



Projet de Bus à Haut Niveau de Service (B.H.N.S.)

Dossier d'Enquête Publique

19/02/2024

Volet H – Étude d'impact

Pièce H10D – Etude de vulnérabilité au change-
ment climatique – analyse de l'exposition

Émetteur : AMO



REVISION DE CE DOCUMENT

Indice	Date	Pages	Objet de la révision
A	19/02/2024	Toutes	Édition du document
B			
C			
D			
E			
F			
G			

VALIDATION DU DOCUMENT

Rédaction	Vérification	Validation
Nom PENIN Natalène Jennifer PAUC	Nom MONTEIGNIES Laureline	Nom NEDELLEC Carole
Date 19/02/2024	Date 19/02/2024	Date 19/02/2024
Visa	Visa	Visa

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Vincent CHERY	TPM



SOMMAIRE

1 - CONTEXTE	5
1.1 - Le projet.....	5
1.2 - Objectifs de l'étude.....	6
1.3 - Contexte géographique du projet.....	6
1.4 - Approche méthodologique	6
1.4.1 - Définitions et notions générales	6
1.4.2 - Sources de données.....	7
1.4.2.1 - Exposition passée.....	7
1.4.2.2 - Exposition future.....	7
2 - ANALYSE DE L'EXPOSITION	11
2.1 - Identification et caractérisation des aléas climatiques en situation actuelle.....	11
2.2 - Exposition passée et actuelle.....	12
2.2.1 - Températures	12
2.2.2 - Précipitations	14
2.2.3 - Inondations	19
2.2.3.1 - Inondations par débordement de cours d'eau	19
2.2.3.2 - Inondations par remontée de nappe.....	20
2.2.3.3 - Inondations de type crue torrentielle	20
2.2.4 - Tempête et vents violents.....	20
2.2.5 - Montée du niveau des mer et submersion marine	21
2.2.6 - Retrait/gonflement des argiles	21
2.2.7 - Mouvements de terrains hors RGA.....	22
2.2.8 - Feux de forêt	22
2.3 - Exposition future	24
2.3.1 - Projections climatiques – DRIAS	24
2.3.1.1 - Températures	24
2.3.1.2 - Précipitations	26
2.3.1.3 - Vents.....	27
2.3.1.4 - Feux de forêt.....	28
2.3.1.5 - Humidité des sols	28
2.3.2 - Projections climatiques – absentes de DRIAS	28
2.3.2.1 - Inondations	28
2.3.2.2 - Tempête et vents violents.....	29
2.3.2.3 - Montée du niveau de la mer et submersions.....	30
2.3.2.4 - Retrait/gonflement des argiles	36
2.3.2.5 - Mouvement de terrain hors retrait/gonflement des argiles	36
3 - ANALYSE DES VULNERABILITES DU PROJET	37
3.1 - Analyse cartographique des risques climatiques et évaluation de l'impact potentiel du changement climatique sur les risques naturels de la zone d'étude.....	37
3.1.1 - Analyse cartographique des risques climatiques en situation actuelle	37
3.1.2 - Évaluation de l'impact potentiel du changement climatique sur les risques naturels de la zone d'étude.....	40

3.2 - Vulnérabilité du projet et impacts des aléas climatiques en situation actuelle.....	40
3.2.1 - Sensibilité et vulnérabilité de l'infrastructure	40
3.2.2 - Cartographie de la vulnérabilité du tracé de BHNS aux aléas climatiques en situation actuelle	45
3.3 - Vulnérabilité du projet et impacts des aléas climatiques en situation future.....	47
3.4 - Prise en compte du changement climatique dans le projet de BHNS de Toulon.....	50
ANNEXES	51





1 - CONTEXTE

1.1 - Le projet

Le projet de BHNS vise à améliorer le confort et la qualité globale du réseau de transport en commun de la Métropole Toulon Provence Méditerranée (appelé réseau Mistral), afin de le rendre encore plus efficace et donc plus attractif. Pour cela, le niveau de service se veut être renforcé :

- Site propre sur plus de 70% de l'itinéraire
- Priorité aux feux et dans les carrefours
- Fréquence élevée : 7 minutes en période de pointe du matin / 8 minutes en période de pointe du soir / 13 minutes en période creuse
- Régularité renforcée
- Amplitude horaire élargie
- Véhicules propres au design et au confort de dernière génération
- Parfaite accessibilité pour les personnes à mobilité réduite
- Renforcement du service embarqué
- Information dynamique en station



FIGURE 1: PRINCIPE D'AMENAGEMENT DE STATION DU BHNS DE LA METRO-POLE DE TOULON PROVENCE MEDITERRANEE

Le tracé s'étendra sur environ 28 kilomètres, reliant la Seyne-sur-Mer et le Technopôle de la Mer d'Ollioules à l'ouest, aux gares de la Garde-centre et de la Pauline Hyères à l'est, en passant par les communes de Toulon et La Valette-du-Var.

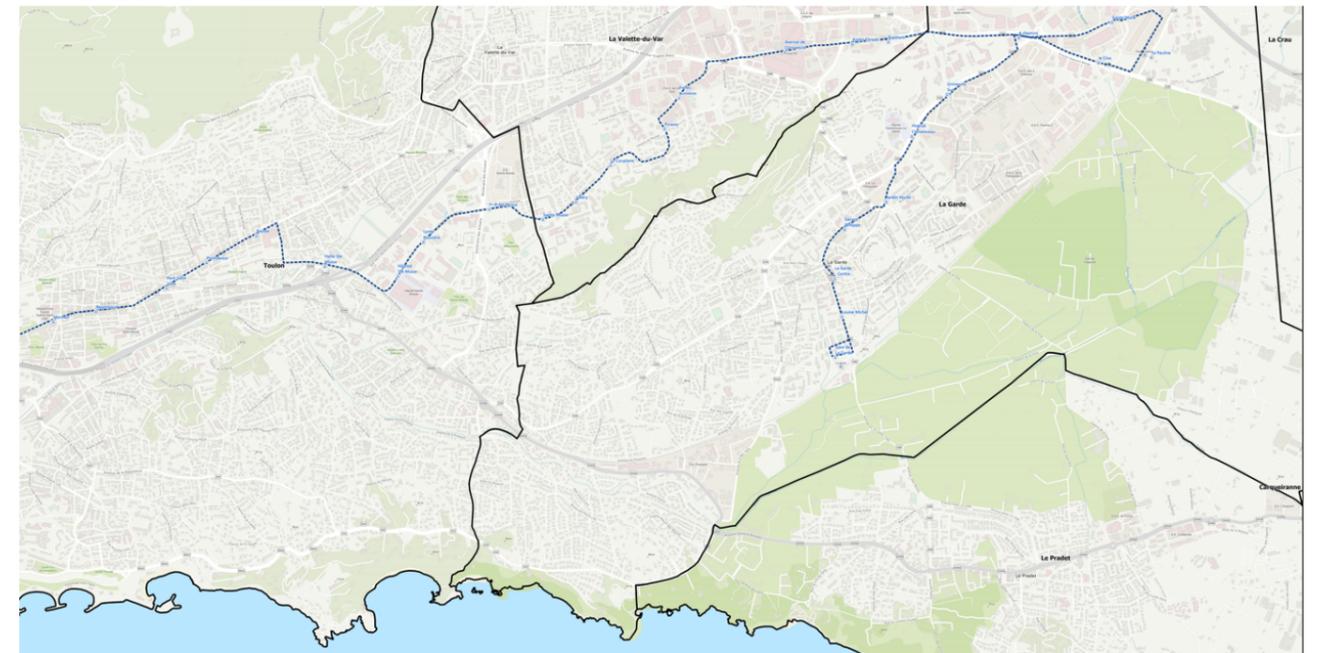
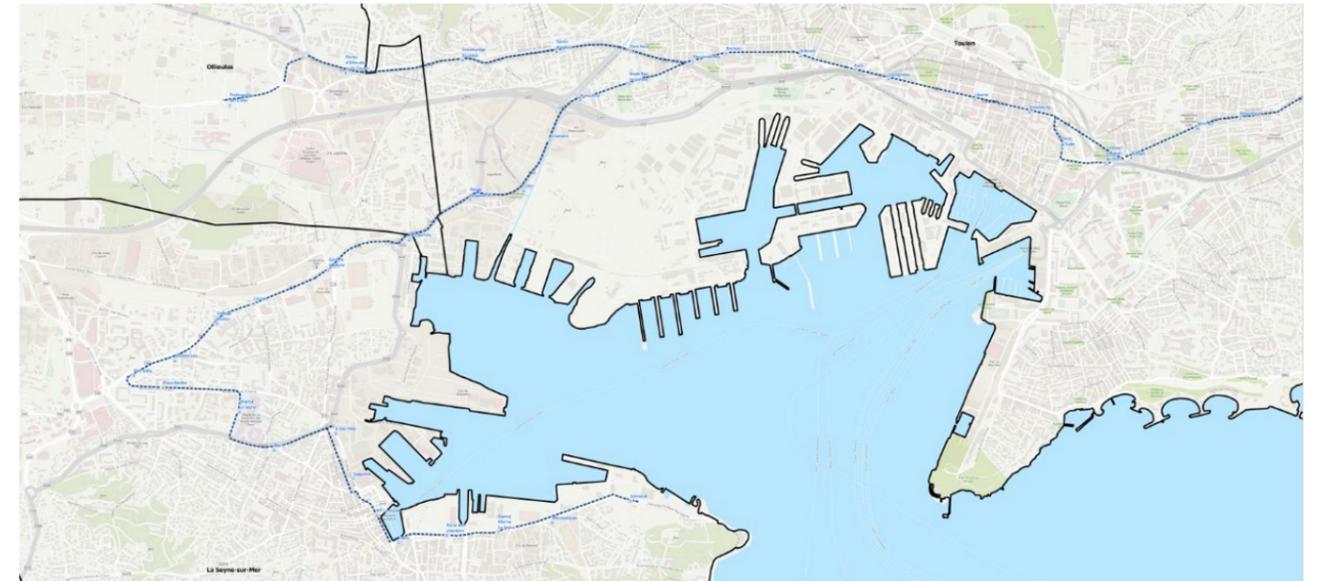


FIGURE 2: TRACÉ ENVISAGÉ DU PROJET DE BHNS DE LA METROPOLE DE TOULON PROVENCE MEDITERRANEE, EN HAUT L'OUEST DU TRACÉ ET EN BAS L'EST DU TRACÉ.

Le tracé est au contact de 5 gares et haltes ferroviaires, 5 Pôles d'Échanges Multimodaux (PEM), 6 Parcs Relais (P+R) et 2 sites de covoiturage.

La disposition des arrêts dépend de la densité urbaine et des montées et descentes des usagers. L'inter distance entre les arrêts est en moyenne de 480 m.

La largeur des quais est au minimum de 3,00 m pour permettre l'implantation des abris et le passage des personnes à mobilité réduite (PMR). La longueur des stations sera de 30 m minimum et de 40 m dans les secteurs où le BHNS partagera ses stations avec d'autres lignes de bus (grands boulevards notamment).

Les stations seront éclairées et équipées d'un Système d'Information Voyageur dynamique.

La sécurité sera assurée au moyen de la vidéosurveillance et d'une liaison phonique avec le poste de contrôle du réseau Mistral.

L'infrastructure projet s'appuie sur 9 km de voies en sites propres existantes.



1.2 - Objectifs de l'étude

Cette étude de vulnérabilité au changement climatique doit permettre de contribuer à la complétude de l'Étude d'Impact Environnementale (conformément à l'Article L122-1 du Code de l'Environnement) du projet de BHNS de la Métropole de Toulon Provence Méditerranée (TPM),

Elle doit permettre d'étudier les effets du changement climatique sur le projet, afin de les prévenir, assurer la sécurité des installations et optimiser les coûts de maintenance dès la conception.

Cette étude vise également à permettre aux équipes intervenant sur la gestion du réseau d'appréhender les enjeux en lien avec le changement climatique. Cet objectif a été poursuivi notamment avec l'appui de gestionnaires du réseau via l'intermédiaire d'entretiens, afin de valoriser leurs connaissances locales et compléter ainsi l'analyse réalisée par le bureau d'études EGIS.

La démarche mise en œuvre, repose sur deux types d'entrants :

- Une analyse bibliographique qui vise notamment à exploiter la cartographie des zones à risques climatiques traversées par le tracé (cartographie d'aléa, zones inondables, zones exposées à des remontées de nappe & ouvrages de traversée hydraulique, zones de forêts, zones exposées à des glissements de terrain). Cette analyse bibliographique repose également sur les documents de planification locaux, sur les bases de données de Météo France (dont DRIAS) et sur d'éventuelles bases de données TPM (recensement des incidents liés aux intempéries par exemple) ;

- Un travail d'expertise. L'expertise est indispensable pour produire une étude de vulnérabilité ancrée localement et des mesures d'adaptation pertinentes. À cet égard, si l'équipe mobilisée par le bureau d'études EGIS apporte la compétence technique liée à l'analyse de la vulnérabilité au changement climatique, elle ne pourra égaler celle des équipes du gestionnaire de l'infrastructure au niveau de la connaissance du contexte local et des composantes de l'infrastructure qui sont également mobilisés pendant le travail d'analyse. En effet, deux entretiens ont été réalisés le 22 décembre 2023 et le 12 janvier 2024 avec respectivement les Antennes de La Seyne-sur-Mer et de Toulon, et le Pôle Territorial Provence Métropole du département du Var.

1.3 - Contexte géographique du projet

La zone d'étude, par sa configuration géographique présente une sensibilité aux événements climatiques :

- Le climat méditerranéen implique des températures douces en hiver, et des étés chauds et secs, avec des vagues de chaleur et sécheresses selon les endroits. Les épisodes pluvieux extrêmes méditerranéens sont également présents. Sa proximité avec la mer Méditerranée implique également des menaces de submersions marines sur certaines zones lors de tempêtes et vents violents.
- La présence des cours d'eau sur la zone d'étude implique une exposition aux inondations.
- Le risque feu de forêt est également présent.
- Par la présence de ses falaises, la zone d'étude est sensible aux mouvements de terrain. Notamment à Toulon, en dehors du périmètre d'étude, sur le Faron ou sur les côtes à falaises, pouvant se traduire par des

glissements de terrain par rupture d'un versant instable, des écroulements et chutes de blocs et/ou des coulées boueuses et torrentielles.

Le tracé se trouve dans une zone qui est déjà exposée aux risques naturels en situation actuelle, il est donc crucial de prendre en compte l'évolution du climat dans la planification du territoire et des nouveaux projets afin d'assurer la résilience des ouvrages et leur exploitabilité à long terme.

1.4 - Approche méthodologique

1.4.1 - Définitions et notions générales

Il n'est pas toujours évident d'appréhender les notions associées au changement climatique. Des définitions des termes structurants de l'analyse sont rappelées ci-dessous.

1. **Aléa** : les aléas tels que considérés dans la méthodologie CEREMA¹ sont les événements climatiques exogènes aux systèmes de transports ainsi que leurs conséquences pour les territoires. Les aléas dépendent en partie² de variables climatiques (une ou la combinaison de plusieurs d'entre elles), qui sont caractérisées par une intensité, une probabilité d'occurrence spatiale et une probabilité d'occurrence temporelle. Dans la présente étude, ne sont considérés que les aléas climatiques extrêmes, non anticipables facilement, et localisés (ex : canicules, inondations, glissement de terrain, vents forts, incendies de forêt, épisodes de froid, etc.).
2. **Exposition** : Elle correspond à la susceptibilité d'un système à subir des dommages, c'est-à-dire au degré auquel il est exposé à un aléa. Elle se caractérise par l'analyse du climat passé et futur.
3. **Sensibilité** : Elle correspond au degré auquel un système est influencé par la variabilité du climat ou les changements climatiques. La sensibilité peut être physique et/ou fonctionnelle.
4. **Risque** : Il correspond aux conséquences des impacts potentiels de tendances ou d'événements climatiques sur un système. Le risque est le croisement entre la vulnérabilité physique de l'infrastructure et les aléas auxquels elle peut être soumise.
5. **Vulnérabilité** : Elle correspond à la propension ou prédisposition d'un système à subir des dommages. Elle englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité et l'incapacité à faire face et/ou à s'adapter.

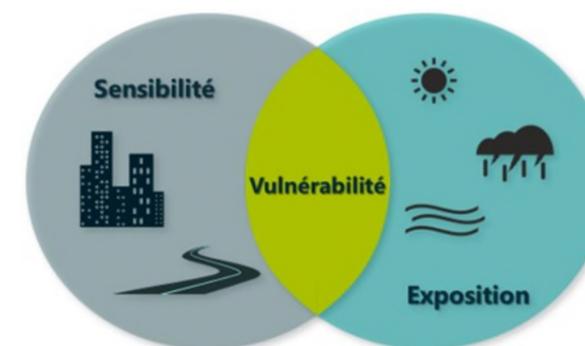


FIGURE 3: SCHEMA DE LA VULNERABILITE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE- SOURCE : EGIS

¹ CEREMA. Vulnérabilité et risques : les infrastructures de transport face au climat. Bron : CEREMA, 2019. Collection : Connaissance. ISBN : 978-2-37180-426-5

² Les aléas peuvent aussi dépendre de variables non climatiques tels que la topographie, l'élévation des océans, le couvert végétal, etc.

