilisateurs

4.2.1.1 La référence "service chain" liée à l'application LIST Port

L'application d'information pour les utilisateurs de ICT LIST Port, construite pour les 4 villes portuaires pilotes, se compose des éléments suivants :

- **Content providers:** il s'agit essentiellement des "sources" d'où proviennent les informations nécessaires au fonctionnement de l'application. Dans le cas d'une application d'infomobilité et de bruit telle que l'application LIST Port, les fournisseurs de contenu peuvent être aussi bien des sujets "physiques" tels que la police, la municipalité, les gestionnaires d'infrastructure, que d'autres systèmes ICT, tels que la surveillance du trafic urbain (comme les caméras positionnées dans les villes de LIST Port).

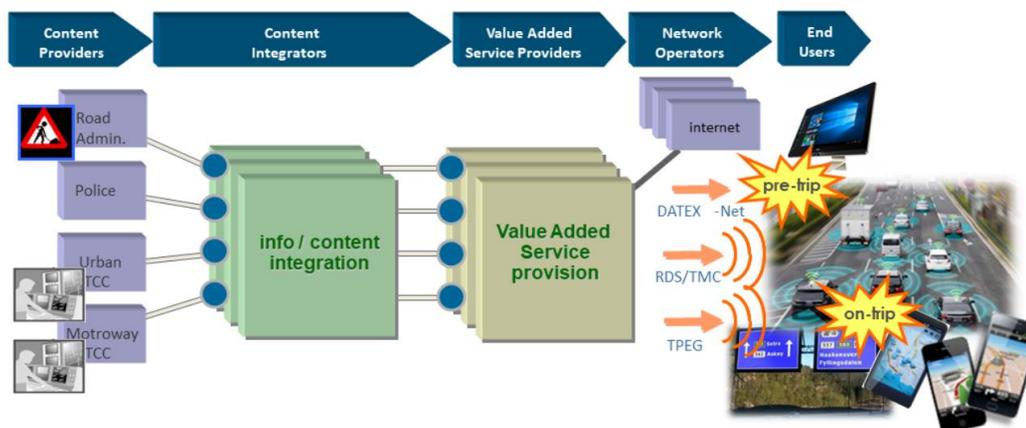


FIGURE III.60: SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE L'APPLICATION LIST-PORT

- **Content integrators:** ils ont pour tâche d'"intégrer" les informations provenant des différents content provider. Cet aspect est fondamental, car le format des données provenant de chaque content provider est différent des autres, de sorte que le content integrator a pour tâche de normaliser les données reçues.
- **Value Added Service Providers:** ils interagissent étroitement avec les content integrators. Un exemple de value added service provider est un travel planner. Google Maps est à la fois un content integrator (car il puise des informations sur la mobilité en temps réel dans de nombreuses sources) et un value added service provider, puisqu'il fournit l'itinéraire optimal en temps réel grâce à un travel planner.
- **Network operators:** il s'agit des opérateurs de réseau sur lesquels l'application "s'appuie" pour fournir des informations aux utilisateurs : généralement l'internet.
- **End users:** ils constituent le dernier maillon de la "service chain". Les utilisateurs d'une application sur la mobilité et le bruit reçoivent des informations "pre trip" che "on trip". Les informations "pre trip" sont fondamentales pour que les utilisateurs choisissent la meilleure solution de voyage, les informations "pendant le voyage" alertent l'utilisateur sur les inconvénients possibles le long du trajet entre l'origine et la destination.

4.2.1.2 La plateforme emiXer : back-end pour l'application LIST Port

La plate-forme LIST Port a été développée à partir de l'emixEr (Enhanced Mobility Information eXchange Environment for Real-time services), qui est un exemple de plate-forme TIC habilitante pour la fourniture de services d'infomobilité. Il s'agit d'une plateforme logicielle capable d'intégrer des services et des données liés à la mobilité et au transport provenant de systèmes externes hétérogènes, en les rendant interopérables et utilisables pour la réalisation de nouveaux services à valeur ajoutée pour l'utilisateur final. Il offre une architecture modulaire, ouverte et Service-Oriented, qui peut être adaptée de manière flexible à différents domaines d'application : intégration de données, supervision du trafic, services d'infomobilité, etc. Il utilise et est compatible avec les principales normes ITS européennes et celles de l'Open Geospatial Consortium (OGC) et met en œuvre les directives européennes INSPIRE sur les SDI (Spatial Data Infrastructure).

La chaîne de services emixEr se compose des éléments suivants :



FIGURE III.61: FLUX D'INFORMATIONS ET INTEGRATION AVEC D'AUTRES SYSTEMES

Dans le projet List-Port, il y a une phase d'acquisition et de transformation des données vers un format commun et standard. L'archivage peut avoir lieu dans des bases de données externes ou internes, pour la mise en cache ou le stockage historique. Un traitement complexe des données peut alors être effectué. La dernière phase est celle de la delivery multicanal.

4.2.1.3 *Structure de l'application LIST Port*

La personnalisation de la plateforme sw LIST Port se fait de manière modulaire, c'est-à-dire en activant la combinaison de composants (modules) configurés de manière appropriée et capables de réaliser la fonctionnalité spécifique requise sur les canaux d'entrée et de sortie souhaités. Cette approche permet d'ajouter des fonctionnalités ou de réaliser des configurations spécifiques tout en gardant les nombreux modules existants utilisables.

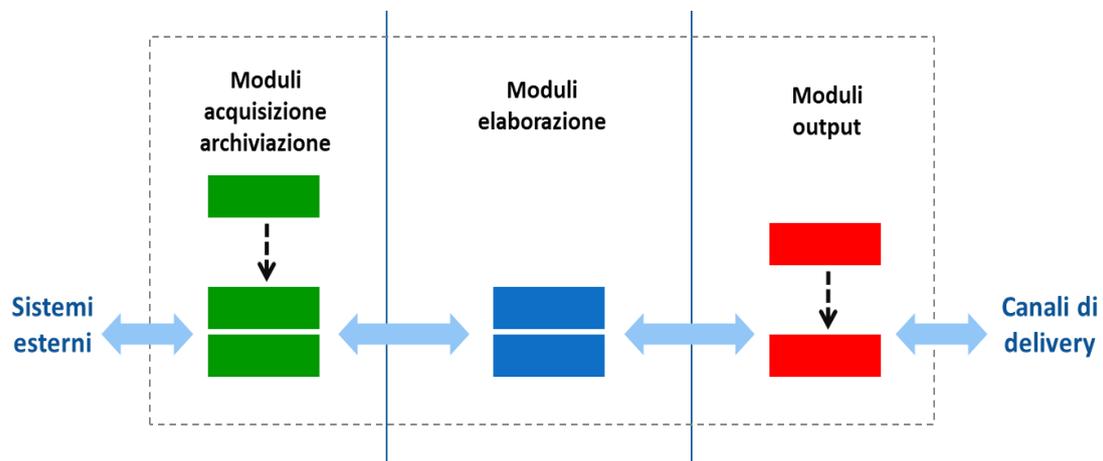


FIGURE III.62: STRUCTURE DU FLUX DE DONNEES DE L'APPLICATION

Les modules de l'application Port LIST sont décrits en détail ci-dessous.