La vulnérabilité d'un réseau de transport en général (notamment bus à haut niveau de service) se décompose en deux types de vulnérabilité :

1. La vulnérabilité physique, qui est relative aux composants du système étudié et dépend des caractéristiques physiques des composants de l'infrastructure, de leurs résistances, de leur comportement, etc.
2. La vulnérabilité fonctionnelle, qui est relative aux capacités fonctionnelles du réseau étudié (besoins d'accès aux territoires, circulation des services d'urgence, transports liés à des besoins économiques, etc.), non étudiée ici.

La principale composante de la vulnérabilité est la sensibilité intrinsèque des composantes de l'infrastructure aux aléas climatiques, en d'autres termes leur capacité à être affectée par ces aléas.

La vulnérabilité englobe également souvent le critère d'exposition à l'aléa, c'est-à-dire que l'on peut avoir un aléa fort sur la zone d'étude, mais une faible exposition de l'infrastructure à cet aléa, comme le fait de se situer hors zone inondable.

Enfin, la capacité d'adaptation, en d'autres termes la capacité à faire face au changement climatique, est encore un autre paramètre pouvant être intégré à la vulnérabilité.

1.4.2 - Sources de données

1.4.2.1 - Exposition passée

Les éléments présentés dans le chapitre Analyse de l'exposition passée et actuelle, sont issus de plusieurs bases de données des événements climatiques passés :

- La base de données Météo France Climat HD³ qui répertorie le climat passé et le climat futur.
- La base de données Météo France Pluies Extrêmes⁴ qui répertorie les événements mémorables de pluies par département sur la période de 1766 à 2022. Chaque événement est caractérisé par un détail de l'épisode pluvieux et sa durée dans le temps. Les cumuls de pluies par zone y sont renseignés, et des photographies viennent illustrer les données présentées.
- La base des événements remarquables⁵, qui répertorie des événements climatiques majeurs ayant impacté le territoire métropolitain.
- La base de données des grands événements météo⁶ permet de répertorier les chroniques des moments les plus extrêmes sur le territoire métropolitain. Elle est corrélée à la base des événements remarquables et à celle des pluies extrêmes.
- Le site infoclimat⁷, pour les épisodes pluvieux et sur les aléas canicule, gel, chutes de neige et tempêtes et tornades.
- La base de données Prométhée⁸ a été consultée. Cette base de données des incendies des forêts méditerranéennes permet d'obtenir un aperçu de l'ensemble des incendies sur la zone d'étude depuis 1973.
- La base de données Géorisques a été consultée. Elle permet de connaître les risques majeurs et les précautions à prendre.

³ Source : <https://meteofrance.com/climathd>

⁴ Source : <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/-Evenements-memorables-.html>

⁵ Source : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/evenements-remarquables>

⁶ Source : <https://meteofrance.com/magazine/meteo-histoire/les-grands-evenements>

Projet de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) de la Métropole TPM

BHNSTPM_VOLET_H_PIECE H10D_Etude vuln CC_VAb.docx

1.4.2.2 - Exposition future

Les résultats des projections climatiques présentées dans le chapitre 2.3.1 sont issus du **site DRIAS**⁹, porté par le Ministère de la Transition Écologique.

1.4.2.2.1 - Utili-
sa-
tion
gé-
né-
rale
de
la
pla-
te-
for
me

■ Un besoin justifié

Le portail "*Drias les futurs du climat*" répond au besoin exprimé en 2010 par l'ensemble des acteurs nationaux concernés par le changement climatique de disposer aisément d'informations et d'accompagnement pour en étudier les impacts et décider de mesures d'adaptation à mettre en œuvre.

Ce service permet de simplifier l'accès et l'utilisation d'informations relatives aux projections climatiques régionalisées pertinentes pour le territoire de la France, et facilite ainsi le lien entre utilisateurs et chercheurs. Il contribue également à valoriser les travaux de recherche et d'harmoniser davantage les productions des groupes français de modélisation et de leurs homologues européens.

Ce service « *Drias les futurs du climat* » issu du projet Drias (**D**onner accès aux scénarios climatiques **R**égionalisés français pour l'**I**mpact et l'**A**daptation de nos **S**ociétés et environnement), co-financé par le programme *Gestion et Impact du Changement Climatique* (GICC) du *Ministère du Développement Durable* (aujourd'hui MTE), est un des éléments de la stratégie d'adaptation nationale. Sa création est une mesure du *Plan National d'Adaptation au Changement Climatique* (2011), et a été soutenue par le MTE, les laboratoires de modélisation climatique français et Météo-France. L'*Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique* (ONERC) a été étroitement associé à sa mise en place.

■ Diverses utilisations

Les informations climatiques mises à disposition sur le portail Drias les futurs du climat sont toutes issues des modèles climatiques régionaux développés ou utilisés dans les principaux centres de recherche français. Il s'agit de paramètres atmosphériques (températures, précipitations...) et indices dérivés (nombre de jours de gel, nombre de jours de vague de chaleur...). Le portail met à disposition également des indices plus intégrés issus de modèles d'impact (indice de sécheresse des sols, indicateurs sur le manteau neigeux). Ces informations sont mises à disposition sous différentes formes :

- Des données numériques, principalement destinées aux utilisateurs professionnels, sont disponibles dans l'espace "Données et Produits" du portail. Ces données sont pour la plupart corrigées par rapport à l'observation (cf. méthodes de correction). Une grande gamme d'indicateurs agrégés est également mis à disposition pour une sélection personnalisable.
- Des cartes interactives représentant des indices climatiques, associées à différentes couches d'informations géographiques (limites administratives, bassins versants, relief...), et permettant une capacité d'analyse immédiate. Ces cartes sont disponibles dans l'espace Découverte du portail sous le format png (Portable Network Graphics).
- Un accompagnement approprié (documents, FAQ, hotline) permettant de faciliter l'utilisation des différentes

⁷ <https://www.infoclimat.fr/historic/>

⁸ <https://www.promethee.com/>

⁹ Source : Drias Les futurs du climat – Projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés – site web : <http://www.drias-climat.fr/>

informations et de transmettre les bonnes pratiques, est associé à l'ensemble de ces informations. Un menu 'Diagnostic' permet aussi de disposer de nombreuses analyses de ces données, que ce soit pour le jeu DRIAS-2020 (rapport DRIAS-2020) ou les extrêmes (fiches du projet Extremoscope).

1.4.2.2.2 - Choix x des pa- ra- mèt res

■ Horizons et scénarios choisis

Le GIEC a proposé 4 scénarios de référence (RCP : *Representative Concentration Pathways ou Trajectoires Représentatives de Concentration*) qui décrivent l'évolution possible des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre. Ces scénarios s'appuient sur diverses hypothèses du développement économique futur et de ses conséquences sur l'environnement. Ils prennent en compte l'évolution de la population, l'économie, le développement industriel et agricole, et de façon assez simplifiée la chimie atmosphérique. Les scénarios retenus dans cette étude sont les suivants :

- RCP4.5 : Scénario avec stabilisation des émissions avant la fin du 21ème siècle à un niveau faible (scénario médian se traduisant par une augmentation de température de l'ordre de 2,5°C en 2100) ;
- RCP8.5 : On ne change rien. Les émissions de GES continuent d'augmenter au rythme actuel. C'est le scénario le plus pessimiste correspondant à une augmentation de température d'environ 5°C en 2100.

Les anciens scénarios A2 et B1 seront également retenus pour l'indicateur Indice Feu Météo (IFM). On retiendra en termes de comparaison entre les RCP et les anciens scénarios la correspondance suivante :

- Les RCP et les scénarios utilisés pour les Rapports 2001 et 2007 se recouvrent partiellement. Les RCP couvrent cependant une période plus longue : jusqu'à 2300 (2100 pour les anciens scénarios).
- Le profil RCP 8.5 est le plus extrême (pessimiste). Il est un peu plus fort que le scénario le plus marqué utilisé dans les simulations du rapport du GIEC 2007 (A2).
- Les profils RCP 6.0 et RCP 4.5 correspondent sensiblement et respectivement aux scénarios A1B et B1.

Par ailleurs, le bureau d'études EGIS travaille avec le quantile, outil statistique permettant de quantifier et de décrire la dispersion intermodèles. Les quantiles des indicateurs annuels (série temporelle) suivants ont été étudiés :

- Quantiles annuels Q50 médianes sur les 7 points :
 - Référence ;
 - RCP4.5 ;
 - RCP8.5
- Quantiles annuels Q05 sur 7 points :
 - Référence ;
 - RCP4.5 ;
 - RCP8.5.
- Quantiles annuels Q95 sur les 7 points :
 - Référence ;
 - RCP4.5 ;
 - RCP8.5.

Les aléas et scénarios d'impacts climatiques associés seront analysés pour la situation actuelle (période de référence), ainsi que par année jusqu'à 2100. Deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre seront considérés : RCP 4.5 (scénario médian) et RCP 8.5 (scénario le plus « pessimiste »).

Nos analyses se sont faites sur le nouveau portail DRIAS (nouveau jeu de données nommé DRIAS-2020), qui recense un nouveau jeu de données de référence composé des dernières simulations régionales à l'état de l'art des connaissances et également un enrichissement des indices climatiques, des produits relatifs aux incertitudes.

Ce nouveau jeu de données, a été produit à partir des simulations Euro-Cordex pour mieux couvrir la variabilité attendue des températures et précipitations en climat futur sur la Métropole.

Ce nouveau jeu de données est basé sur douze couples GCM/RCM, provenant de l'ensemble Euro-Cordex disponibles sur l'Europe à la résolution de 12 km et au pas de temps quotidien.

Les projections climatiques sont disponibles pour 3 scénarios d'émission :

- 12 projections selon le scénario RCP8.5,
- 10 pour le RCP4.5
- 8 pour le RCP2.6.

Les données sont projetées sur une grille de 8 km de résolution, et corrigées de leur biais par la méthode ADAMONT étendue sur la France (mise en œuvre par Météo-France) à partir de l'analyse de données d'observation SAFRAN (version > 2016).



■ Choix des points

Les 7 points sélectionnés sous DRIAS englobent la totalité du tracé et sont présentés sur la carte ci-dessus en rouge.

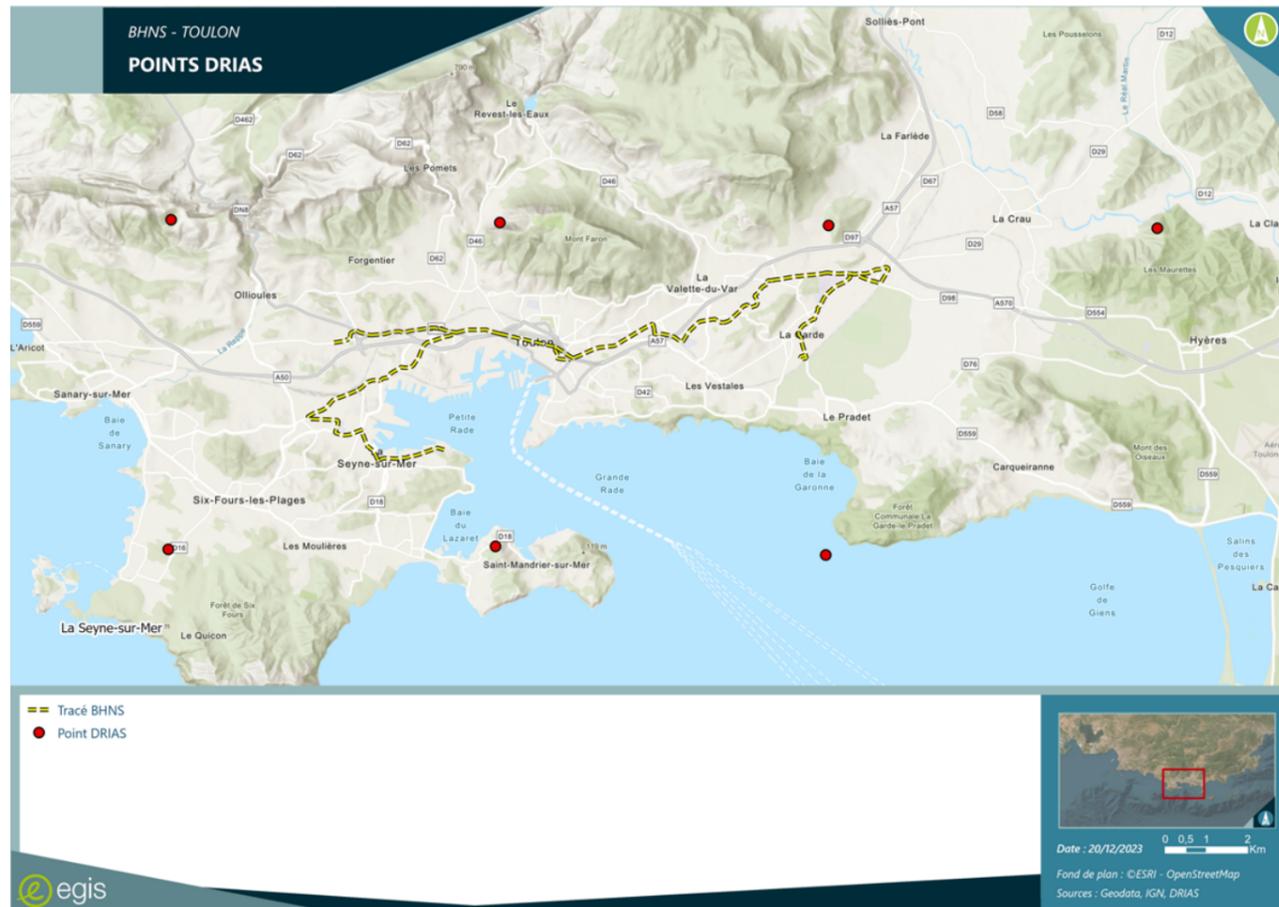


FIGURE 4: POINTS SELECTIONNES SOUS DRIAS

Ils correspondent aux coordonnées suivantes :

TABLEAU 1: POINTS SELECTIONNES SOUS DRIAS

Point	Latitude	Longitude
3249	43,0831	5,8186
3250	43,0799	5,9165
3251	43,0766	6,0145
3392	43,1549	5,8229
3393	43,1517	5,921
3394	43,1484	6,0191
3395	43,145	6,1171

■ Choix des indicateurs

À l'échelle du projet de BHNS de TPM, des indicateurs liés à la température, aux précipitations, au vent, aux feux de forêt et à la sécheresse des sols ont été choisis.



Ils sont précisés ci-après :

Indicateur	Description	Unité	Code DRIAS
Température			
Température moyenne journalière		°C	NORTAV
Nombre de jours de fortes chaleur (TX>35°C) (jour(s))	Nombre de jours de fortes chaleur (TXi>35°C) (jour(s))	jours	NORTX35
Nombre de jours d'une vague de froid	Nombre de jours où $TNi \leq TNri - 5^{\circ}C$ dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs ;	jours	NORTNCWD
Nombre de jours de gel		jours	NORTNFD
Extrême chaud de la température maximale journalière	Extrême chaud de la température maximale quotidienne [°C]: 90 ^{ème} centile des TXi ;	°C	NORTXQ90
Température minimale journalière		°C	NORTNAV
Température maximale journalière		°C	NORTXAV
Précipitations			
Précipitations journalières moyennes	Précipitations moyennes des jours pluvieux [mm/jour] : $RRM =$ Moyenne des précipitations des jours de pluie : $RRP = \frac{1}{N_w} \sum_{i=1}^N R Ri$ si $R Ri \geq 1$ mm/j ;	mm	NORPAV
Cumul de précipitations		mm	NORRR
Précipitation moyenne les jours pluvieux		mm	NORPINT
Précipitations extrêmes (Q99)		mm	NORPQ99
Nombre de jours de précipitations intenses (nombre de jours où on dépasse le Q99)		jours	NORRR99
Feux de forêt			
Indice Feux Météo (IFM)	Danger météorologique d'incendie au pas de temps quotidien en synthétisant le danger d'éclosion et le danger de propagation	/	IFM
Humidité des sols			

Indicateur	Description	Unité	Code DRIAS
Soil Witness Index (SWI)	Ratio entre le contenu en eau disponible d'une plante dans le sol un jour donné et sa valeur maximum.	/	SWI

L'Indice Feux Météo (IFM) : Cet indice caractérise, grâce à une valeur numérique, le danger météorologique d'incendie au pas de temps quotidien en synthétisant le danger d'éclosion et le danger de propagation. Le calcul de l'IFM s'appuie sur le calcul de différents sous-indices. L'état de la végétation est pris en compte par le biais d'une modélisation de son état grâce au suivi des conditions météorologiques durant toute l'année. Il n'y a pas de calibration différente en fonction du type de forêt. Plus la valeur de l'IFM est élevée, plus les conditions météorologiques sont propices aux incendies.¹⁰

Le Soil Witness Index (SWI) est le ratio entre le contenu en eau disponible d'une plante dans le sol un jour donné et sa valeur maximum. Il varie principalement entre les valeurs 0 (sol extrêmement sec) et 1 (sol extrêmement humide). En dessous de 0,5 un sol est considéré comme sec et au-dessus de 0,8 comme très humide.

■ Incertitudes

L'incertitude liée à la modélisation climatique est complexe mais sa prise en compte dans l'interprétation des résultats est absolument fondamentale. La représentation des incertitudes apparaît ainsi comme un élément clé pour la communication des résultats de projections climatiques et doit rester facilement interprétable par l'ensemble des publics concernés, qu'il soit issu de milieu scientifique ou pas.

Les principales sources d'incertitudes sont l'incertitude sur les modèles du climat (incertitude dite épistémique) et celle sur les scénarii (incertitude dite réflexive). Ainsi, une approche multi-modèles pour chaque scénario RCP sera utilisée. Cette approche permet de représenter la dispersion des modèles, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs que peut prendre un paramètre donné, comme par exemple la température ou les précipitations. Ce spectre de valeurs représente l'incertitude liée à l'outil de modélisation : un même paramètre simulé par plusieurs modèles pourra par exemple avoir des valeurs différentes.

Des outils statistiques simples permettent de quantifier et de décrire cette dispersion inter-modèles ; le plus courant d'entre eux est le quantile. Le quantile est un outil statistique permettant de décrire un ensemble de données (comme par exemple l'ensemble des valeurs d'un paramètre simulé par plusieurs modèles de climat) et notamment la répartition de cet ensemble. Les quantiles correspondent aux valeurs remarquables permettant de diviser le jeu de ces données ordonnées (i.e. triées) en intervalles consécutifs contenant le même nombre de données. Le bureau d'études EGIS utilise dans son analyse des projections climatiques le quantile Q50, valeur médiane. Cela correspond à la valeur seuil pour laquelle 50% des valeurs de la distribution sont plus élevées (la probabilité de dépasser la médiane est de 50%). Le bureau d'études EGIS utilise également le 5^{ème} centile (Q05) et le 95^{ème} centile (Q95) pour établir un intervalle de confiance des valeurs. Le 5^{ème} centile correspond à la valeur seuil pour laquelle 95% des valeurs de la distribution sont plus élevées (la probabilité de dépasser le 5^{ème} centile est de 95%). Le 95^{ème} centile correspond à la valeur seuil pour laquelle 5% des valeurs de la distribution sont plus élevées (la probabilité de dépasser le 95^{ème} centile est de 5%).

¹⁰ <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/188>

2 - ANALYSE DE L'EXPOSITION

Les évènements climatiques extrêmes ont comme conséquences de créer des désordres aux infrastructures de transport et d'empêcher leur bonne utilisation de manière partielle ou totale. Il convient de qualifier ces évènements en situation passée, actuelle et future.

2.1 - Identification et caractérisation des aléas climatiques en situation actuelle

Les aléas climatiques retenus dans cette section sont basés sur le dire d'experts (entretiens avec les gestionnaires comme indiqué au chapitre 1.2. – voir annexe 1). Le critère de sélection d'un aléa climatique est la possible occurrence de cet aléa, qu'il ait été observé ou non sur les axes routiers de la zone d'étude et/ou à proximité. Il convient de noter qu'aucune considération d'éventuels changements climatiques n'est prise en compte par les gestionnaires de réseaux à ce stade.

Le résultat des deux entretiens avec les gestionnaires sélectionnés est disponible ci-après.

TABLEAU 2: ALEAS CLIMATIQUES IDENTIFIES DANS LA ZONE D'ETUDE

Menaces (aléas) et conséquence		Paramètre climatique (indicateur)
Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible)	Inondation dû à un problème de drainage des eaux	Précipitations sur le bassin versant
	Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux	Précipitations sur le bassin versant
	Submersion marine	Vents violents et précipitations
Mouvements de terrain pouvant affecter la structure routière	Chute de pierres	Évènements pluvieux (longues périodes de pluie)
Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Visibilité réduite lors de fortes pluies	Évènements pluvieux (précipitations orageuses)
	Perte de contrôle des véhicules liée au vent	Vitesse de vent (coups de vent et rafales)
	Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	Sécheresse (jours secs consécutifs)
	Givre, verglas, neige	Gel, humidité/pluie
Perte d'intégrité de la structure routière	Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des ponts et des tunnels	Précipitations moyennes saisonnières et annuelles
Perte d'intégrité de la chaussée	Fissuration, orniérage, fatigue	Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur)
	Fonte de la couche roulante de la chaussée	Fortes chaleurs / vague de chaleur
Arbres tombant sur la route		Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes

Les aléas climatiques susceptibles de créer les impacts les plus forts sur les infrastructures routières de la zone d'étude en termes de coût de dommage et d'indisponibilité de l'infrastructure selon les gestionnaires de réseau interviewés sont par ordre d'importance décroissant les suivants :

- Niveau fort : inondations et submersion marine
- Niveau moyen : fissuration, orniérage et fatigue de la chaussée ; arbres tombant sur la route
- Niveau faible : tous les autres aléas sélectionnés.

Ces aléas climatiques seront caractérisés et étudiés via l'intermédiaire d'indicateurs climatiques. Le tableau ci-après



répertorie les menaces climatiques et conséquences associées au choix des indicateurs de l'étude.

TABLEAU 3: MENACES CLIMATIQUES ET CONSEQUENCES ASSOCIEES AU CHOIX DES INDICATEURS DE L'ETUDE

Menaces (aléas) et conséquences	Indicateur climatique
Précipitations sur la zone d'étude -> Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible)	Précipitations journalières moyennes Cumul des précipitations Précipitation moyenne les jours pluvieux Précipitations extrêmes (Q99) Nombre de jours de précipitations intenses
Évènements pluvieux de longue période -> Mouvements de terrain pouvant affecter la structure routière	Précipitations journalières moyennes Cumul de précipitations Précipitation moyenne les jours pluvieux Précipitations extrêmes Nombre de jours de précipitations intenses Indice moyen d'humidité des sols
Évènements pluvieux extrêmes + vitesse de vents + sécheresse consécutive + vents forts -> Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Indice moyen d'humidité des sols Précipitations extrêmes Nombre de jours de précipitations intenses Vents forts
Précipitations moyennes saisonnières et annuelles -> Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des ponts et des tunnels	Indicateur moyen d'humidité des sols Précipitations journalières moyennes Cumul des précipitations Précipitation moyenne les jours pluvieux
Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur) et cycles de gel/dégel -> Perte d'intégrité de la chaussée	Température moyenne journalière Température minimale journalière Température maximale journalière Nombre de jours de fortes chaleur (TX>35°C) (jour(s)) Extrême chaud de la température maximale journalière Nombre de jours de gel
Vents forts	Nombre de tempêtes Vitesse du vent fort (m/s)

2.2 - Exposition passée et actuelle

Ce chapitre vise à décrire via l'intermédiaire de données bibliographiques le climat passé et actuel sur la zone d'étude. Concernant les données climatiques, notre analyse se base sur la station météo de Marseille-Marignane étant la plus proche de notre zone d'étude. En outre, la station de Nice montre des données sensiblement équivalentes à la station de Marseille-Marignane. La station de Toulon-Hyères semble inexistante dans les données de DRIAS.



FIGURE 5: STATIONS ISSUES DE METEOPRANCE, CLIMAT HD

2.2.1 - Températures

D'après les données DRIAS, la température moyenne annuelle sur la période 1976-2005 au droit de la zone de projet était de 14.75°C (voir Figure ci-après).

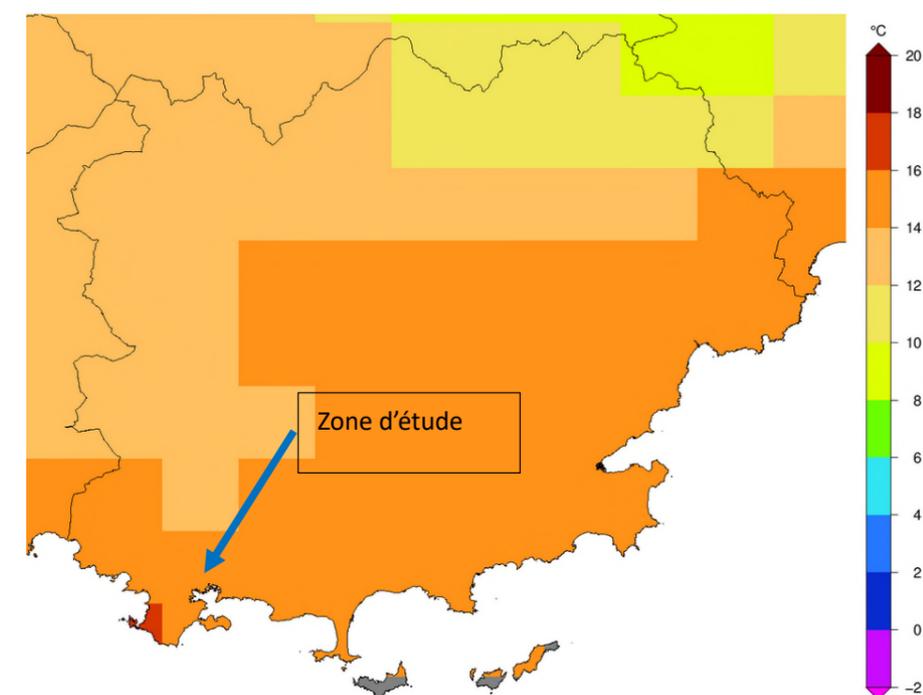


FIGURE 6: TEMPERATURE MOYENNE DANS LE VAR SUR LA PERIODE DE REFERENCE 1976-2005 – SOURCE : DRIAS

L'évolution des températures moyennes annuelles en Provence-Alpes-Côte d'Azur montre un net réchauffement depuis 1959. Sur la période 1959-2009, la tendance observée sur les températures moyennes annuelles est de +0,3 °C par décennie.

Les trois années les plus chaudes depuis 1959 en Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2018, 2019 et 2020, ont été observées au XXIe siècle comme le montre la Figure 7 ci-après.



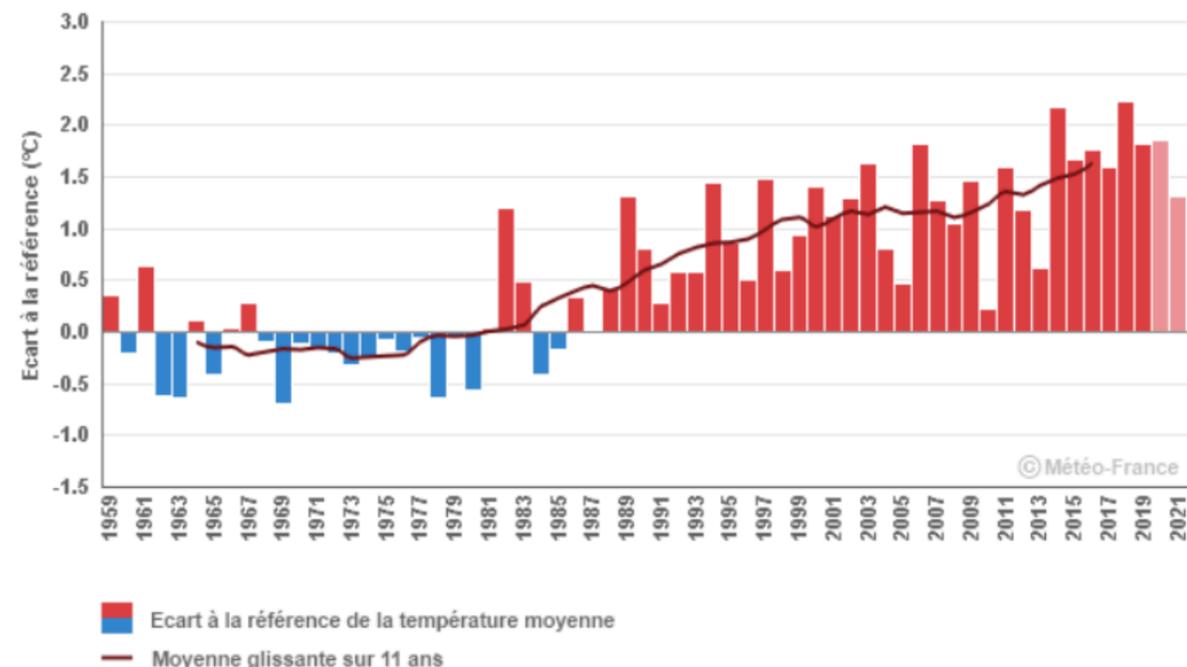


FIGURE 7 : TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE – ECART A LA REFERENCE 1961 – 1990 (STATION DE MARSEILLE – MARIGNANE)

En ce qui concerne les phénomènes des vagues de chaleur, celles recensées depuis 1947 en Provence-Alpes-Côte d’Azur ont été sensiblement plus nombreuses au cours des dernières décennies, comme le montre la Figure 8 ci-après. Cette évolution se matérialise aussi par l’occurrence d’événements plus longs ces dernières années.

La canicule observée du 2 au 24 août 2003 est la plus sévère survenue sur la région. Mais c’est durant l’épisode du 25 juin au 8 juillet 2019 qu’a été observée la journée la plus chaude depuis 1947.

Les vagues de froid recensées depuis 1947 en Provence-Alpes-Côte d’Azur ont été moins nombreuses au cours des dernières décennies. Cette évolution est encore plus marquée depuis le début du XXI^e siècle, les épisodes devenant progressivement moins intenses (indicateur de température) et moins sévères (taille des bulles). Ainsi, les trois vagues de froid les plus intenses et les trois les plus sévères se sont produites avant 2000. La vague de froid observée du 1er au 23 février 1956 est de loin la plus sévère survenue sur la région. C’est aussi durant cet épisode qu’a été observée la journée la plus froide depuis 1947, comme le montre la Figure 8 ci-après.

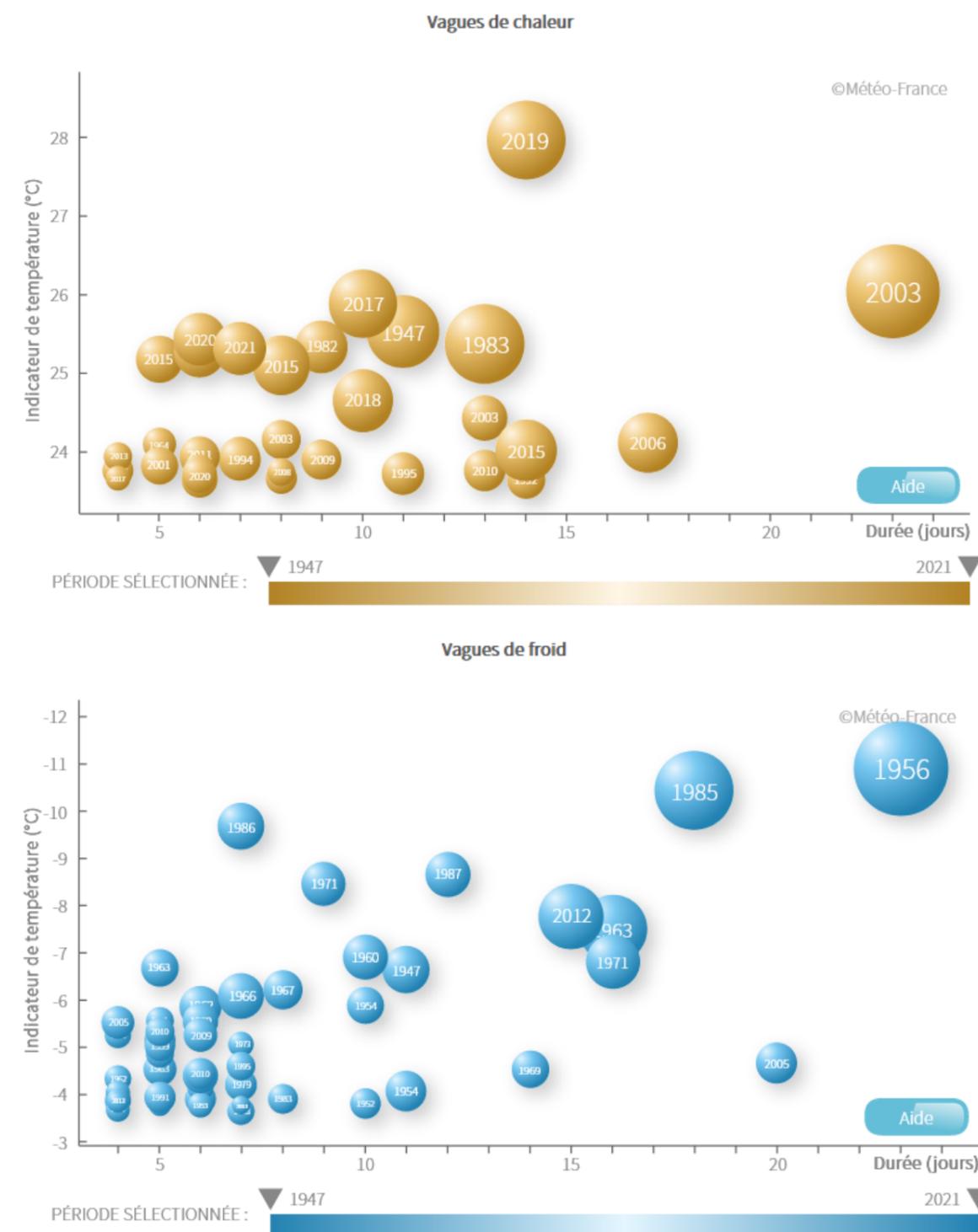


FIGURE 8 : VAGUES DE CHAUD ET VAGUES DE FROID OBSERVEES EN REGION PACA SUR LA PERIODE 1947 – 2021 – SOURCE : METEO FRANCE

Les principaux événements de vagues de chaleur et froid avec les valeurs observées les plus significatives sont recensés dans le tableau ci-dessous.