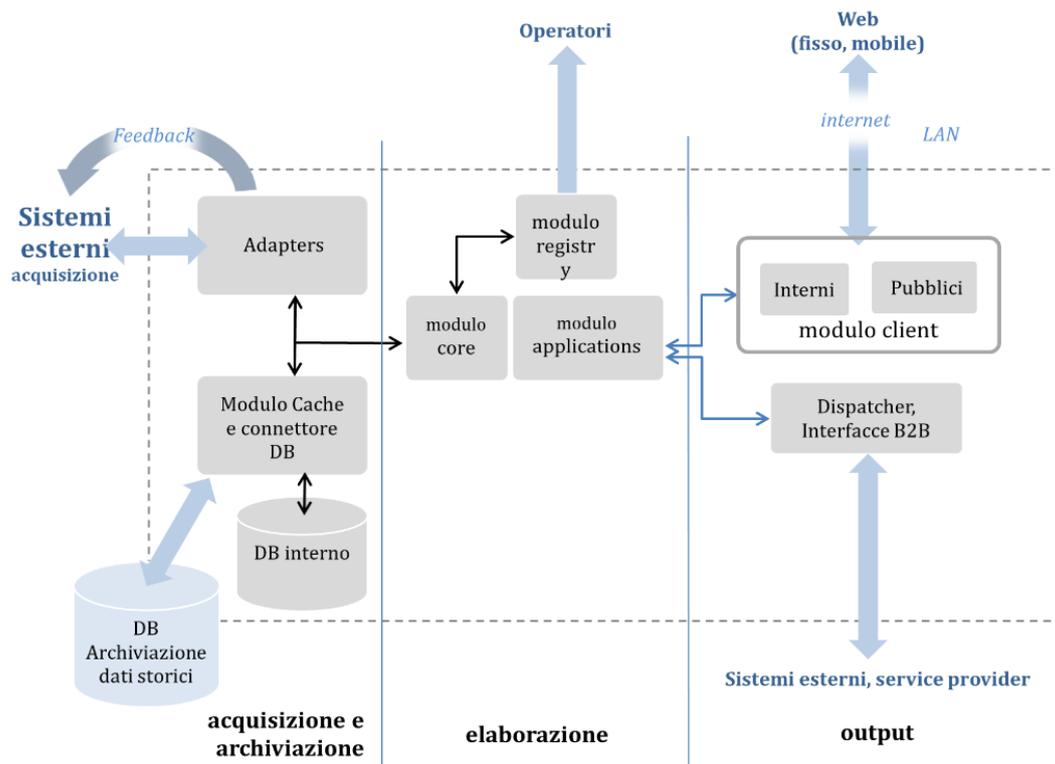


FIGURE III.63: LES MODULES COMPOSANT L'APPLICATION LIST-PORT

4.2.1.4 Le module d'acquisition.

Le module d'acquisition se compose essentiellement des **adaptaters**, qui permettent l'intégration d'informations obtenues à partir de systèmes externes (tels que des caméras).

Les adapter permettent d'accéder à des systèmes externes et aux informations qu'ils véhiculent. Les adapter peuvent être conçus pour permettre (ou non) la mise en cache des données des systèmes externes afin d'éviter une charge excessive de l'application LIST Port vers ceux-ci. Les adapter peuvent être configurés en lecture seule ou peuvent fournir un canal de feedback pour envoyer les données collectées à des systèmes externes (via des opérations CRUD - Create Update Delete).

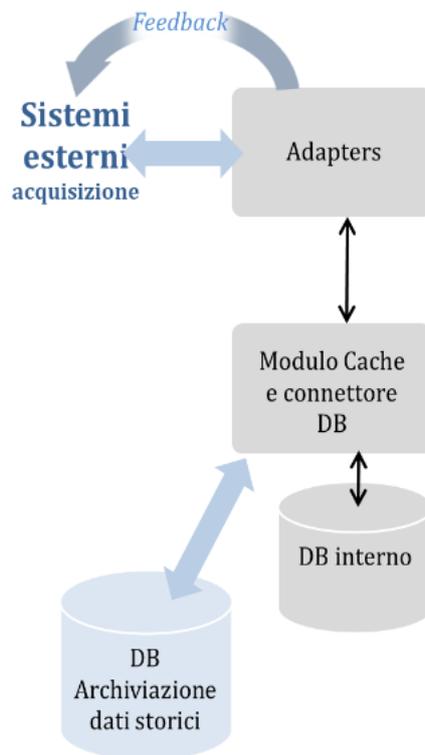


FIGURE III.64: SCHEMA POUR LES SYSTEMES EXTERNES D'ACQUISITION ET DE STOCKAGE DES DONNEES

Le module **Cache/Archive** permet de garder en mémoire des données statiques provenant de systèmes externes afin d'accélérer le flux d'informations. L'"expiration" du cache est définie au niveau de chaque adaptateur. Le cache télécharge également toutes les données historiques collectées par le système qui doivent être stockées dans une base de données.

4.2.1.5 Le module de traitement.

Le module de traitement se compose de trois sous-modules : core, registry e applications.

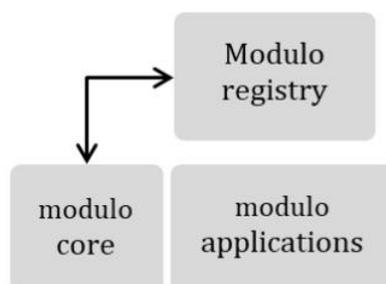


FIGURE III.65: MODULE DE TRAITEMENT DES APPS

Le sous-module **core** contient la Business Logic pour le chargement et la gestion des adaptateurs vers les systèmes externes, y compris le routing des demandes, provenant des clients, vers l'adaptateur ou le cache associé.

Il **registry** est interrogé au démarrage du service core et contient toutes les données nécessaires au chargement et à l'initialisation des adaptateurs vers les systèmes externes.

Le module d'applications contient une éventuelle Business Logic pour fournir des added value services construits à partir d'informations atomiques mises à disposition par des systèmes externes (par exemple, le calcul de l'état du trafic à partir de données de flux, etc.)

4.2.1.6 Le module de sortie.

Les **clients** sont divisés en deux familles : internes et publics. Les clients publics accèdent à des services (disponibles en version REST/JSON et SOAP/XML) qui donnent accès à des données (data-services) en mode read-only.

Les clients internes sont destinés aux opérateurs du système et donnent accès à des fonctionnalités telles que la surveillance de l'état du service, la configuration, la gestion de l'historique/du temps réel, etc.

Tous les services (internes et/ou publics) sont protégés par une clé de session qui empêche leur utilisation par des tiers non autorisés et permet d'éviter les attaques DOS ou SYN flood.

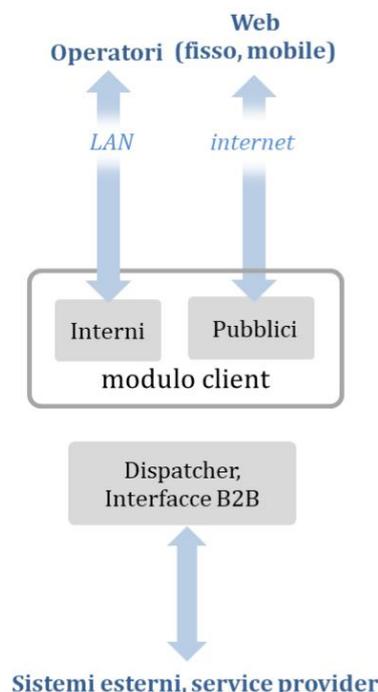


FIGURE III.66: LE MODULE DE SORTIE

Les **Dispatchers** fournissent à la fois une interface aux systèmes B2B et aux systèmes de communication avec les utilisateurs (IVR, SMS, eMail). Les dispatchers, en particulier ceux liés à l'information des utilisateurs, sont mis en œuvre au moyen de "robots" qui peuvent être facilement remplacés pour répondre aux besoins des clients sans qu'il soit nécessaire de revoir l'ensemble de l'architecture.

4.2.2 Conception de l'application LIST Port

L'application LIST Port a une conception High Level Design (mock-up), et fournira les services suivants :

- visualisation cartographique du réseau routier ;
- la planification et la représentation cartographique des voies d'accès/sortie de la zone portuaire en fonction des conditions de circulation et de bruit et des stratégies d'acheminement élaborées par le système d'infomobilité ITS du port de LIST ;
- affichage d'informations en temps réel sur le trafic et la mobilité ;
- des informations sur les nuisances sonores, qui seront calculées sur la base des données de trafic fournies par les caméras ;
- services de e-ticketing et de e-payment pour la réservation et l'achat de places à bord du navire (pour les compagnies qui offrent un accès à leurs services de réservation/vente en ligne) ; toutefois, ces services ne seront disponibles qu'à Piombino..

La Figure III.66 montre l'écran principal de l'application LIST Port, qui permet de sélectionner le port d'intérêt entre : Piombino, Vado Ligure, Olbia et Bastia.



FIGURE III.67: ECRAN PRINCIPAL DE L'APPLICATION LIST PORT

Le menu principal de l'application est illustré à la Figure III.67.

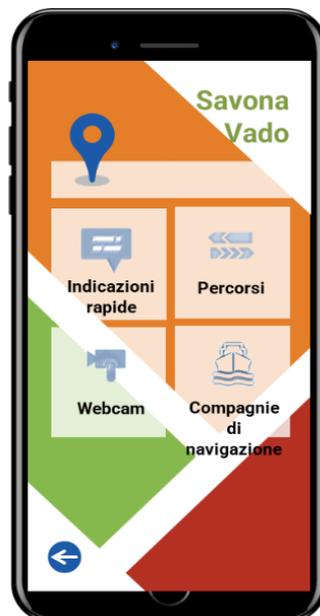


FIGURE III.68: ECRAN DU MENU PRINCIPAL

- **Indications détaillées** sur le trafic et le bruit à destination et en provenance du port
- **Itinéraires** (directions détaillées vers et depuis le port)
- **Caméras** (si disponibles) dans la zone portuaire (LIST PORT cameras)

- **Liens** vers les sites web des compagnies maritimes présentes dans le port sélectionné
- Achat de billets online (si disponible)

L'élément "info rapide" fournit des informations comme le montre la Figure III.68.



FIGURE III.69: ECRAN D'INFORMATION RAPIDE

- **Avis sommaire** sur l'itinéraire proposé
- Signalisation : image PMV (si disponible)
- Accès rapide à d'autres fonctions (toolbar en bas)

L'élément "routes" conduit à l'écran illustré dans la Figure III.69.

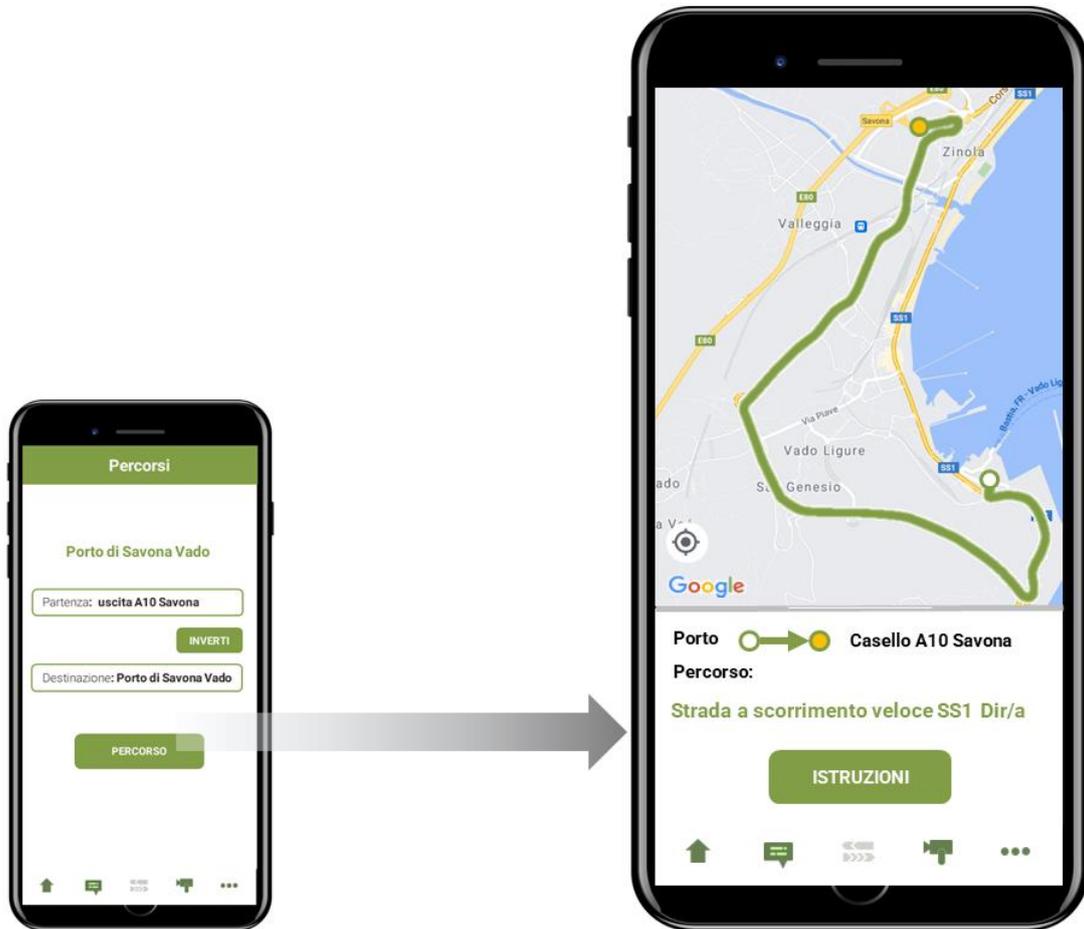


FIGURE III.70: L'ECRAN DE L'ELEMENT ROUTES

La rubrique "compagnies de ferries" fournit des informations sur les arrivées et les départs de ferries.

Ces informations ne sont actuellement disponibles qu'à Piombino, car l'application LIST Port peut s'interfacer avec la plateforme M.O.NI.CA de l'autorité portuaire de la mer Tyrrhénienne du Nord.

À Piombino en particulier, il fournira des informations sur les arrivées et les départs des ferries :

- les heures prévues et/ou
- informations en temps réel (par exemple, ETA)

L'application a été conçue pour fournir ce type d'informations aux villes portuaires participant au projet : Vado Ligure, Olbia, Piombino et Bastia.