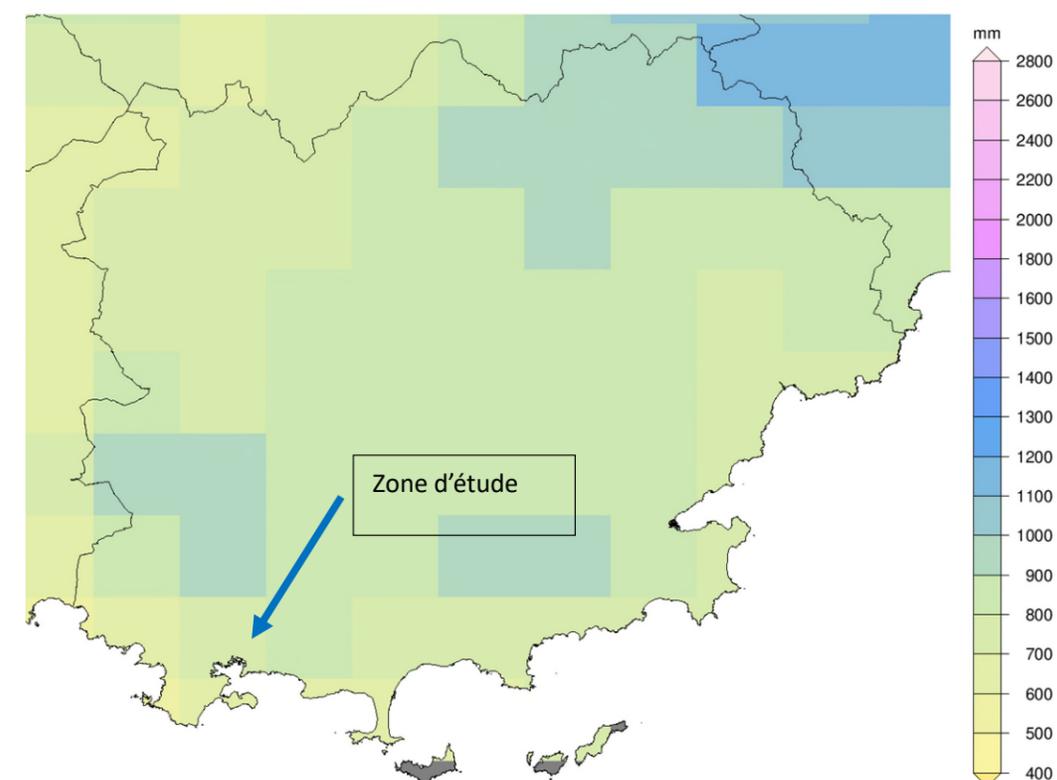
TABLEAU 4 : EVENEMENTS MAJEURS DE TEMPERATURES ANORMALEMENT CHAUDES OU FROIDES RECENSES À PROXIMITÉ ZONE D'ETUDE

Date évènement	Caractéristiques	Aléa associé	Caractéristiques
3 au 10/9/23	Canicule sur 8 jours consécutifs dans toute la France dont particulièrement en PACA	Fortes chaleurs	Cette canicule de fin d'été a conduit à des températures de 35,5 à Cogolin (+11,2°C par rapport aux « normales »), 32,3 au Castelet (+6,6°C par rapport aux « normales »),
15 au 24/10/23	Canicule sur 10 jours consécutifs dans toute la France dont particulièrement en PACA	Fortes chaleurs	Une advection d'air d'origine tropicale à partir du 16, puis la constitution d'un dôme de chaleur par la construction d'un anticyclone à partir du 19 sont à l'origine de cette épisode caniculaire. On reporte des températures de 39,9°C (+9°C) à Besse-sur-Issole, 42°C (+14,7°C) à Cogolin et 40,2°C (+9,3°C) au Luc.
20/12/22 au 2/1/23	Douceur inhabituelle pendant 10 jours sur toute la France	Températures hautes pour la saison	Des températures anormalement chaudes pour la saison sont enregistrées avec notamment 23,4°C à Cogolin (+10,4°C par rapport aux normales), ou encore 22°C aux Arcs (+9,1°C par rapport aux normales).
10 au 24/07/22	Canicule de deux semaines sur toute la France	Fortes chaleurs	Un pic de 35,6°C (+6,5°C) est notamment enregistré au Castelet.
De janvier à août 2022	Sécheresse mémorable de 8 mois	Sécheresse	Cet évènement de sécheresse, qui a touché toute la France, a été particulièrement marquant en raison de sa durée : environ 8 mois, de l'hiver à l'été 2022.
38/03/21 au 01/04/2021	Douceurs inhabituelles	Températures hautes pour la saison	On enregistre notamment 27,1°C à Cogolin, soit +12,8°C par rapport aux normales saisonnières.
Été 2020	Deux vagues de chaleur estivales suivies de grosses chaleurs	Fortes chaleurs	L'été 2020 a été marqué par plusieurs évènements de fortes chaleurs, en juillet et août avec des températures de plus de 40°C recensées et en septembre avec plus de 35°C, dont 35,2°C au Luc (+8,7°C).
Été 2019	Deux vagues de chaleur assez courtes (6 jours) mais d'une intensité record	Fortes chaleurs	Le nouveau record absolu de chaleur nationale a été battu avec 46°. Intensité de l'évènement comparable à l'épisode d'août 2003. Fin juin, la vigilance rouge canicule a été utilisée pour la première fois depuis sa création en 2004.
26/02 au 1/03/2018	Épisode neigeux dans le Sud-Est	Chutes de neige	20cm à Brignoles (83)
Août 2003	Canicule d'une durée, intensité et extension particulièrement importante	Fortes chaleurs	L'été 2003 est le plus chaud jamais observé depuis 1950. L'air très chaud et très sec en provenance du sud de la Méditerranée, près du sol comme en altitude. Les hautes pressions forment un obstacle au passage des perturbations orageuses, appelé « phénomène de blocage ».
02/2012	Vague de froid	Gel et neige	Des journées sans dégel ont été fréquentes dans la moitié sud. La neige a touché l'Est de la région et notamment dans le Var avec : 10/20 cm vers 300/500 m, 2 à 5 cm vers 200 m.

Date évènement	Caractéristiques	Aléa associé	Caractéristiques
18 au 22/11/1999	Froid inhabituel, gelées et chutes de neige précoces en région PACA	Gel et chutes de neige	Épisode neigeux exceptionnel du fait de sa précocité et des hauteurs de neige mesurées en Provence parfois très proche du littoral avec -5 à -10°C recensés sur le secteur.
3 et 4/03/1974	Froid inhabituel, gelées tardives, épisode neigeux et épisode neigeux tardif	Gel et chutes de neige	Un épisode neigeux exceptionnel concerne le sud-est de Pays avec parfois plus de 50 cm de neige en plaine.

2.2.2 - Précipitations

D'après les données DRIAS, le cumul de précipitations moyen annuel sur la période 1976-2005 au droit de la zone de projet était d'environ 810 mm.



Cumul de précipitations [mm]
pour le Jeu de données de référence
Période de Référence (1976-2005) - Moyenne annuelle
Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble

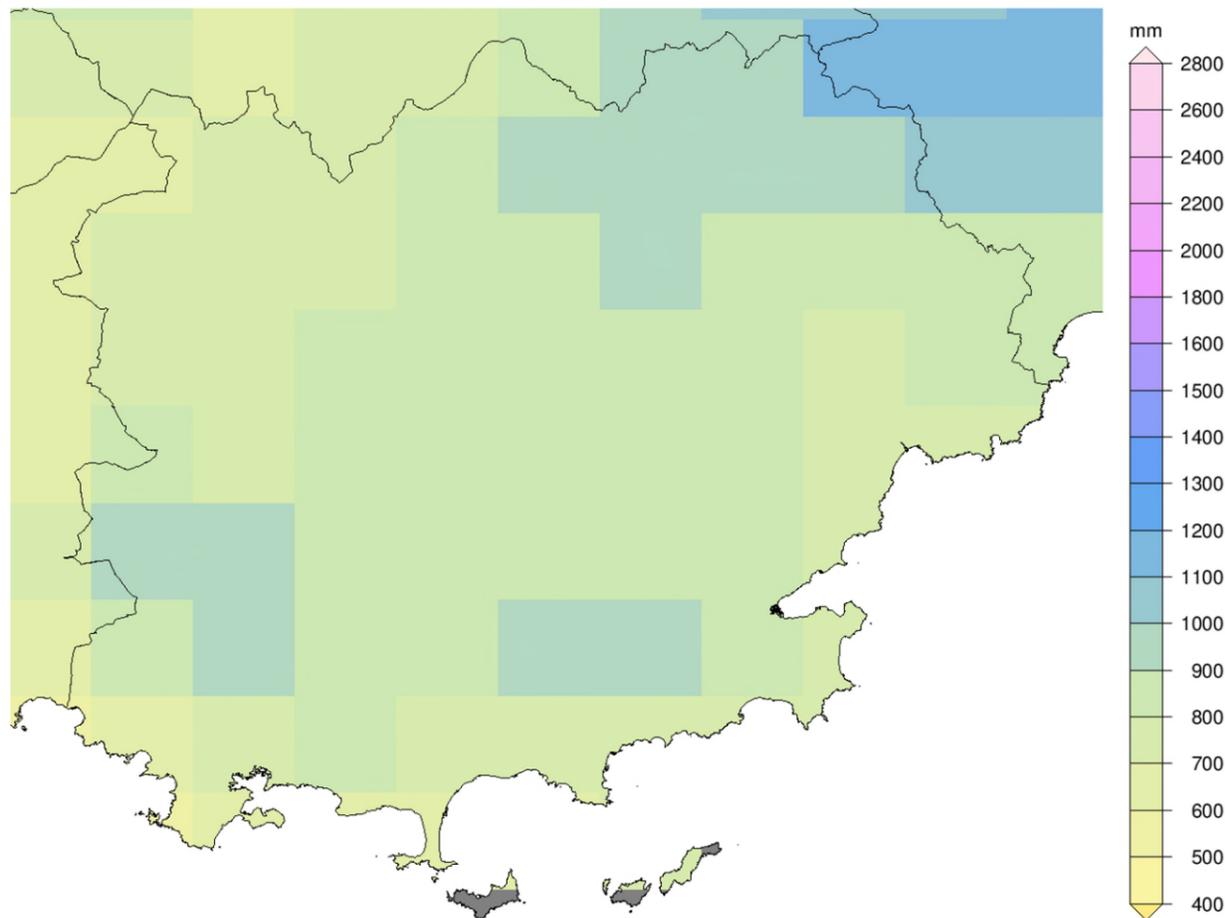


FIGURE 9 : CUMUL DES PRECIPITATIONS MOYEN ANNUEL DANS LE VAR SUR LA PERIODE DE REFERENCE 1976-2005 – SOURCE : DRIAS

En Provence-Alpes-Côte d’Azur, les précipitations annuelles présentent une légère baisse des cumuls depuis 1961. Elles sont également caractérisées par une grande variabilité d’une année sur l’autre comme le montre la Figure 10 et le Tableau 5 ci-dessous.

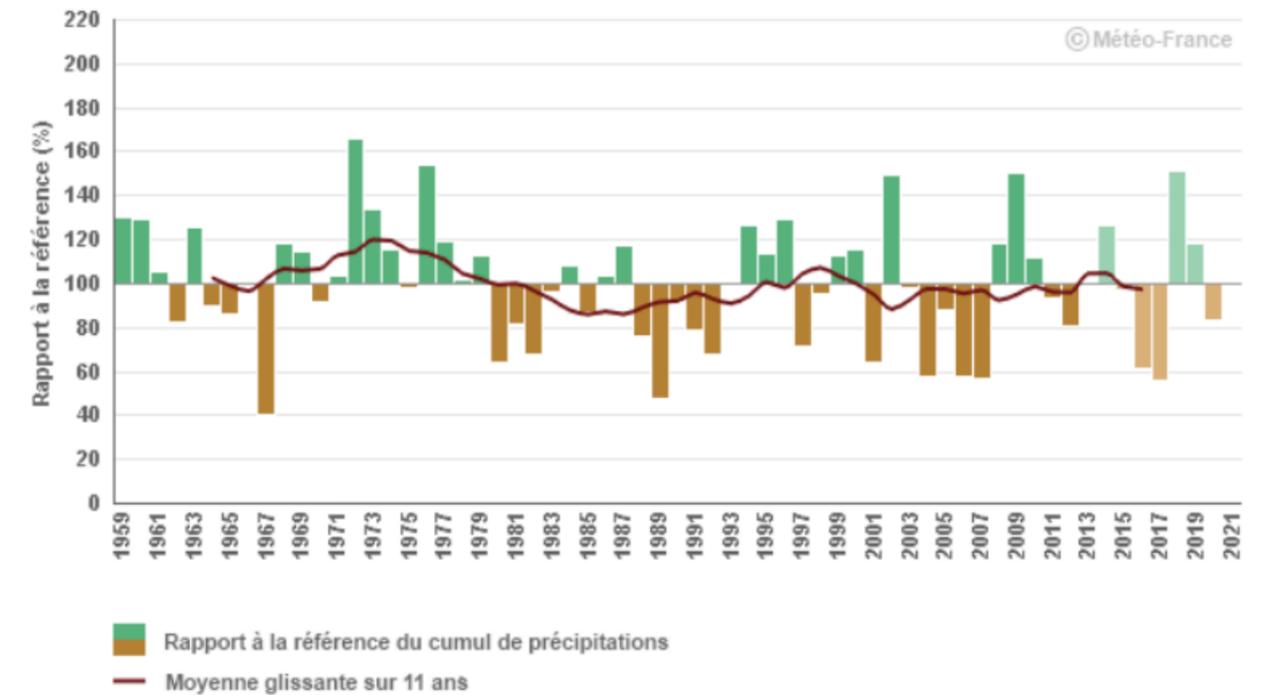


FIGURE 10 : CUMUL ANNUEL DE PRÉCIPITATIONS - ECART A LA REFERENCE 1961 – 1990 (STATION DE MARSEILLE – MARIGNANE)

Le tableau ci-après présente les principaux évènements de fortes pluies et inondations à proximité de la zone d’étude depuis 1940, avec ceux considérés comme majeurs (c’est-à-dire ayant marqué la mémoire collective) en bleu.



TABLEAU 5 : ÉVÈNEMENTS DE PRECIPITATIONS INTENSES ET INONDATIONS RECENSES A PROXIMITE DE LA ZONE D'ETUDE

Date évènement	Caractéristiques	Aléa associé	Caractéristiques
29 au 31/10/2021	Fortes précipitations sur les Cévennes et le Var.	Précipitations	Les pluies faibles à modérées ont débuté le 29 octobre 2021 au matin sur l'Espinouse en se décalant ensuite vers les Cévennes puis le nord du Gard, les plaines gardoises et l'est de l'Hérault. Les pluies se renforcent dans la nuit du 29 au 30 avec des intensités de 10 à localement 30 mm/h. En même temps, les 29 et 30 octobre des averses orageuses venant de la mer touchent le sud du var avec des intensités de 15 à 30 mm/h localement. De fortes rafales de vent sont observées sur le littoral dans la nuit du 30 au 31. Valeurs remarquables en les 29 et 30 octobre 2021 sur le Var : 108 mm à Méounes-les-Montrieux ; 94 mm à l'île du Levant (commune Hyères) ; 89 mm à Bormes-les-Mimosas.
3 et 4/10/2021	Des remontées pluvio-orageuses de Méditerranée affectent l'ensemble des départements de PACA et l'est de la Corse.	Pluies	Dans la nuit du 03 au 04 octobre 2021, dans la continuité d'un fort épisode cévenol, des remontées orageuses s'organisent sur PACA. Dans la journée, une ligne stationnaire se place sur le centre du Var et déverse plus de 250 mm sur le secteur de Brignoles. Dans le prolongement de ces forts orages, des pluies persistent toute la journée sur le reste de PACA et apportent 80 à 120 mm généralement. On relève des cumuls allant de 183 mm à Régusse (83) dont 119 mm en 3h, 61 mm en 1 h, 37 mm en 30 min à 88 mm à Comps et Draguignan (83).
24/08/2021	Orages violents sur le Var	Orages et grêle	Dans l'après-midi du 24 août 2021, des orages accompagnés localement de fortes pluies et de grêle éclatent sur les Bouches-du-Rhône et le Var. Les plus fortes pluies dépassant 50 mm en peu de temps se sont produites sur le secteur de Salon-de-Provence, l'est des Bouches-du-Rhône et l'ouest du Var. Mais localement, les cumuls de pluie ont été beaucoup plus importants notamment sur le secteur de Pignans dans le Var, où d'après les estimations radar, les cumuls de pluie ont dépassé 100 mm en 1 h accompagnés de forte grêle phénomène pouvant surestimer la valeur des précipitations. Ces précipitations, parfois très intenses, se sont abattues sur sols très secs (plus secs que la moyenne, notamment dans le Var), favorisant de forts et soudains écoulements. Par ailleurs, les fréquentes chutes de grêle ont pu localement renforcer les dégâts. De nombreux dégâts matériels ont été provoqués par cet épisode orageux.
2/10/2020	Suite à la tempête Alex qui a sévi sur l'ouest de la France, une perturbation avec des pluies diluviennes touche les Alpes-Maritimes, avec des fortes intensités également observées dans le Var.	Pluies et inondations	Le 2 octobre 2020, suite à la tempête Alex qui a sévi sur l'ouest de la France, une perturbation très pluvieuse s'enroule autour du minimum dépressionnaire et concerne une large moitié est de l'hexagone. Le flux de sud associé, chargé en air chaud et humide, provoque des pluies orageuses intenses dans les Alpes-Maritimes nécessitant la mise en place d'une vigilance rouge pluie-inondation. Les cumuls de pluie exceptionnels, sont suivis de crues dévastatrices. L'épisode moins virulent a touché aussi l'est du Var, avec des cumuls compris entre 50 à plus de 200 mm sur l'est du Var. Valeurs remarquables relevées le 2 octobre 2020 sur le Var : 228 mm à Mons ; 145 mm à Seillans ; 106 mm à Tanneron.
3 et 4/06/2020	Une évolution orageuse marquée touche la région Paca.	Orages	Le 3 juin en journée, les orages concernent l'ensemble de la région Paca. En seconde partie de nuit du 3 au 4 juin dans les remontées de sud, des orages accompagnés localement de forte pluie se forment sur les Bouches-du-Rhône, le Var, les Alpes-Maritimes et la Drôme donnant localement 60 à plus de 80 mm sur la Côte d'Azur. Hauteurs de précipitations remarquables : - Le 3 juin : 66 mm à Cuers (83) dont 53 mm en 2 h - Le 4 juin : 54 mm à Comps-sur-Artuby (83), 46 mm à Fréjus-Mt Vinaigre (83) dont 24 mm en 30 min - Cumul remarquables les 3 et 4 juin 2020 : 84 mm à Comps-sur-Artuby (83) et 81 mm à Cuers (83)
20/12/2019	Un épisode de fortes pluies touche à nouveau l'est de la région Paca et particulièrement le Var et les Alpes-Maritimes.	Pluies et inondations	Des pluies faibles débutent dans la nuit du 19 au 20 décembre 2019 puis s'intensifient en matinée du 20 touchant principalement le sud et l'est du Var, avec des intensités de 5 à 30 mm/h. Après une accalmie des averses se produisent à nouveau au matin et en soirée du 21 décembre donnant sur ce secteur 10 à 20 mm. Sur les 2 jours 20 et 21 décembre on relèvera 118 mm à Bargemon (83), 112 mm à Comps-sur-Artuby (83), et 106 mm à Seillans (83). Les épisodes de pluies successifs qui ont jalonné l'automne dans le sud-est de la France ont contribué à la hausse significative de l'indice d'humidité. Les sols sont proches de la saturation, ce qui ne permet plus l'absorption des pluies par le sol et provoque d'importantes crues et inondations.



Date évènement	Caractéristiques	Aléa associé	Caractéristiques
1/12/2019	Fortes précipitations	Pluies	Les pluies s'intensifient particulièrement sur le sud-ouest du Var avec de fortes intensités horaires de 30 à 45 mm. Pluies : Les Arcs : 93 mm / On déplore 5 victimes.
22 et 23/10/2019	Un épisode pluvio-orageux avec de fortes précipitations touche la région Sud-Est provoquant d'importantes inondations	Inondations	Sur la région PACA, les cumuls atteignent 50 à 130 mm, les plus forts cumuls se situant notamment entre-autre sur l'ouest du Var. Les hauteurs des précipitations recueillies sont 129 mm au Castellet dont 64 mm en 1 h et 116 mm à Toulon.
25 au 27/11/2014	Épisode méditerranéen de fortes pluies qui touche le Var.	Inondations	Sur les 4 jours on relève : 296 mm à Cogolin, 302 mm à Collobrières, 269 mm à Vidauban, 220 mm à Bormes-les-Mimosas, 201 mm à Hyères. Cet épisode de fortes pluies provoque d'importantes inondations et la disparition de 3 personnes
18/01/2014	De violents orages accompagnés de fortes précipitations s'abattent sur les Alpes-Maritimes et le Var où La-Londe-les-Maures et Hyères sont gravement touchées.	Inondations	Sur 2 jours, les plus forts cumuls se focalisent selon un axe sud/nord allant de La-Londe-les-Maures à Entrecasteaux : 80 à 120 mm, localement plus de 200 mm entre le bord de mer et La-Londe-les-Maures (204 mm à La-Londe-les-Maures, valeur estimée par la lame d'eau radar Antilope, 182 mm à Collobrières, 161 mm à Cabasse, 148 mm à Entrecasteaux). Ces intempéries ont provoqué la crue de l'Argens, du Réal-Collobrier, du Gapeau dans le Var. Le secteur de La Londe-les-Maures/Hyères a été le plus touché par les inondations, plus de 6000 foyers privés d'électricité et les dégâts sont considérables. On déplore 2 victimes.
25 et 26/12/2013	La tempête Dirk s'intensifie en Méditerranée et est accompagnée de violentes précipitations.	Pluies	L'est du Var et le nord de la Corse-du-sud n'ont pas été épargnés par les fortes précipitations. On relève sur les 2 jours 121 mm à Mons (83). Ces forts vents de sud-ouest, associés aux violentes pluies entraînent de nombreux dégâts, arbres déracinés, routes inondées et causent de nombreuses perturbations sur Nice.
29/07/2013	De violents orages accompagnés de pluies très intenses et de fortes rafales de vent touchent la région Paca.	Pluies	Au cours de cet épisode, qui a balayé la Provence d'ouest en est, les quantités de pluie n'ont pas été très importantes, mais les intensités ont été très fortes voire records (>10mm en 6min) Cet épisode a été accompagné de très violentes rafales de vent avec notamment 152 km/h à Vinon-sur-Verdon (83).
26/10/2012	De nombreux orages localement très intenses ont touché le Var et les Alpes-Maritimes.	Pluies	On relève sur l'est de la zone : 107 mm aux Arcs, 145 mm à Mandelieu. Sur le Var elles ont provoqué 2 victimes à la Garde, près de Toulon. La station météorologique de Toulon a relevé 37 mm dont 20 mm sont tombés en 1 heure. A La Garde, située à 10 km à l'est, les observations du radar permettent d'estimer un total de pluie de 65 mm tombés en 2 heures.
1 ^{er} au 6/11/2011	Accumulation d'épisodes de précipitations engendrant des inondations	Pluies intenses et inondation	Après deux épisodes d'intenses précipitations (24 et 25 octobre, 27 et 28 octobre), les régions Méditerranéennes de la France connaissent à nouveau un épisode pluvio-orageux mais cette fois-ci de grande ampleur géographique et d'une durée exceptionnelle (plus d'une semaine). Sur la région PACA les cumuls de pluies sont également exceptionnels notamment sur le Var avec des cumuls entre 350mm et 400 mm sur trois jours, soit l'équivalent de près de quatre mois de pluie. Au niveau des inondations c'est dans le Var que la situation est la plus préoccupante, de graves inondations touchant les secteurs de Brignoles mais surtout la plaine de l'Argens entre Roquebrune-sur-Argens et Fréjus.
15/06/2010	Précipitations exceptionnelles provoquant des ruissellement et débordement.	Inondations	C'est sur une zone réduite de l'intérieur varois, s'étendant de Saint-Tropez à Draguignan, que les précipitations ont été plus intenses. Les cumuls y ont généralement atteint 200 à 300 mm. Les valeurs maximales ont été observées près de Draguignan : aux Arcs : 397 mm en 24 heures, et à Lorgues (station CIRAME) : 460 mm, principalement tombés en seulement une douzaine d'heures. L'ouest du Var a également été touché : on a recueilli 172 mm sur l'aéroport de Hyères. Les ruissellements et débordements de rivières ont provoqué 23 victimes
15 au 19/09/2009	Le littoral provençal connaît une succession d'épisodes pluvieux, les plus spectaculaires se produisant sur la région d'Antibes et de Cannes (Alpes-Maritimes) et sur les secteurs de Cogolin, Sainte-Maxime, Fréjus et Grimaud (Var).	Pluies	Les cumuls en 24 heures n'atteignent pas 100 mm mais les intensités sont très fortes. On recueille jusqu'à 174 mm à Cogolin et 110 mm à Sainte-Maxime. Au total, en 5 jours, les cumuls de pluie ont dépassé 200 mm sur la côte varoise (240 mm à Cogolin). Une trombe marine a également été observée à Marseille.
8/10/2008	De fortes pluies se sont produites sur le Var provoquant des inondations notamment sur l'agglomération toulonnaise.	Inondations	Au total on recueille une centaine de millimètres sur les secteurs de Toulon, Hyères et Draguignan dont la majeure partie est tombée en 3 heures. Intensités remarquables sur le Var : La station automatique de Gonfaron a relevé 132 mm en 24 heures.



Date évènement	Caractéristiques	Aléa associé	Caractéristiques
24/09/2006	De fortes précipitations ont touché le sud-est de la France avec de fortes intensités sur la côte varoise.	Inondations	Dans la nuit du 24 au 25 des pluies très intenses se sont produites sur la région de Toulon causant de nombreuses inondations sur la ville. La station météorologique de Toulon a relevé 137,5 mm en 24 heures dont : - 83,2 mm en 1 h, - 61,4 mm en 30 min, - 40,8 mm en 15 min, - et 3 pointes de 14,4 mm, 16,6 et 17 en 6 min.
26 au 29/01/2006	Un important épisode pluvio-neigeux a concerné en particulier les régions du Sud-Est.	Pluies et Neige	Dans le même temps de fortes pluies se produisent en Provence. Sur le Var on mesure 250 mm à La Roquebrussanne. Les hauteurs de neige ont atteint en plaine, 5 à 10 cm en Provence
17/05/2005	Plusieurs cellules orageuses se sont développées sur Hyères avec des intensités remarquables.	Fortes pluies	Un aspect original de cet épisode réside dans la variation spatiale très importante des précipitations sur la commune de Hyères : à la station météorologique de la base aéronavale on relève un total de 97,2 mm, à seulement 2 km de là, la station automatique de Hyères-Plage mesure 188 mm. L'épisode a fait 1 victime.
23 au 25/08/1983	Le mois d'août 1983 a été exceptionnellement pluvieux sur le Var, principalement en 2ème quinzaine où se produisent de nombreux orages accompagnés de pluies très intenses.	Pluies	Les pluies les plus intenses se produisent principalement entre Lorgues et Fréjus et sur le Toulonnais. Il est tombé 144 mm au Luc-en-Provence et 160 mm à Bandol en 5 heures. En cumul sur les 2 jours on recueille 155 mm à La Seyne-sur-Mer et 260 mm à Bandol (qui totalise 339 mm en 7 jours du 23 au 29).
16/01/1978	Épisode de précipitations fortes et durables qui touche la Provence. Toutes les rivières du Var et des Bouches-du-Rhône connaissent des crues dévastatrices, notamment l'Arc à Aix-en-Provence et l'Huveaune à Marseille.	Inondations	Épisode de pluies très importantes en quantités puisque pour la seule journée du 16 les valeurs atteignent les 100 à 180 mm sur une grande aire géographique. Épisode assez long qui dure 7 jours consécutifs. Du 11 au 17 janvier, il pleut chaque jour, portant les totaux sur 7 jours à plus de 200 mm sur le Var (249 mm à Toulon, 289 mm à Hyères, 275 mm au Beausset). Sur l'Huveaune, traversant Marseille, la crue du 17 janvier 1978 est la plus forte observée depuis plusieurs décennies.
2/12/1959	Catastrophe du barrage de Malpasset suite à d'importantes pluies sur le secteur.	Inondations	Dans la nuit du 2 décembre 1959, le barrage de Malpasset, situé sur la rivière Reyran, à 10 km en amont de Fréjus (Var), se rompt. 50 millions de m3 d'eau se déversent sur la ville de Fréjus inondant plus de 3000 hectares. On dénombra plus de 400 victimes.
24 et 25/03/1956	De fortes précipitations se produisent sur le sud du département les 24 et 25 mars 1956 provoquant une crue catastrophique du Gapeau et de ses affluents.	Inondations	On a relevé en 5 jours 236 mm à Signes, 153 mm à Brignoles, 166 mm à Collobrières (83), Les fortes pluies tombent sur des sols déjà gorgés d'eau et entraînent une crue rapide du Gapeau et de ses affluents provoquant des inondations catastrophiques et des dégâts considérables sur le secteur de Hyères. Mars 1956 a été le mois de mars le plus pluvieux sur Toulon et Le-Cannet-des-Maures sur la période 1946-2013.
23 au 27/01/1946	Un épisode pluvieux intense et durable touche la Provence pendant 5 jours. Les inondations sont nombreuses sur la côte varoise où le Gapeau connaît une crue remarquable.	Fortes pluies	Relevés les 5 jours : Brignoles : 266 mm ; Hyères : 244,3 mm ; Plan d'Aups : 272 mm
26/09/1947	Une violente tempête touche la côte méditerranéenne. L'épisode pourrait être apparenté à un cyclone, tant les variations de pression ont été spectaculaires.	Tempête	Sur la côte varoise, les vents ont atteint en rafales 45 m/s à Toulon et 43 m/s au cap Camarat soit plus de 150 km/h. L'épisode a été accompagné de fortes pluies, supérieures à 100 mm le 25 sur le Var.



2.2.3 - Inondations

2.2.3.1 - Inondations par débordement de cours d'eau

Le tracé traverse plusieurs cours d'eau : le ruisseau de Faveyrolles, le Las, Le Régana et l'Eygoutier. La ligne est donc exposée aux crues. Les Plans de Prévention des Risques inondation (PPRi) su TRI de Toulon-Hyères sont utilisés pour évaluer les niveaux d'aléa.

L'aléa de référence est qualifié et représenté de manière cartographique, selon au maximum quatre niveaux : « faible », « modéré », « fort » et « très fort », en fonction de la hauteur d'eau ainsi que de la dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux. La vitesse d'écoulement et la vitesse de montée des eaux sont en effet des facteurs d'aggravation de l'aléa et doivent être pris en compte, notamment pour la sécurité des populations (possibilité d'évacuation).

Dans le cadre de l'élaboration ou de la révision des PPRi, les modalités de qualification des niveaux de l'aléa de référence sont synthétisées dans les graphiques ci-après. Selon les PPRi, l'aléa est caractérisé sur trois ou quatre niveaux, expliquant les deux échelles graphiques différentes présentées ci-après.

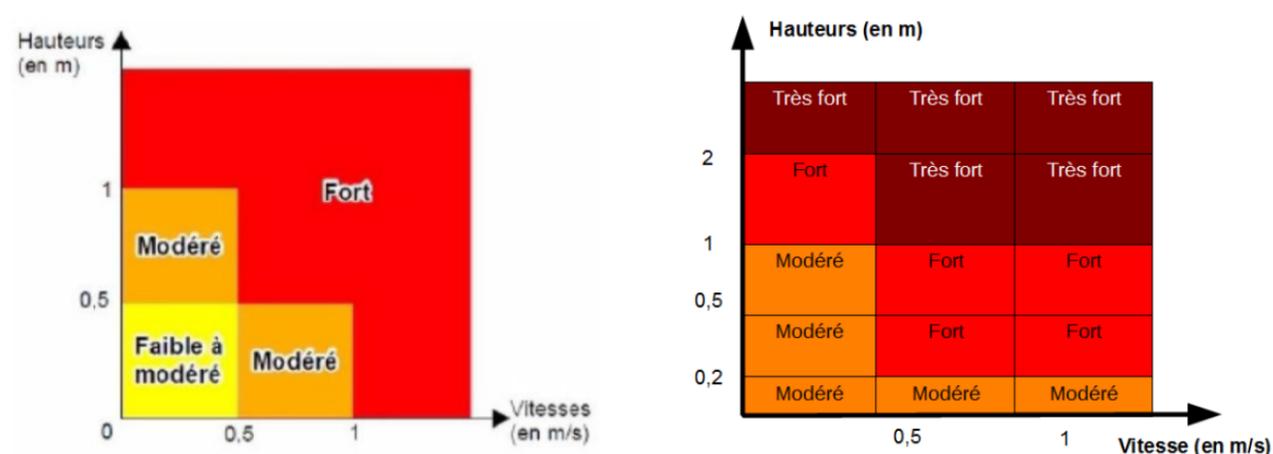


FIGURE 11 : CARACTERISATION DE L'ALEA EN FONCTION DE LA HAUTEUR ET DE LA DYNAMIQUE D'INONDATION

Notons que l'aléa de référence correspond généralement à une crue de période de retour centennale, voire plus rare. Les PPRi définissent les zones inondables sur le territoire communal et leur appliquent une réglementation, notamment vis-à-vis de la construction. Chaque PPRi prévoit un zonage réglementaire qui distingue trois principales zones :

- les zones rouges d'aléa fort où les nouvelles constructions sont interdites (zones inconstructibles) ;
- les zones bleues (zones urbanisées d'aléa modéré), où les nouvelles constructions sont autorisées sous réserve de respecter certaines prescriptions ;
- les zones blanches où aucune restriction n'est imposée (zones constructibles).