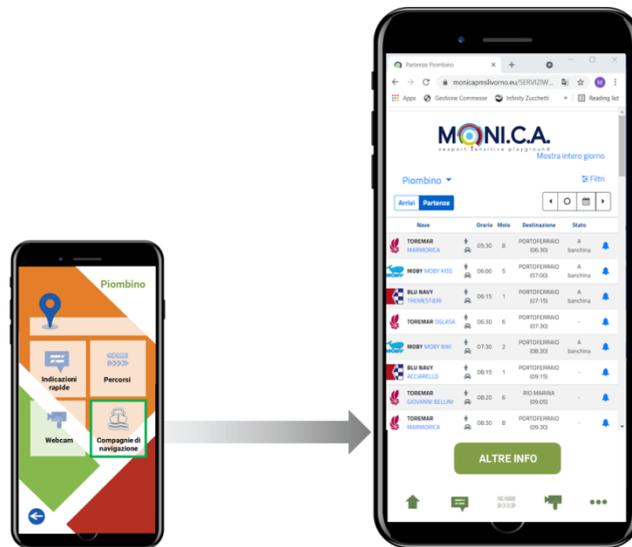


FIGURE III.71: INTEGRATION AVEC LA PLATE-FORME M.O.N.I.C.A.

4.2.3 La plate-forme de dialogue entre les systèmes

La plateforme de dialogue entre l'APP et le système Info-Mobilité avec PMV et surveillance du trafic est un "logiciel/application" bilingue (italien et français), en envoyant des "entrées" de routage des véhicules en fonction des niveaux de seuil de pression acoustique.

4.2.3.1 *Description du système*

Le logiciel/application permet :

- l'interface entre le système d'infomobilité LIST PORT, basé sur différents types de capteurs et de panneaux à messages variables (PMV) et en cours de construction dans les sites pilotes du projet - Olbia, Bastia, Piombino et Vado Ligure - et l'application LIST PORT, également en cours de construction, visant à fournir une assistance aux voyageurs vers et depuis les terminaux portuaires des sites ;
- l'extension et l'amélioration du système décisionnel pour l'acheminement des flux de trafic entrant/sortant des zones portuaires susmentionnées, par la mise en œuvre et l'utilisation, au sein des algorithmes décisionnels, d'un modèle d'estimation des niveaux de pollution sonore générés par les flux de trafic dans la zone, basé sur la modélisation/méthodologie Harmonoise ou CNOSSOS-EU

4.2.3.2 *Fonctionnalité*

L'étendue de la fourniture comprend la mise en œuvre des principales fonctionnalités et services suivants :

- 1) **Module d'estimation des émissions sonores** Cette fonctionnalité sera réalisée par la mise en œuvre d'une application exécutable du modèle Harmonoise⁶ ou de la méthodologie CNOSSOS-EU⁷ pour l'estimation des émissions sonores des flux de véhicules. Le module d'estimation des émissions utilisera en entrée les données de flux acquises par les capteurs (CCTV, enregistreur radar) utilisés par le système List Port Infomobility avec PMV, et produira en sortie l'estimation ponctuelle des émissions sonores (selon les descripteurs prévus par la réglementation européenne⁸, transposée par les réglementations nationales italienne⁹ et française - pour le cas de Bastia).

Ce module logiciel appliquera le modèle d'estimation des émissions sonores à intervalles réguliers aux données de débit acquises par le système de surveillance de List Port dans les différentes zones surveillées. Les estimations des émissions sonores seront référées à des mesures ponctuelles des flux de véhicules aux stations de mesure et de signalisation (PMV) installées sur les différents sites.

Les estimations générées en sortie seront mises à la disposition du module de décision pour l'acheminement des flux de véhicules. Les estimations des émissions sonores seront également stockées dans la base de données du système, ce qui rendra les données historiques disponibles pour des traitements ultérieurs (consultation, exportation, analyse, etc.).

- 2) **Modèle de décision pour le routage des flux en fonction des émissions sonores.** Ce module permettra d'étendre le modèle de décision d'acheminement des flux de trafic utilisé par le système List Port sur la base d'informations limitées à la mesure des flux de véhicules en introduisant des indications d'acheminement basées sur des critères d'évaluation des impacts sonores estimés des flux suivis. Globalement, le modèle de prise de décision sera basé sur:
 - I. les estimations des émissions sonores générées aux emplacements de l'enquête sur le trafic,

⁶ Nota R., Barelds R., Van Maercke D., 2005. Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning. Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20. Harmonoise project consortium Editions, Brussels

⁷ Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea, Direttiva (UE) 2015/996 della Commissione, del 19 maggio 2015

⁸ Environmental Noise Directive (Direttiva 2002/49/CE)

⁹ D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194 (aggiornato dal D.Lgs. 42/2017)

- II. un système de seuils de référence pour l'évaluation des niveaux de bruit, définis conformément à la législation nationale ,
- III. un ensemble de scénarios de trajets, définis par le client pour les points focaux du réseau surveillé, basés sur les niveaux de bruit estimés et les seuils de référence prescrits par la législation et visant les objectifs de réduction du bruit du trafic dans les zones cibles du projet List Port..

Ce module logiciel évaluera à intervalles réguliers les estimations des émissions sonores aux points surveillés par rapport aux seuils de référence et déterminera, en fonction des scénarios d'acheminement, les indications directionnelles appropriées. Ces indications seront mises à la disposition du système de prise de décision mis en œuvre dans le Centre d'opérations Data Center du système ITS LIST PORT, qui les utilisera avec les critères de routage basés sur l'évaluation des niveaux de congestion pour élaborer les indications finales de routage à afficher aux utilisateurs via les canaux de communication du système LIST PORT (LIST PORT Système d'infomobilité avec PMV et Infomobility App).

- 3) **Interfaces** Interfaces pour l'intégration/interopérabilité des modules logiciels 1) et 2) avec (a) Centre d'opérations Data Center du système ITS LIST PORT et (b) la plateforme back-end de l'application LIST PORT.
- 4) **Application Programming Interface (API)** pour l'exposition de nouvelles informations / services pour permettre leur utilisation par le **App LIST PORT**.
- 5) **Application Programming Interface (API)** Interface de programmation d'applications (API) pour l'affichage des nouvelles informations/services à utiliser par le système d'infomobilité **List Port avec PMV**.

4.2.3.3 Architecture

L'étendue de la livraison proposée sera réalisée au moyen du développement de composants logiciels à partir de zéro et de l'adaptation de la plate-forme myMaaS emiXer. La figure III.71 montre l'architecture globale (high level) des composants logiciels livrés dans le contexte des autres composants de l'architecture LIST PORT.

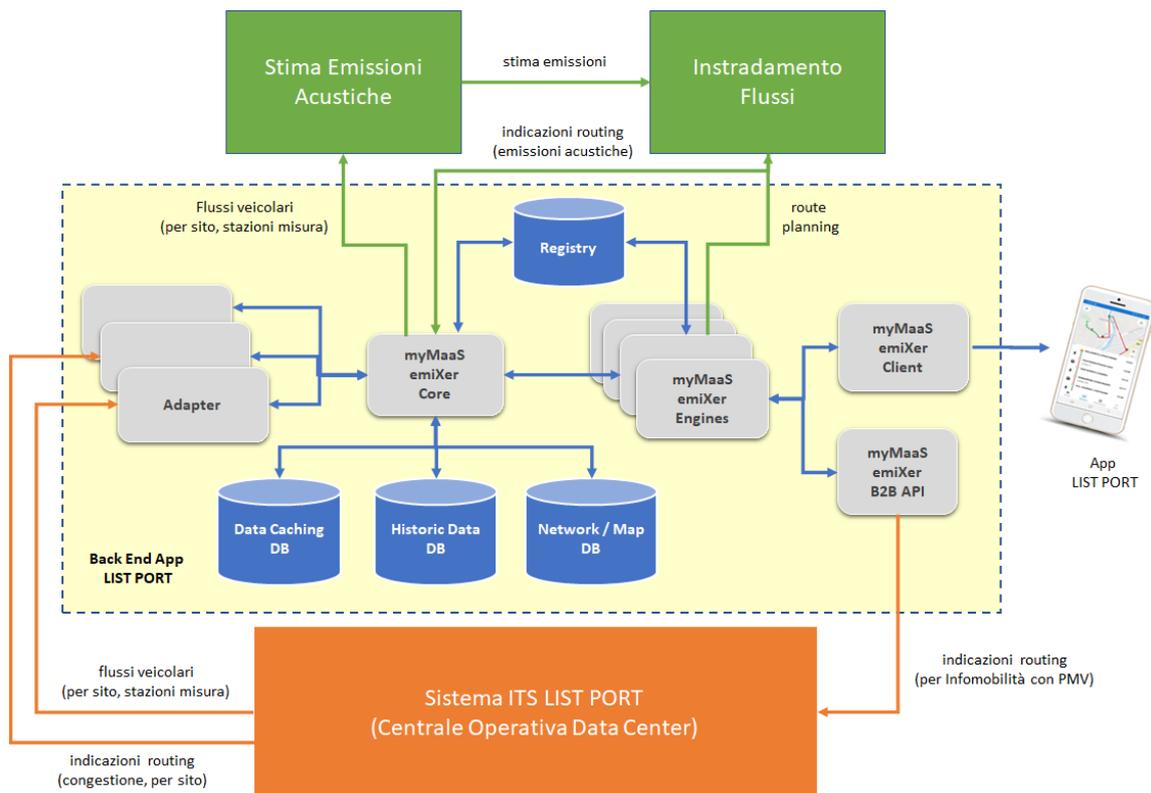


FIGURE III.72: ARCHITECTURE (HIGH LEVEL) DE L'OFFRE

Les deux modules fonctionnels décrits ci-dessus doivent être intégrés à la plateforme Back End de l'application LIST PORT, siège de tous les principaux processus qui alimentent les services aux utilisateurs finaux fournis par l'application.

Le système Back End est réalisé à l'aide de la plateforme myMaaS emiXer, en tant qu'infrastructure permettant l'intégration, le traitement, la distribution et l'utilisation de services et d'informations en temps réel sur le trafic et la mobilité intermodale.

La plateforme myMaaS emiXer comprend plusieurs composants principaux :

- **myMaaS eMIXER Core:** pilote le processus d'acquisition et de normalisation des données provenant de services ITS externes par le biais de Data Adapters, sur la base de profils de services stockés dans un Registry ;
- **myMaaS eMIXER Engines:** un ensemble de "moteurs d'application" dont chacun fournit une fonctionnalité spécifique, notamment la planification d'itinéraires, le traitement des données relatives au trafic, le traitement des feedback des utilisateurs, etc;
- **myMaaS eMIXER Clients:** permettent la fourniture de services et d'informations à l'utilisateur final et à l'opérateur par le biais d'un large éventail de canaux et de dispositifs ;

- **Data Adapters:** ils opèrent la transformation des données et des services fournis par des sources externes en modèles intégrés dans myMaaS eMIXER sur la base des normes ITS ;
- **API (Application Programming Interface) B2B:** fournit une couche d'accès aux services myMaaS eMIXER pour les applications tierces, permettant l'utilisation des informations et services myMaaS eMIXER par des systèmes et services externes.

Les principaux flux d'interaction entre les composants de l'architecture sont résumés dans le tableau suivant.

Sous-système/module	Interaction avec	input	output	méthode/technologie
Centre d'opérations LIST PORT	Back End App List Port (Adapter emiXer)		flux de véhicules (débits, vitesses, composition, ...) pour chaque station de mesure sur chaque site	Web Services (à convenir avec le fournisseur C.O.)
	Back End App List Port (Adapter emiXer)		Stratégies de routage basées sur les niveaux de congestion (par points PMV, par site)	Web Services (à convenir avec le fournisseur C.O.)
	Back End App List Port (emiXer B2B API)	indications de routage pour PMV (sur la base d'estimations de la pollution sonore)		Web Services (à convenir avec le fournisseur C.O.)
Estimation des émissions sonores	Back End App List Port (emiXer Core, Map / Network)	flux de véhicules (zone, station de mesure)		emiXer internal API
	Module d'acheminement des flux		estimation des émissions (L_{den} , L_{day} , L_{night} , ...)	méthodes C#
Module de routage des flux	Back End App List Port (emiXer Core)		Instructions de routage (basées sur des estimations de la	emiXer internal API
	Back End App List Port (emiXer Engines – route	itinéraire avec origine ou destination		emiXer internal API

App LIST PORT	Back End App List Port (emiXer Client)	- indications de routage - autres services		emiXer internal API REST/JSON
----------------------	--	---	--	-------------------------------

FIGURE III.73: PRINCIPAUX FLUX D'INFORMATIONS DE L'ARCHITECTURE CIBLE

Les principaux rôles joués par la plateforme Back End de l'App LIST PORT, dans l'économie de l'interaction avec le système du Centre d'Opérations ITS LIST PORT (en particulier, avec le Back End du système d'infomobilité avec PMV) et l'intégration des nouveaux modules fonctionnels objet de cette fourniture, comprennent :

- **Module myMaaS emiXer Core:** orchestration des flux entre les différents composants fonctionnels constituant la solution intégrée ; gestion de l'accès et de l'utilisation des composants de persistance (Network / Map DB, Data Caching DB, Historic Data DB) avec sélection des data services nécessaires aux nouveaux modules fonctionnels inclus dans l'offre (accès aux données par zone de port de liste, ensemble de stations de collecte de données, stations uniques) ; historisation des informations générées par les nouveaux modules fonctionnels ;
- **Data Adapters:** adaptation des flux de données provenant de l'O.C. (flux de véhicules, stratégies de routage) au format interne utilisé par l'application info-mobilité ;
- **Module myMaaS emiXer Engines:** possibilité d'utiliser le moteur de planification d'itinéraires (Route Planner) pour calculer les itinéraires de/vers les terminaux dans les zones du List Port, pour compléter les indications d'itinéraires liées aux stratégies gérées par le système d'infomobilité avec PMV (Centrale Operativa ITS LIST PORT) ;
- **Module myMaaS emiXer B2B API:** interface de programmation pour les systèmes externes, publie via des Web Services les résultats du traitement des nouveaux modules fonctionnels (Estimation de l'émission de bruit, Routage du flux) pour une utilisation par le système d'info-mobilité avec PMV. L'API permet un accès complet aux informations gérées par la plateforme myMaaS emiXer, par le biais d'interfaces avec les différents services d'infomobilité mis en œuvre selon les principales normes européennes pour les systèmes ITS (notamment DATEX II, SIRI, TPEG, VDV, GTFS, OpenLS, etc.) En fonction de ce qui est disponible sur les sites de List Port (systèmes ITS et services d'infomobilité de tiers), ce composant offre un élément d'ouverture pertinent pour d'éventuels développements et services supplémentaires afin d'étendre ce qui est offert par l'application LIST PORT.

4.2.3.4 *Technologies*

Les principales technologies utilisées pour la mise en œuvre de l'objet "plate-forme d'application/logiciel" de la présente proposition technique doivent être entièrement compatibles avec les technologies de mise en œuvre utilisées par la plate-forme habilitante myMaaS emiXer, afin de garantir l'interopérabilité complète des différents composants de la solution intégrée et d'assurer les niveaux d'ouverture et d'extensibilité de la solution offerte par la plate-forme myMaaS emiXer.