Après la tempête Xynthia (janvier 2010), deux types de zones ont été ajoutées :

- Zone noire, où le danger est considéré comme extrême et peut être mortel (aléa très fort).
- Zone jaune, où un risque existe mais il existe des possibilités de protéger les biens immobiliers qui y sont construits.

Ce zonage est représenté sur la figure ci-dessous. **On observe que le tracé traverse des zones de risques fort et moyen localement, le long des cours d'eau interceptant la zone d'étude.**

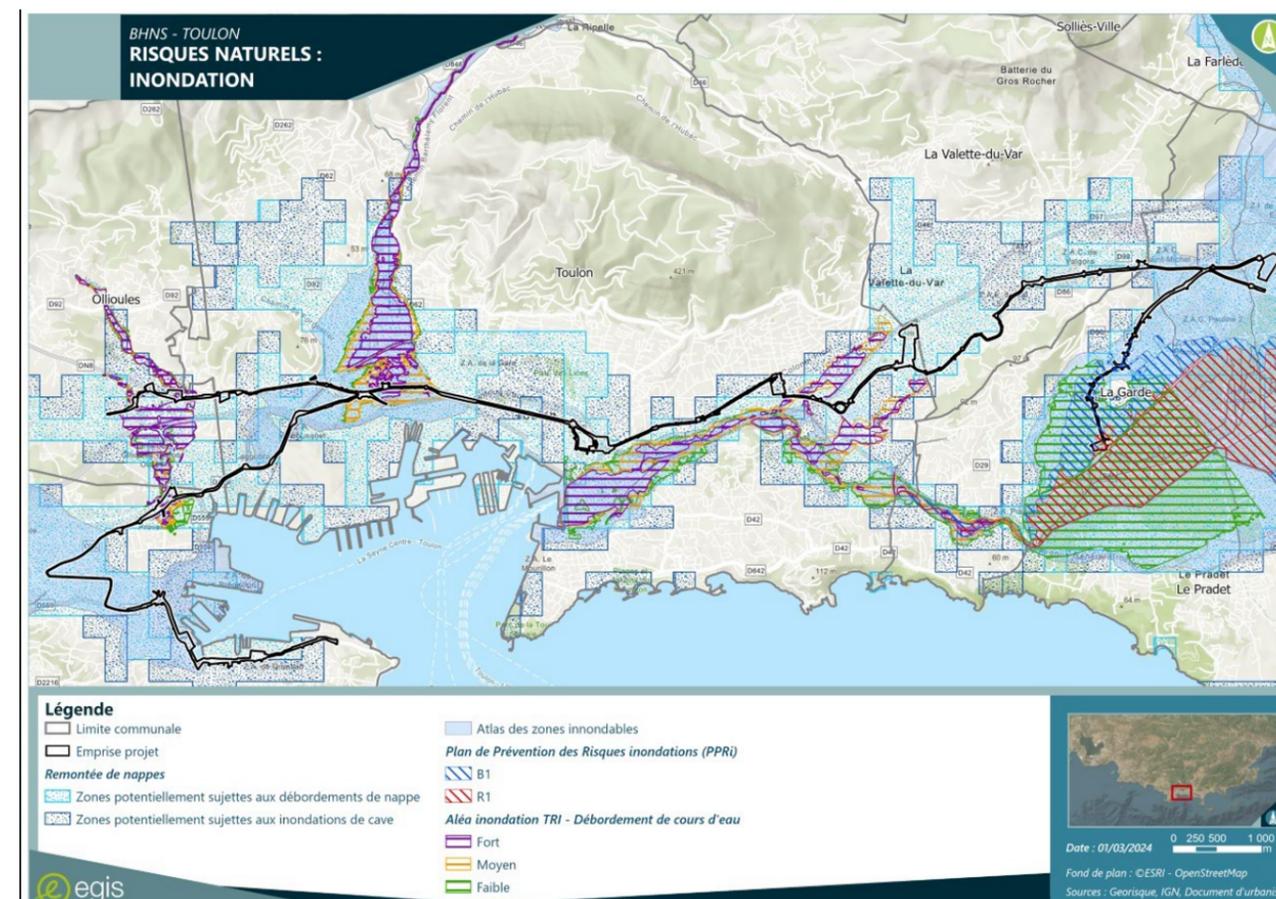


FIGURE 12 : REPRÉSENTATION DES RISQUES INONDATION PAR DEBOREMENT DE COURS D'EAU ET REMONTEE DE NAPPE SUR LA ZONE D'ETUDE EN SITUATION ACTUELLE, AVEC ATLAS DES ZONES INONDABLES - SOURCE : GEORISQUES

Météo France a étudié l'évolution et les tendances concernant les « épisodes méditerranéens ». Ces pluies intenses provoquent des inondations souvent rapides (crues éclairs). Les phénomènes orageux à leur origine se produisent la plupart du temps en automne, quand l'atmosphère commence à se refroidir alors que la mer est encore chaude. L'analyse des événements pluvieux extrêmes méditerranéens au cours des dernières décennies permet de dégager les tendances suivantes :

- intensification des fortes précipitations entre 1961 et 2015 : +22 % sur les maxima annuels de cumuls quotidiens, avec une variabilité interannuelle très forte, qui explique la forte incertitude (de +7 à +39 %) sur l'ampleur de cette intensification.
- augmentation de la fréquence des épisodes méditerranéens les plus forts, en particulier ceux dépassant le seuil de 200 mm en 24 h.

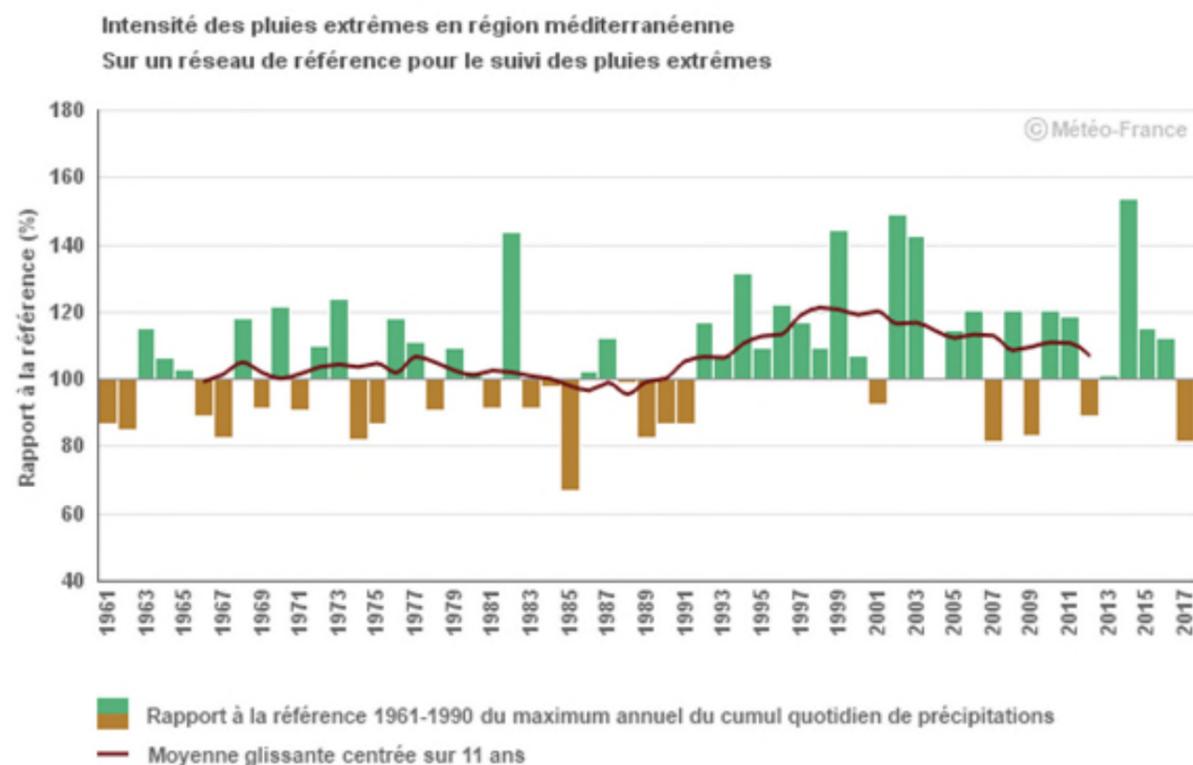


FIGURE 13 : ÉVOLUTION DES PLUIES EXTREMES EN ZONE MEDITERRANEENNE ENTRE 1961 ET 2017

2.2.3.2 - Inondations par remontée de nappe

Si des événements pluvieux exceptionnels surviennent et engendrent une recharge exceptionnelle, le niveau de la nappe peut atteindre la surface du sol et provoquer une inondation "par remontée de nappe". Les nappes dont la remontée est susceptible de provoquer des inondations sont :

- Les nappes phréatiques dites "libres" (qui ne sont pas séparées du sol par une couche de terrain imperméable) ;
- Dont la zone non saturée (couche de terrains contenant à la fois de l'eau et de l'air) est mince.

Trois paramètres sont particulièrement importants dans le déclenchement (et la durée) des inondations par remontée de nappes :

- Une suite d'années à pluviométrie excédentaire, entraînant des niveaux d'étiages de plus en plus élevés ;
- Une amplitude importante de battement annuel de la nappe, dépendant étroitement du pourcentage d'interstices de l'aquifère ;
- Un volume global important d'eau contenue dans la nappe.

La principale difficulté est qu'il est généralement difficile de distinguer l'inondation induite par la remontée de nappe de celle induite par la crue de la rivière ou par des épisodes pluvieux intenses.

En ce qui concerne l'impact de la remontée de nappe sur les infrastructures routières, par phénomène de sous-pression consécutive à l'invasion de l'eau dans le sol, les couches de granulats utilisées dans la fabrication des routes se trouvent désorganisées. Des tassements différentiels mènent à des désordres importants.

Les données disponibles sur le site Géorisques nous permettent d'observer les zones sujettes à débordement de nappe ou inondation de cave, comme le montre la Figure 12. **On observe qu'en situation actuelle tout le tracé est concerné par ce risque.**

2.2.3.3 - Inondations de type crue torrentielle

Il s'agit ici de traiter des aléas par débordement de cours d'eau intermittents ou à très faible débit, correspondant à des bassins versants (BV) de quelques kilomètres carrés. Sur ces petits BV, les temps de concentration des écoulements sont très courts et des orages de forte intensité sont susceptibles de donner lieu à des crues torrentielles (violentes et brusques), comme sur les petits cours d'eau de montagne.

Les crues torrentielles se caractérisent par une montée des eaux très rapide, un fort accroissement de la vitesse d'écoulement du cours d'eau et le transport d'éléments solides (sédiments, galets, rochers, bois morts etc).

Le département du Var est régulièrement soumis à inondation, sur des épisodes de précipitations très intenses comme ceux de 2010 ou la tempête Alex de 2020 les phénomènes de ruissellement s'additionnent aux inondations de cours d'eau.

2.2.4 - Tempête et vents violents

Le département du Var est touché par des vents forts, notamment les extrémités est et ouest méditerranéennes du département.

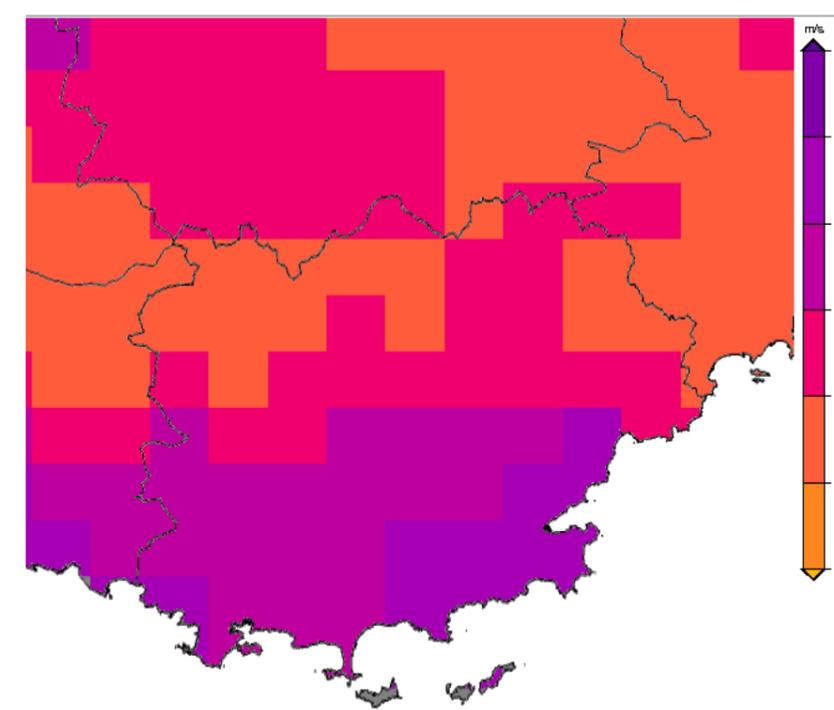


FIGURE 14: REPRESENTATION DU VENT FORT (M/S) POUR LA PERIODE DE REFERENCE 1976-2005, MOYENNE ANNUELLE ET PRODUIT MULTI-MODELES DE DRIAS-2020 (MEDIANE DE L'ENSEMBLE)

Le nombre de tempêtes ayant affecté la région Provence-Alpes-Côte d'Azur est très variable d'une année sur l'autre, comme le montre la Figure 15 ci-après. Pour rappel, les perturbations des latitudes tempérées dont le vent moyen atteint ou dépasse 89 km/h sur une période d'au moins 10 minutes sont qualifiées de tempêtes. Sur l'ensemble de la période 1980 - 2021, on n'observe pas de tendance significative du nombre de tempêtes affectant la région. **Toutefois, après une période peu riche en tempêtes dans les années 2000, le nombre de tempêtes est à la hausse au cours de la dernière décennie.**

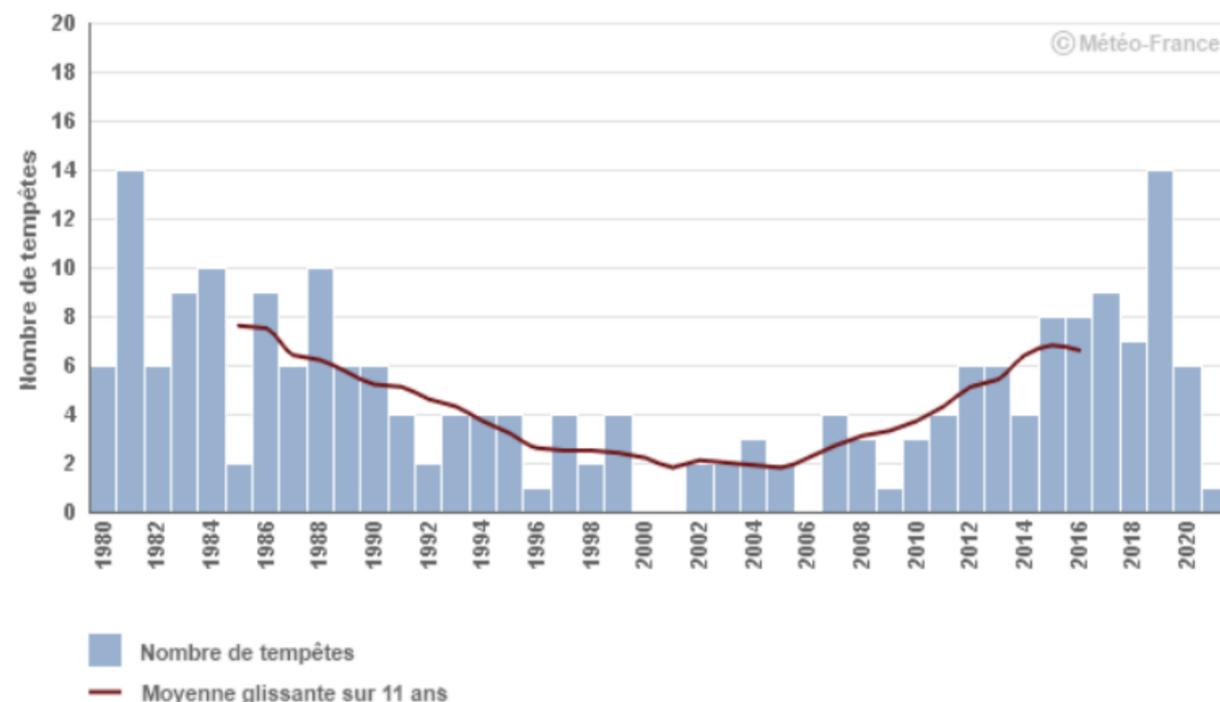


FIGURE 15 : NOMBRE DE TEMPÊTES RECENSÉES EN REGION PACA SUR LA PERIODE 1980 – 2021 (SOURCE : METEOFRANCE)

En plus des événements de ce type comme la tempête Alex de 2020 déjà recensés dans le Tableau 2, les événements suivants sont recensés sur la zone d'étude.