Les principales technologies et solutions architecturales utilisées sont brièvement résumées ci-dessous :

- Back End App LIST PORT (myMaaS emiXer)
 - ASP.NET Core
 - Entity Framework Core (garantit la compatibilité avec différents DBMS: MS SQL Server, MySQL, PostgreSQL, Oracle)
 - REST Web Services, http, JSON
 - OAuth2
 - Multi tenancy, chargement dynamique Adapter
- App LIST PORT
 - Environnement cross-platform Xamarin, génération d'APK Android et IPA iOS
 - Google maps
 - SQLite
 - Entity Framework Core
- Web Front End
 - Vue.js (framework)
 - Leaflet (vue de la carte)
 - Vuetify (thème graphique)
 - Vue-router (navigation entre les pages)
 - Vuex (gestion de l'état des applications web app)

4.3 *Analyse critique des résultats et du niveau de réalisation des objectifs*

Les applications pilotes ont été développées pour les villes portuaires d'Olbia, Piombino Vado Ligure et Bastia, qui sont affectées par des flux de véhicules et de trafic commercial, avec de fortes variations saisonnières, où pendant la saison estivale il y a de fortes concentrations de véhicules qui déterminent un impact significatif sur les façades portuaires et sur les routes de la ville vers et depuis les ports. Afin d'évaluer l'impact du bruit du trafic, les niveaux de trafic et de bruit dans les ports et sur les principaux axes routiers ont été initialement contrôlés,

dans le but de définir des modèles de trafic afin de disposer d'un modèle virtuel capable de simuler de nouveaux scénarios de réseau visant à rationaliser le trafic de véhicules. L'évaluation des criticités de ces routes, tant du point de vue du transport que de l'acoustique, a permis de définir des niveaux de capacité acoustique au-delà desquels il est nécessaire d'identifier des solutions alternatives de déplacement et/ou d'accès aux ports, à véhiculer par l'utilisation de systèmes ITS basés sur des plateformes d'info-mobilité (PMV ou APP) capables de fournir des informations aux conducteurs en temps réel. À la fin de la mise en œuvre du système, une action d'évaluation ex-post sera développée pour mesurer la diminution de la pression du trafic et du bruit suite à l'introduction de ces systèmes ITS, en identifiant également les éventuelles mesures correctives. Les bénéficiaires finaux sont les résidents et les visiteurs des villes portuaires, tandis que les bénéficiaires de second niveau seront les opérateurs portuaires qui pourront compter sur une gestion optimale des accès au port et une gestion plus efficace du trafic interne.

L'aspect caractéristique du projet était la coopération transfrontalière, qui a permis de disposer d'une comparaison articulée tenant compte de la diversité des villes portuaires européennes choisies pour l'expérimentation: leur conformation orographique, territoriale et urbaine constituait une variété suffisamment représentative des réalités portuaires méditerranéennes. L'approche transfrontalière a permis d'obtenir des données sur le comportement d'éléments d'utilisateurs de nationalités différentes, qui ont dû être prises en compte lors de la définition des paramètres des modèles de prévision et lors du calibrage des modèles. Enfin, l'approche transfrontalière a permis d'aborder la question également par rapport à la déclinaison différente de la législation européenne dans les différents États et régions et aux différentes lois et réglementations locales, provinciales et régionales, avec des limites et des classes de bruit qui se sont avérées beaucoup plus articulées que celles des lois nationales.

L'approche transfrontalière a donc permis de poursuivre l'objectif de définition d'une méthodologie et d'une procédure de conception standardisée pouvant être mise à l'échelle et reproduite dans d'autres contextes portuaires urbains.

SEZIONE IV. LE PROJET REPORT

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif général à long terme de REPORT est l'atténuation des émissions sonores et de l'impact acoustique des ports dans le domaine de la coopération transfrontalière pour rendre les infrastructures portuaires de l'Espace Maritime plus durables. Tout cela est réalisable grâce à la création d'une approche spécifique pour la gestion correcte du bruit portuaire actuellement absent du système réglementaire, destinée à tous ceux qui entendent atténuer l'impact acoustique des ports. Cette méthodologie, développée de manière pluridisciplinaire grâce aux différentes compétences des instances scientifiques qui composent le partenariat, a vocation à être mise en œuvre et intégrée dans la directive 2002/49/CE qui n'exige pas spécifiquement une évaluation du bruit émis par les ports mais l'assimile au bruit industriel sans tenir compte des caractéristiques et particularités de telles réalités, telles que les sources sonores complexes de nature et de caractéristiques différentes, la répartition des sources elles-mêmes, les caractéristiques particulières de propagation (ex : plan d'eau devant les infrastructures). Par ailleurs, une intégration de la législation du point de vue de l'impact sonore viendrait compléter le tableau de l'analyse des pollutions par les agents physiques (incluant déjà les approches relatives à la pollution atmosphérique). Les simulations numériques et les nouveaux algorithmes et méthodologies conçus pour esquisser et définir les meilleures stratégies communes de réduction des nuisances sonores développées dans le domaine REPORT sont par nature de nature générale et donc conçus pour être applicables et reproductibles dans n'importe quelle réalité portuaire. Cela permet donc d'assurer le développement durable des ports de commerce et des plateformes logistiques connectées, assurant leur croissance et leur expansion, tout en limitant l'impact sur la population urbaine environnante dont la sensibilité aux nuisances sonores est toujours croissante.

Certains objectifs spécifiques du projet peuvent être identifiés, tels que :

- Création de modèles de simulation multidisciplinaires pour l'évaluation du bruit dans la zone portuaire : Les ports étant des infrastructures complexes, caractérisées par une grande complexité et une grande variété d'activités génératrices de nuisances sonores, REPORT vise à aborder ce problème à travers une approche multidisciplinaire qui permet une manière durable et durable d'atténuer les émissions sonores et l'impact acoustique des ports dans la zone de coopération transfrontalière.
- Mise en œuvre de méthodes spécifiques actuellement manquantes pour la gestion et le contrôle du bruit portuaire : Étant donné que les réglementations nationales et européennes ne fournissent pas de directives adéquates dans le cas de l'évaluation du bruit des ports, l'un des

objectifs du RAPPORT est la réalisation de méthodes spécifiques mises en œuvre et hoc pour l'analyse du bruit portuaire, qui prend en compte les particularités des infrastructures portuaires.

- Diffusion des méthodes de gestion et de contrôle du bruit portuaire aux instances en charge et à la communauté scientifique : Une fois la bonne approche de gestion du bruit portuaire définie, REPORT vise à transférer cette connaissance aux autorités locales en charge de la gestion du bruit portuaire (par exemple, les autorités portuaires, les municipalités, les villes métropolitaines, les provinces), de sorte que dans le domaine de l'espace maritime, il existe des critères et des méthodes communs pour le contrôle du bruit des ports.

2. SYNTHÈSE DU PROJET

Les ports méditerranéens sont entourés de zones urbaines densément peuplées où le bruit généré par les sources sonores de leur activité a un impact très important. L'objectif à long terme du projet REPORT est la réduction des émissions sonores des ports de l'espace de coopération transfrontalier dans le but de rendre plus durables les installations portuaires de l'Espace Maritime. Ceci est effectué par le développement d'une approche dédiée de la gestion du bruit. Cette méthodologie, dont le caractère multidisciplinaire est assuré par les compétences des organismes scientifiques du partenariat, a pour finalité d'être implémentée et intégrée dans la Dir. 2002/49/CE qui n'exige pas spécifiquement une évaluation du bruit portuaire mais l'assimile à un bruit industriel sans prendre en compte les spécificités telles que la complexité des sources des ports, la répartition des sources acoustiques sur l'eau et les conditions particulières de propagation du son. En abordant cette lacune réglementaire, commune à tout l'espace maritime, ceci de façon multidisciplinaire (simultanément d'un point de vue technique, gestionnaire et socio-économique), et en proposant des méthodes communes pour la gestion du bruit dans les ports, l'approche novatrice de REPORT est nécessaire pour atteindre la dimension transnationale des normes et directives européennes. Le développement de nouveaux algorithmes et méthodologies dans différents secteurs décrira et définira les meilleures stratégies transfrontalières conjointes et reproductibles pour la réduction du bruit, permettant d'aborder la question de la gestion de l'environnement sonore dans les zones portuaires, d'une manière holistique et durable. Les organismes scientifiques et les autorités locales bénéficieront des résultats du projet en termes d'une plus

grande prise de conscience de cette problématique ainsi que de l'équité et de la rigueur des méthodes pour la décrire et la traiter avec succès.

3. MODÈLES DÉVELOPPÉS POUR LA PRÉVISION DU BRUIT PORTUAIRE.

Les simulations numériques et les nouveaux algorithmes et méthodologies conçus pour esquisser et définir les meilleures stratégies communes de réduction des nuisances sonores développées dans le cadre du Report Project sont par nature de nature générale et donc conçus pour être applicables et reproductibles dans toutes les réalités portuaires. Cela permet donc d'assurer le développement durable des ports de commerce et des plateformes logistiques connectées, assurant leur croissance et leur expansion, tout en permettant de limiter l'impact sur la population urbaine environnante dont la sensibilité dans le contexte des nuisances sonores est toujours croissante.

En particulier, les modèles développés sont au nombre de quatre, pour chacun desquels une activité spécifique a été définie au sein du Projet :

- "Développement d'un modèle de simulation de bruit : MithraSIG 5.4"
- « Analyse des émissions sonores au fur et à mesure que les conditions de circulation varient à travers des interventions de gestion et de régulation : Réseau de neurones »
- Analyse des émissions sonores des activités portuaires pour la circulation des marchandises et des personnes dans l'hypothèse de nouveaux vecteurs énergétiques de propulsion"
- « Evaluation des coûts sociaux liés aux nuisances sonores dans les ports »

4. VALIDATION DES MODÈLES DÉVELOPPÉS ET AMÉLIORATIONS POSSIBLES

4.1 *Validation des modèles développés.*

La validation de l'instrument Porto a eu lieu en modélisant les mêmes scénarios dans MithraSIG 5.4 et dans SoundPLAN 8.1 et en comparant ensuite les résultats en termes de niveaux de bruit avec les niveaux mesurés sur le terrain.

Pour donner une plus grande crédibilité aux résultats obtenus à partir du réseau de neurones développé ainsi que pour démontrer son exactitude et son efficacité, le projet prévoit une activité de validation spécifique à travers des campagnes de mesures spécifiques. Le plan de validation peut se résumer aux phases suivantes :

- Réalisation d'une campagne de mesures sur un scénario nouveau sur le réseau.

- Entraîner le réseau sur une fraction des données de surveillance.
- Génération d'estimations des niveaux de bruit à travers le réseau de neurones sur la base des seules données de trafic.
- Simulation de scénario sur logiciel de prévision classique (SoundPLAN).
- Comparaison des estimations fournies par le réseau de neurones et celles fournies par les logiciels de prévision traditionnels avec les niveaux mesurés lors de la surveillance ;
- Comparaison du niveau d'incertitude du réseau avec celui fourni par les logiciels traditionnels.

4.2 *Analyse critique et améliorations possibles.*

Au cours de la composante T2 du projet de rapport, plusieurs modèles mathématiques liés au bruit portuaire ont été développés. En particulier, l'Université de Cagliari (UNICA) a développé un réseau de neurones qui, sur la base du trafic transitant sur le réseau routier, est en mesure de fournir des estimations du bruit généré. Le réseau permet de faire des devis sur une base de temps très courte, voire une minute. En produisant ces estimations, le Modèle garantit des avantages incontestables en termes de puissance de calcul et de temps de traitement des données nécessaires pour prévoir les niveaux attendus par rapport aux logiciels de simulation traditionnels.

Concernant le logiciel MithraSIG5.4, malgré les différentes différences constatées entre les deux programmes (MithraSIG5.4 et SoundPLAN8.1), une fois les unités de mesure standardisées et les différentes sources et récepteurs positionnés aux mêmes coordonnées, le delta entre les résultats aux récepteurs est inférieur à ± 1 dB (A).

Quai Sabaudo	SoundPLAN	MithraSIG	Delta
Nom récepteur	L _{Aeq} diurne	L _{Aeq} diurne	L _{Aeq} diurne
P01 - quai	88.2	87.6	0.6
P02 - Fabbricatio (Bar)	88.3	87.4	0.9

TABLE IV.1: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS OBTENUES AVEC SOUNDPLAN ET MITHRASIG RELATIF AU SCENARIO QUAI SABAUDO.

Quai Dente Sabaudo	SoundPLAN	MithraSIG	Delta
Nom récepteur	L _{Aeq} diurne	L _{Aeq} diurne	L _{Aeq} diurne
P01 -Quai	93.8	93.8	0.0
P02 - Sabaudo ext (6° ormeggio)	78.8	78.7	0.1

TABLE IV.2: COMPARAISON ENTRE LES VALEURS OBTENUES AVEC SOUNDPLAN ET MITHRASIG RELATIF AU SCENARIO QUAI DENTE SABAUDO.

Quai Levante Rinascita	SoundPLAN	MithraSIG	Delta
Nom récepteur	L _{Aeq} diurne	L _{Aeq} diurne	L _{Aeq} diurne
P01 - Quai	95.3	95.0	0.3
P02 - Fabbricatino	90.8	90.6	0.2
P03 - Fabbricatino (bar)	73.6	73.6	0.0

À la suite des difficultés rencontrées, des suggestions sont proposées pour d'éventuelles futures implémentations du programme, visant à faciliter ou à améliorer la modélisation des sources navales.

Il peut être plus facile pour l'utilisateur d'effectuer les modifications suivantes :

- Mesurer le déport de la cheminée « en partant de la limite extrême du navire et non de la limite de la superstructure.
- La possibilité de spécifier manuellement les paramètres de réfraction de l'objet navire (comme c'est le cas pour les bâtiments) pourrait être utile pour augmenter son interaction avec les sources actives dans le modèle.
- Possibilité de définir plus précisément (manuellement) la position des sources le long des « Côtés Gauche et Droit » du navire.
- Donner à l'utilisateur la possibilité d'étendre manuellement le spectre dans les bandes d'octave du niveau de puissance L_w pouvant être affecté aux sources.
- La possibilité de définir une source surfacique simple, avec la possibilité de régler la puissance acoustique également en L_w / unité.