TABLEAU 6 : ÉVÈNEMENTS DE TYPE TEMPÊTES RECENSÉS A PROXIMITÉ DE LA ZONE D'ÉTUDE - SOURCE : INFOCLIMAT

Date évènement	Caractéristiques	Aléa associé	Caractéristiques
11/02/2020	Tempête Ciara	Vents violents	La tempête Ciara déchaîne ses vents les plus violents de la Côte d'Azur à la Corse, provoquant par endroit une envolée des thermomètres par effet de foehn.
19 au 27/09/2020	Tornades en PACA	Vents violents	Sur 8 jours du 19/09 au 27/09, 9 tornades confirmées ont notamment concerné les communes de Hyères, Le Pradet, Toulon.
06/03/2017	Tempête Zeus	Vents violents	Les territoires les plus touchés par des vents supérieurs à 120 km/h sont notamment en PACA avec 122 km/h à Fréjus, et 158 km/h à Cap Camarat.
4 au 6/03/2013	Tempêtes / coup de vent associé à un épisode pluvieux	Vents violents	156km/h à Porquerolles, 133km/h au Bec de l'Aigle.

2.2.5 - Montée du niveau des mer et submersion marine

La montée du niveau marin est le fruit du réchauffement climatique, au travers de l'effet de dilatation des masses océaniques et de fonte des calottes glaciaires. Cet aléa est ici associé aux submersions temporaires liées aux ondes

de tempête, les deux aléas se cumulant, en gardant toutefois à l'esprit que l'un est permanent et l'autre temporaire.

■ Montée du niveau de la mer

Le niveau de la mer en Méditerranée a augmenté en moyenne de 0,7 mm par an entre 1945 et 2000 et de 1,1 mm par an entre 1970 et 2006. **On constate une accélération de l'élévation du niveau marin ces deux dernières décennies atteignant environ 3 mm par an** (rapport Medec, 2020).

■ Submersion marines

Le port de La Seyne-sur-Mer connaît des débordements réguliers dû en majorité à un problème du système de drainage insuffisant dans les rues de la ville. En cas de fortes pluies, et d'accumulation rapide de l'eau, il arrive souvent que des débordements aient lieu au niveau du port

2.2.6 - Retrait/gonflement des argiles

Un matériau argileux voit sa consistance se modifier en fonction de sa teneur en eau. Il est dur et cassant lorsqu'il est desséché, et au contraire, il devient plastique et malléable à partir d'un certain niveau d'humidité. On sait moins en revanche que ces modifications de consistance s'accompagnent de variations de volume, dont l'amplitude peut être parfois spectaculaire.

C'est le cas pour les terrains argileux superficiels, qui peuvent voir leur volume varier à la suite d'une modification de leur teneur en eau, en lien avec les conditions météorologiques. Ils se « rétractent » lors des périodes de sécheresse (phénomène de « retrait ») et gonflent au retour des pluies lorsqu'ils sont de nouveau hydratés (phénomène de « gonflement »). Ces variations sont lentes, mais elles peuvent atteindre une amplitude assez importante pour endommager les bâtiments ou infrastructures localisés sur ces terrains.

Les phénomènes climatiques exceptionnels sont le principal facteur de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. En effet, l'amplitude des variations de volume d'un sol argileux « gonflant » augmente avec l'importance de la variation de la teneur en eau du sol. Ainsi, la succession d'une période fortement arrosée et d'une période de déficit pluviométrique constitue un facteur de déclenchement majeur.

En climat tempéré, les épisodes de sécheresse, caractérisés par des températures élevées, un déficit pluviométrique et une très forte évapotranspiration, ont pour répercussion immédiate d'assécher les sols argileux et donc de provoquer un phénomène de retrait provoquant des dégâts plus ou moins sérieux sur les infrastructures.

Dans le Var, 45 communes sur les 153 que compte le département ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle entre 1989 et 2007. Il est à noter enfin que 2 882 sinistres attribués au retrait-gonflement ont été recensés dans le Var, à l'occasion de la cartographie d'aléa réalisée par le BRGM en 2005-2007¹¹.

Une cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles a été établie sur l'ensemble du territoire national. L'aléa est classé en trois catégories : faible, moyen, fort.

Les formations argileuses couvrent près de 75 % de la surface de Toulon totale. L'ensemble de l'aire d'étude se situe dans un secteur où sont recensées des formations argileuses et marneuses.

Le risque de mouvements de terrain différentiels consécutifs au retrait et au gonflement des argiles est présent sur la zone d'étude. La majorité de la zone d'étude se situe en zone d'aléa moyen. Deux secteurs localisés sont situés en zone d'aléa RGA fort au niveau de la limite de commune entre Toulon et Ollioules, comme indiqué sur la figure ci-dessous.

¹¹ Source : Porter à connaissance communal. Retrait-gonflement des sols argileux. Commune de Toulon. Edition 2008, mise à jour mars 2011

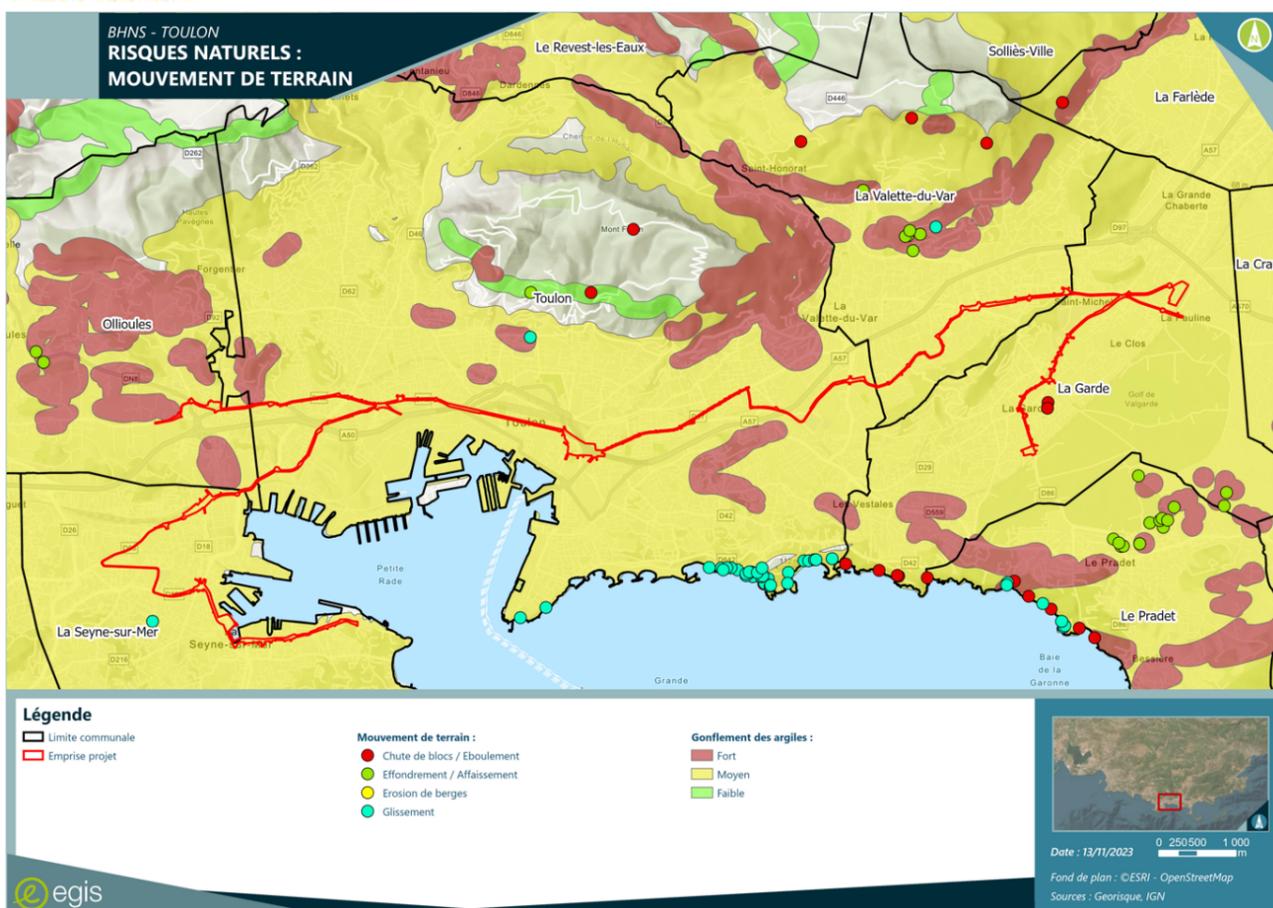


FIGURE 16 : LOCALISATION DES ZONES D'ALEA MOUVEMENTS DE TERRAIN ET RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES SUR LA ZONE D'ETUDE – SOURCE : GEORISQUES

2.2.7 - Mouvements de terrains hors RGA

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origines très diverses. Il en survient chaque année, d'importance et de nature très variés (glissements de terrain, éboulements, effondrements, coulées de boue...). La nature des mécanismes des phénomènes à étudier, leur diversité, leur dispersion dans l'espace et dans le temps, les conditions de leur occurrence forment un ensemble de facteurs qui rendent complexe une analyse dans sa globalité.

Les mouvements de terrain recouvrent des formes très diverses. Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles de mouvements de terrains peuvent être distingués :

- les mouvements lents, qui entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'humain. Ils regroupent principalement les affaissements, les tassements, les glissements ;
- les mouvements rapides, qui surviennent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements et les coulées boueuses.

Les cavités souterraines peuvent être rattachées à la problématique des mouvements de terrain. Qu'elles soient d'origine naturelle (creusées par l'eau en milieu soluble), ou anthropique (marnières, tunnels...), les cavités souterraines peuvent affecter la stabilité des sols.

Ces différents types de mouvement de terrain peuvent affecter une infrastructure routière. Les précipitations, notamment celles de longue durée, susceptibles d'imbiber et de saturer les sols, sont un des principaux facteurs déclenchants des mouvements de terrain. D'un autre côté, les précipitations orageuses peuvent également contribuer à l'affaissement de cavités souterraines

Un inventaire des mouvements de terrain et cavités souterraines a été établi sur l'ensemble du territoire national par

le BRGM. Comme ces phénomènes sont très localisés, ils sont cartographiés sous la forme de pictogrammes représentant le type de mouvement de terrain. Certaines communes ont fait l'objet de PPRN mouvement de terrain. Ces éléments sont présentés sur la figure précédente : figure 15.

Aucun évènement de mouvement de terrain n'est répertorié directement sur le tracé. On peut néanmoins signaler un glissement à proximité de la zone d'étude à la Seyne-sur-Mer et des chutes de blocs rocheux à La Garde.

2.2.8 - Feux de forêt

Depuis le milieu du XIXème siècle, la surface de la forêt s'accroît en France. Si elle occupait 9 millions d'hectares en 1850, elle occupe 15.5 millions d'hectares en 2010. Cette situation correspond notamment à l'utilisation d'énergies alternatives en remplacement du bois depuis le début de la révolution industrielle. Depuis la seconde Guerre Mondiale, le soutien apporté aux boisements à vocations de production à renforcer cette tendance. Ces vingt dernières années, la surface forestière a ainsi continué à s'accroître spontanément, et en particulier dans le Sud-Est de la France.

L'espace forestier potentiellement vulnérable occupe ainsi 1/3 du territoire national. L'extension de la superficie forestière connue par le sud-Est de la France s'inscrit dans une tendance générale de l'arc méditerranéen. L'essentiel des boisements y concerne des terres délaissées par le pastoralisme et l'agriculture.

Pour se focaliser sur l'impact de l'évolution climatique sur les incendies et éliminer les facteurs liés à l'activité humaine (incendies criminels ou moyens de lutte en constante amélioration), les chercheurs utilisent sur un indice représentatif du danger météorologique associé aux feux de forêts : l'indice forêt météo (IFM). Cet indice permet d'estimer le danger météorologique de feux de forêts en tenant compte de la probabilité de son éclosion et de son potentiel de propagation. De nombreuses études ont montré une corrélation claire entre l'IFM moyen et le nombre de départs de feu. La valeur moyenne de l'IFM a augmenté de 18 % entre la période 1961-1980 et la période 1989-2008.

Les chercheurs de Météo-France ont ensuite croisé ce danger météorologique de feux avec les cartographies de vulnérabilités aux feux de forêts des principaux peuplements forestiers, établies par l'Office national des forêts (ONF) et l'Inventaire forestier national (IFN). Des cartes de sensibilité potentielle aux incendies de forêts estivaux aux horizons actuel ont ainsi été établies. La cartographie réalisée pour la période de référence 1989-2008 est présentée ci-après. On peut voir que le pourtour de la rade de Toulon est en dehors de ce zonage, ce qui s'explique probablement par la caractéristique très urbanisée de la zone d'étude.

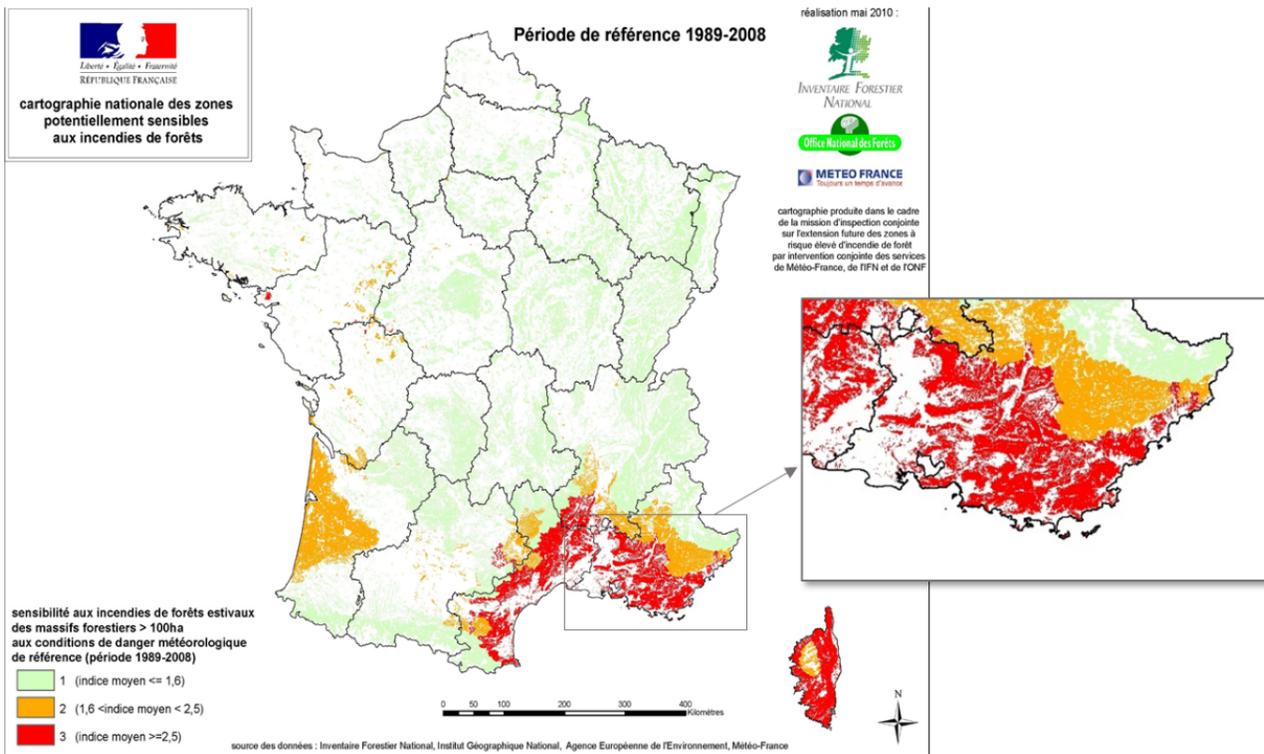


FIGURE 17 : CARTOGRAPHIE NATIONALE DES ZONES POTENTIELLEMENT SENSIBLES AUX INCENDIES DE FORETS

L'aléa incendie de forêt est également disponible pour les communes d'Ollioules et de Toulon.

Le tracé sur les communes d'Ollioules et de Toulon passe sur des zones d'aléas faibles à très faibles (voir figures ci-après).