Index des Figures

Figure I.1: construction d'une dune au Port de Prà.....	7
Figure I.2: tronçons de route arpentés - port d'ile rousse.....	8
Figure I.3: lieu d'installation des 5 stations de recharge pour véhicules électriques dans les ports français - en haut du port commercial d'ile rousse et en dessous de bastia (corse, france).....	9
Figure I.4: le port de portoferraio (toscanne, italie) après travaux pour la construction d'asphalte à faible bruit.....	10
Figure I.5: quai avec trois navires.....	11
Figure I.6: comparaisons des tendances temporelles du LAeq,1 s.....	11
Figure II.1 Diagramme de la méthodologie pour le diagnostic acoustique des ports.	15
Figure II.2 : Période 7h-8h – Pascal Paoli (déchargement) – émergence.....	24
Figure II.3: Portoferraio –carte de l'émergence (différence entre le bruit totale moins celui causé par le trafic routier).....	25
Figure II.4 : Période 7h-8h – Mega Express I - Déchargement - Récepteur R1.....	25
Figure III.1: architecture du système its list-port.....	31
Figure III.2: identification des villes portuaires pilotes du projet LIST- PORT.....	40
Figure III.3 sections de l'enquête Olbia	42
Figure III.4: sections de l'enquête Bastia	42
Figure III.5 sections de l'enquête Piombino	42
Figure III.6: sections de l'enquête Vado Ligure	42
Figure III.7: comparaison des flux de trafic été-automne 2019 Olbia.....	43
Figure III.8: comparaison des flux de trafic été-automne 2019 Bastia	43
Figure III.9: comparaison des flux de trafic été-automne 2019 Piombino	44
Figure III.10: comparaison des flux de trafic été-automne 2019 Vado Ligure	44
Figure III.11: schéma du réseau routier de Vado Ligure	45
Figure III.12: schéma du réseau routier de Piombino	45
Figure III.13: le zonage de Bastia.....	46
Figure III.14: le modèle chargé et le zonage d'Olbia.....	46
Figure III.15: correction initiale de la matrice o/d relative à la période matinale d'automne (OLBIA).....	46
Figure III.16: correction initiale de la matrice o/d relative à la période matinale d'été (BASTIA).....	46
Figure III.15	46
Figure III.18: simulation dynamique avec présence de files d'attente (OLBIA).....	47
Figure III.19: simulation dynamique avec présence de files d'attente (Piombino)..	47
Figure III.20: la répartition des flux de trafic (Olbia).....	48

Figure III.21: simulation dynamique du node d'accès au port d'olbia.....	48
Figure III.22: la répartition des flux de trafic (Bastia)	48
Figure III.23: SIMULATION DYNAMIQUE (Bastia)	48
Figure III.24: simulation de criticité du quai 5 (Piombino)	49
Figure III.25: simulation des files d'attente jusqu'au viale unità d'italia (Piombino)	49
Figure III.26: simulation de criticité du port de VADO LIGURE	49
Figure III.27: simulation de la criticité du carrefour à feux entre via caduti per la libertà et aurelia (VADO LIGURE).....	49
Figure III.28: extrait du plan de classification acoustique de la ville d'olbia.....	51
Figure III.29: extrait du plan de classification acoustique de la ville de Piombino ..	51
Figure III.30: plan de classement acoustique de la commune de vado ligure - zonage acoustique de la portion de territoire concernée par les analyses	52
Figure III.31: stations de détection acoustique Comune di Olbia	53
Figure III.32: stations de mesure du niveau de pression acoustique dans la ville d'olbia.....	53
Figure III.33: lieux de surveillance du bruit dans la ville de bastia.....	54
Figure III.34: stations de relevés acoustiques dans la ville de piombino - période de pointe	54
Figure III.35: postes d'enquête sur la circulation des véhicules dans la ville de vado ligure	55
Figure III.36: Cartes de bruit de la ville de Piombino.....	58
Figure III.37 : Cartes de bruit de la ville d' Olbia	58
Figure III.38 : : Cartes de bruit de la ville d' Olbia.....	59
Figure III.39: carte de la zone portuaire de piombino et des environs, montrant les trois portes d'accès au port (en rouge) et la " polmon area " (EN BLEU). (in blu)...	69
Figure III.40: localisation de pmv1. les dimensions de pmv1 sont entièrement indicatives car elles sont hors échelle. les messages que le pmv1 pourrait rapporter dans les deux cas de non-congestion et de congestion sont présentés respectivement à la figure iii.40 et à la figure iii.41.....	69
Figure III.41: exemple de messages que pmv1 pourrait rapporter en cas de non- congestion.	70
Figure III.42: exemple de messages que pmv1 pourrait signaler en cas de congestion.	70
Figure III.43: illustré : en bleu, l'itinéraire principal par la t11, et en rouge, l'itinéraire alternatif ("itinéraire bis"), par le centre de bastia : qui est cependant constitué en grande partie de routes étroites et sinueuses. les deux sont des routes bidirectionnelles. le cercle vert en bas de la figure montre le rond-point que nous appellerons dans la suite de cet article le rond-point de montesoro. les deux	

routes sont reliées par un très court tronçon de route, mis en évidence par le rectangle violet. dans l'itinéraire bis, on distingue : une partie sud, du rond-point de montesoro (cercle vert) au tronçon de route mis en évidence par le rectangle violet ; une partie nord, du tronçon de route ci-dessus au rond-point nogues. 71

Figure III.44: rond-point de montesoro. le point de congestion le plus important est surligné en rouge et correspond à l'entrée de la rampe qui relie le rond-point à la t11 en direction du nord (surlignée en bleu dans la figure et appelée dans la suite, par souci de brièveté, "rampe nord"). 72

Figure III.45: diagramme fonctionnel du module système ITS avec PMV et détecteurs de trafic 77

Figure III.46: architecture du système de gestion central du système ITS-LIST Port avec PMV et surveillance du trafic 80

Figure III.47 structure générale de l'app. 81

Figure III.48: intégration de l'application avec système ITS des PMV 82

Figure III.49- architecture du système (par ex. piombino) 86

Figure III.50: positionnement de la caméra (par ex. piombino) 86

Figure III.51: modèle de caméra (par ex. piombino) 86

Figure III.52 Viale Dalla Chiesa (par ex. Piombino) 87

Figure III.53 T.2 Viale Unità d'Italia (par ex. Piombino) 87

Figure III.54 T.3 Viale Unità d'Italia (par ex. Piombino) 87

Figure III.55 T.4 Viale Unità d'Italia (par ex. Piombino) 87

Figure III.56: positionnement des deux PMV (par ex. piombino) 88

Figure III.57: Insertion photographique de PMV dans Viale Margerita (par ex. Piombino) 89

Figure III.58: Insertion photographique de PMV DANS le S.P. della Principessa (par ex. Piombino) 89

Figure III.59: Plate-Forme TMacs 90

Figure III.60: schéma de fonctionnement de l'application list-port 90

Figure III.61: flux d'informations et intégration avec d'autres systèmes 91

Figure III.62: structure du flux de données de l'application 92

Figure III.63: les modules composant l'application list-port 93

Figure III.64: schéma pour les systèmes externes d'acquisition et de stockage des données 94

Figure III.65: module de traitement des APPS 94

Figure III.66: le module de sortie 95

Figure III.67: écran principal de l'application List Port 97

Figure III.68: écran du menu principal 97

Figure III.69: écran d'information rapide 98

Figure III.70: l'écran de l'élément routes	99
Figure III.71: intégration avec la plate-forme M.O.N.I.C.A.....	100
Figure III.72: architecture (high level) de l'offre	103
Figure III.73: principaux flux d'informations de l'architecture cible.....	105

Index des Tableaux

Table III.1: schéma temporel synoptique des relevés acoustiques effectués.....	56
Table IV.1: Comparaison entre les valeurs obtenues avec SoundPLAN et MithraSIG relatif au scenario Quai Sabauda.	111
Table IV.2: Comparaison entre les valeurs obtenues avec SoundPLAN et MithraSIG relatif au scenario Quai Dente Sabauda.....	111