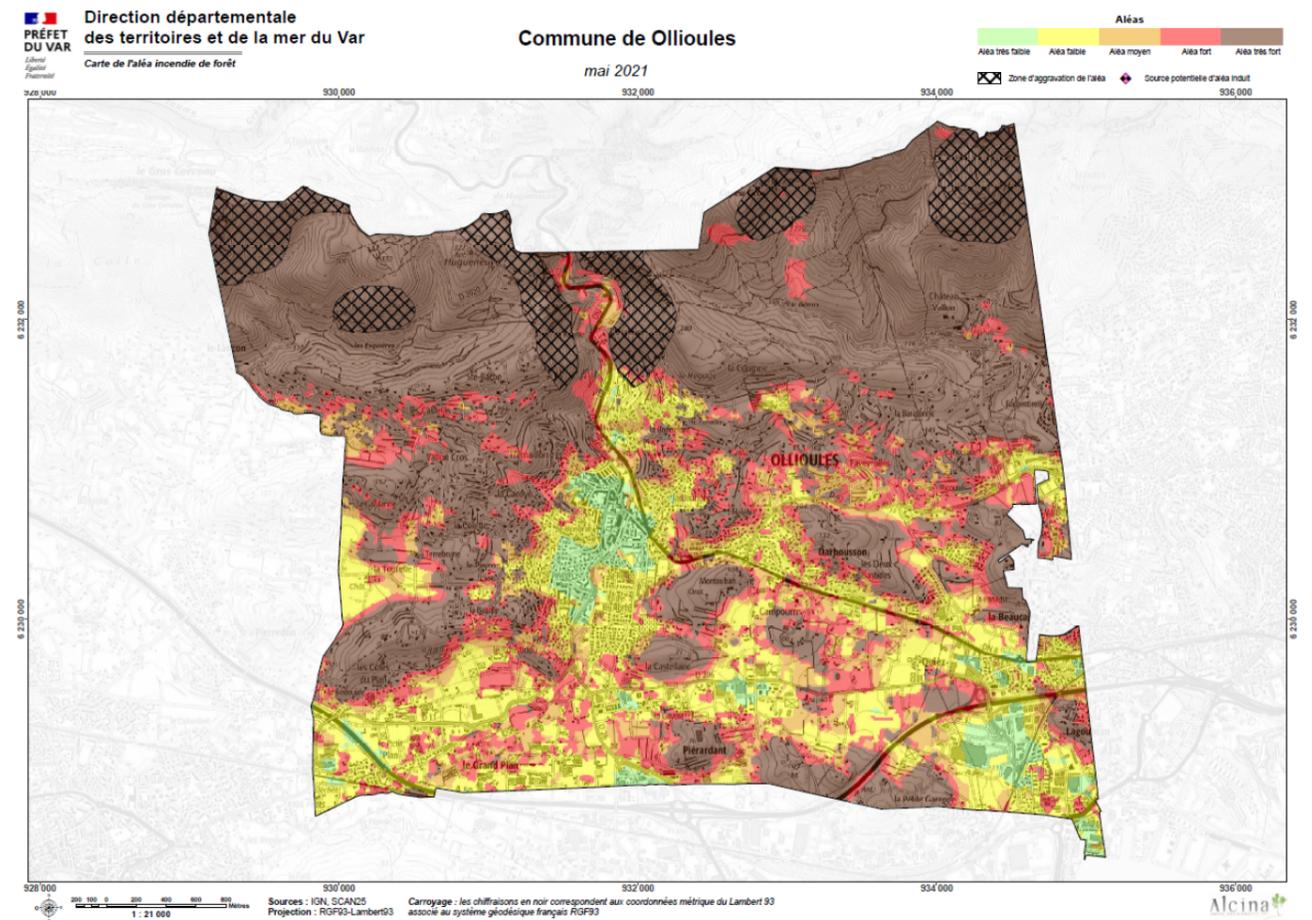


FIGURE 18 : CARTE DE L'ALEA INCENDIE DE FORET DE LA COMMUNE D'OLLIOULES – SOURCE : VAR.GOUV.FR

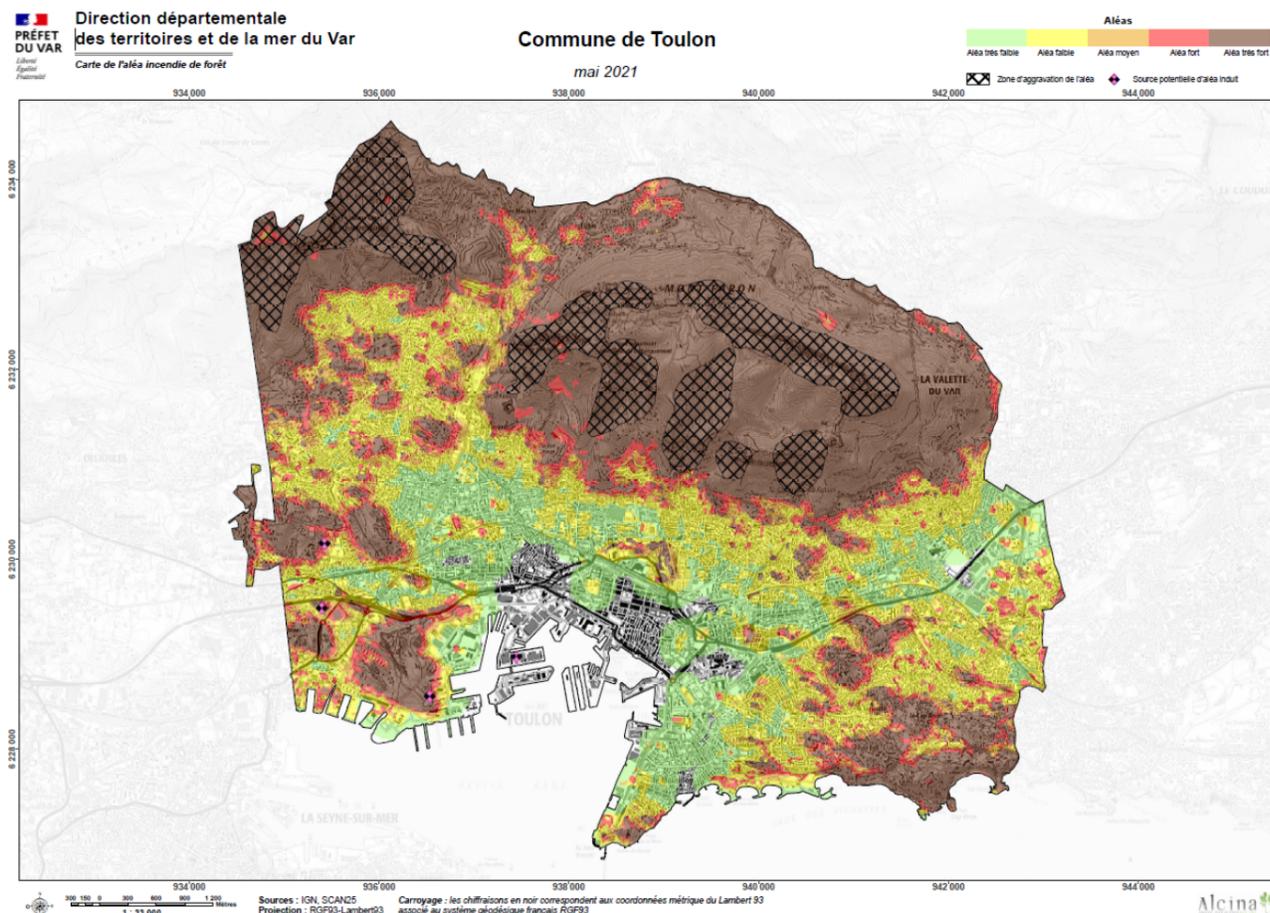


FIGURE 19: CARTE DE L'ALEA INCENDIE DE FORET DE LA COMMUNE DE TOULON – SOURCE : VAR.GOUV.FR

Néanmoins, le caractère méditerranéen de la zone d'étude, rend toute espace vert potentiellement à risque et la base de données Prométhée¹² a été consultée en complément de la carte ci-dessus. Cette base de données des incendies des forêts méditerranéennes permet d'obtenir un aperçu de l'ensemble des incendies sur la zone d'étude depuis 1973. Les incendies sur les communes de la zone d'études ont été recherchés sur la période 1973-2022.

322 incendies ont été recensés sur la commune de La Seyne-sur-Mer, 133 sur la commune d'Ollioules, 294 sur la commune de Toulon, 95 sur La-Valette-du-Var, et 63 sur La Garde.

Un incendie en bordure du port de Toulon, à proximité de la mairie est recensé le 23/06/2022 ainsi que le 31/07/2022 (voir point orange sur la figure ci-après).



FIGURE 20: INCENDIE RECENSE SUR LA ZONE D'ETUDE (POINT ORANGE, MAIRIE DE TOULON) - SOURCE : PROMETHEE

Étant donné la sensibilité des forêts du Sud-Est aux incendies, les zones d'étude sont logiquement et particulièrement sujettes aux feux de forêts. Par ailleurs, les secteurs très urbanisés tels que le centre-ville toulonnais présentent une densité de feux plus faible, à l'inverse d'opération situées plus proches de zones boisées.

2.3 - Exposition future

L'étape d'analyse des projections climatiques a pour objectif d'étudier l'évolution des variables climatiques (température, précipitations, vent, etc.) jusqu'à la fin du siècle (2100), selon différents scénarios d'évolution climatique. La situation actuelle, servant de référence (1976-2005), est présentée dans l'étude d'impact.

2.3.1 - Projections climatiques – DRIAS

L'explication du portail DRIAS et du choix des paramètres est faite dans le chapitre 1.4.2.2.

Pour l'ensemble des figures suivantes, vous retrouverez en noir le scénario de référence, en orange le scénario RCP4,5 et en rouge le scénario RCP 8,5. Les pointillés orange ou rouge représentent les incertitudes des scénarios RCP.

2.3.1.1 - Températures

La température moyenne journalière sur la zone d'étude va significativement augmenter par rapport au scénario de référence passant d'environ 15.5 °C de moyenne sur l'horizon 1976-2005, à environ 20°C à l'horizon 2100 pour le scénario RCP8.5, soit environ 30 % d'augmentation (voir Figure ci-après)

¹² <https://www.promethee.com/>, consulté le 28/04/2021

Température moyenne journalière (°C) avec incertitudes

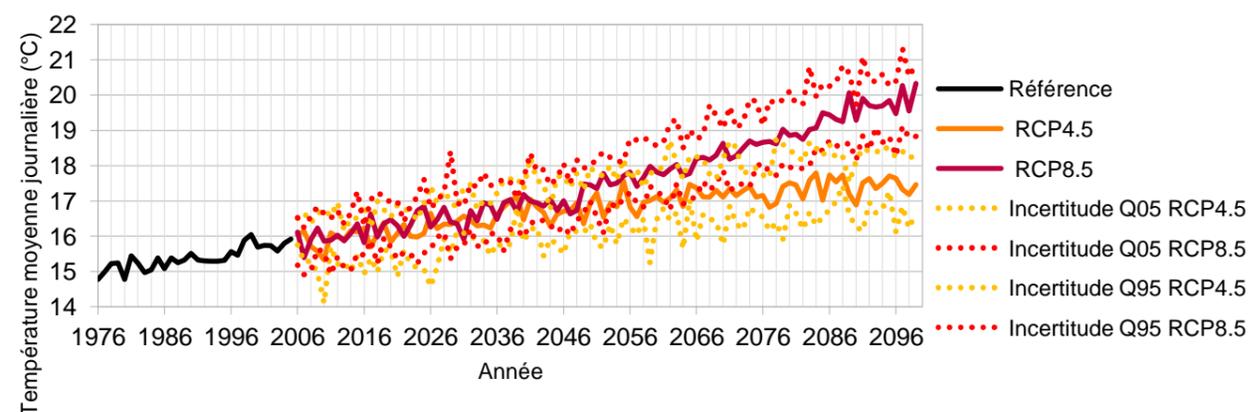


FIGURE 21: PROJECTIONS DE LA TEMPERATURE MOYENNE JOURNALIERE (°C)

Ce constat d'augmentation depuis la période de référence jusqu'à la fin du siècle des températures est unanime, y compris pour la température maximale journalière et la température minimale journalière.

La température maximale journalière sur la zone d'étude va augmenter. En moyenne sur le scénario de référence, la température maximale journalière était de 19.5°C. À l'horizon 2100, avec le scénario RCP8.5 elle sera de 24°C, soit une augmentation de 23% (voir Figure ci-après).

Température maximale journalière (°C) avec incertitudes

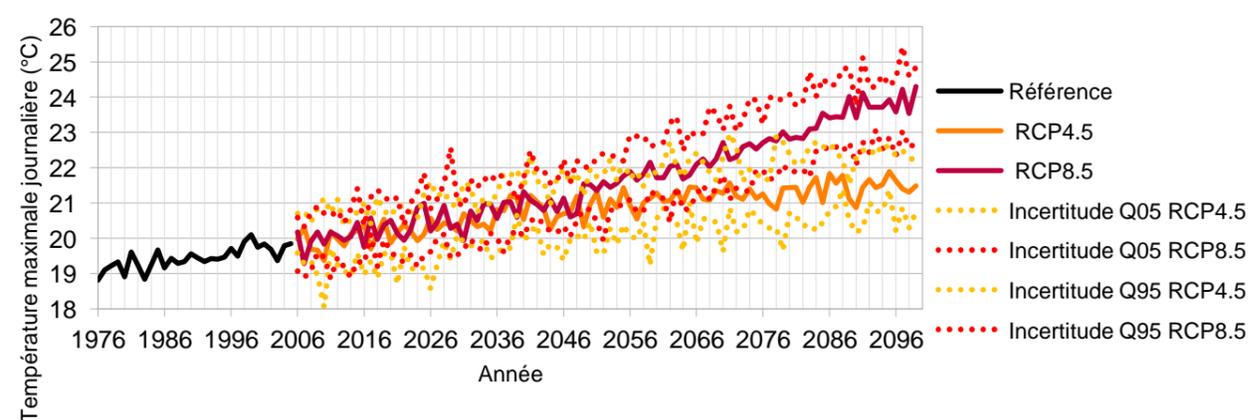


FIGURE 22: PROJECTIONS DE LA TEMPERATURE MAXIMALE JOURNALIERE (°C)

La température minimale journalière passe de 11.5°C de moyenne sur la période de référence à 16°C à l'horizon 2100, scénario RCP8.5. Soit une hausse de quasiment 40% (voir Figure ci-après).

Température minimale journalière (°C) avec incertitudes

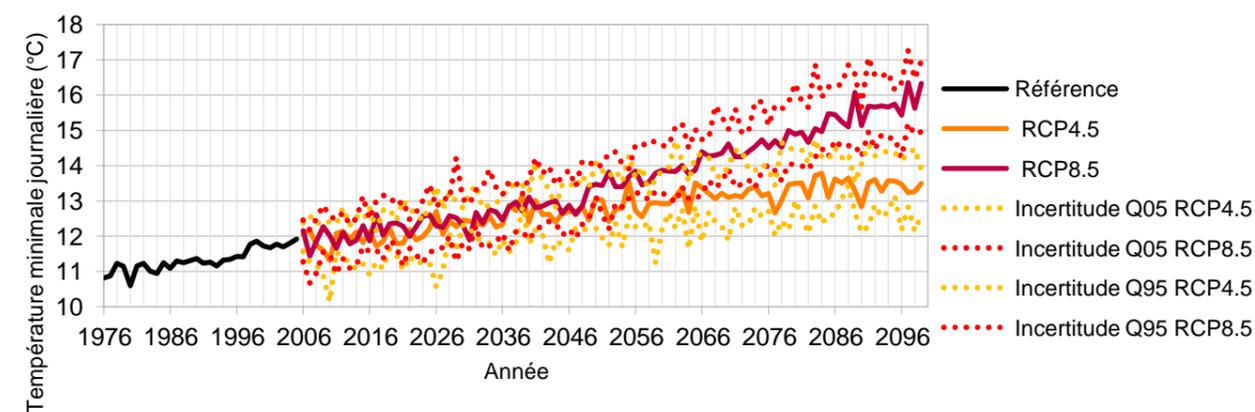


FIGURE 23: PROJECTIONS DE LA TEMPERATURE MINIMALE JOURNALIERE (°C)

Le nombre de jours de fortes chaleurs, soit pour des températures maximales supérieures à 35°C va lui aussi exploser. Sur la période de référence il n'y avait quasiment pas de jours de fortes chaleurs, tandis qu'à 2100, scénario RCP8.5, il y aura en moyenne 35 jours (voir Figure ci-après).

Nombre de jours de fortes chaleur (température maximale > 35°C) (jour(s)) avec incertitudes

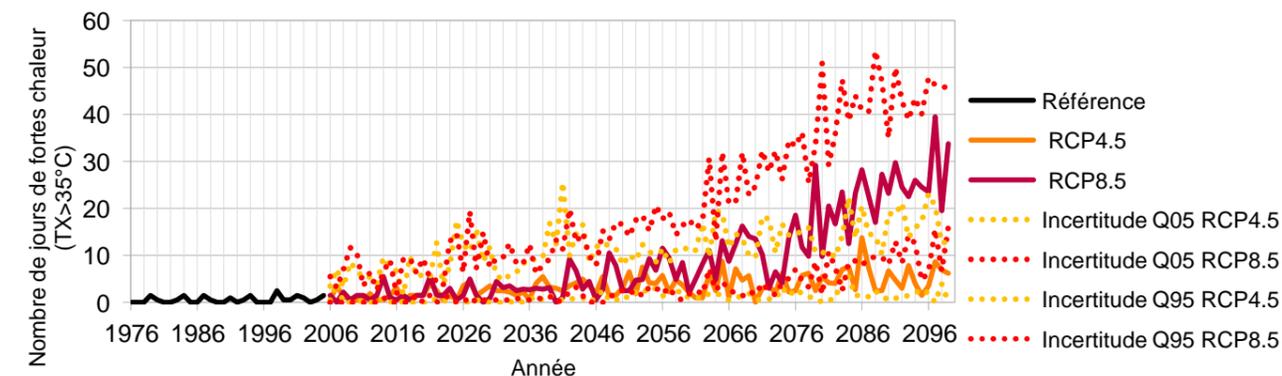


FIGURE 24: PROJECTIONS DU NOMBRE DE JOURS DE FORTES CHALEURS (C'EST-A-DIRE, TEMPERATURE MAXIMALE > 35°C)

Il en est de même pour l'extrême chaud de la température maximale journalière qui va passer d'environ 29°C pour le scénario de référence, à environ 34°C pour le scénario RCP8.5, soit une augmentation d'environ 17% (voir Figure ci-après).



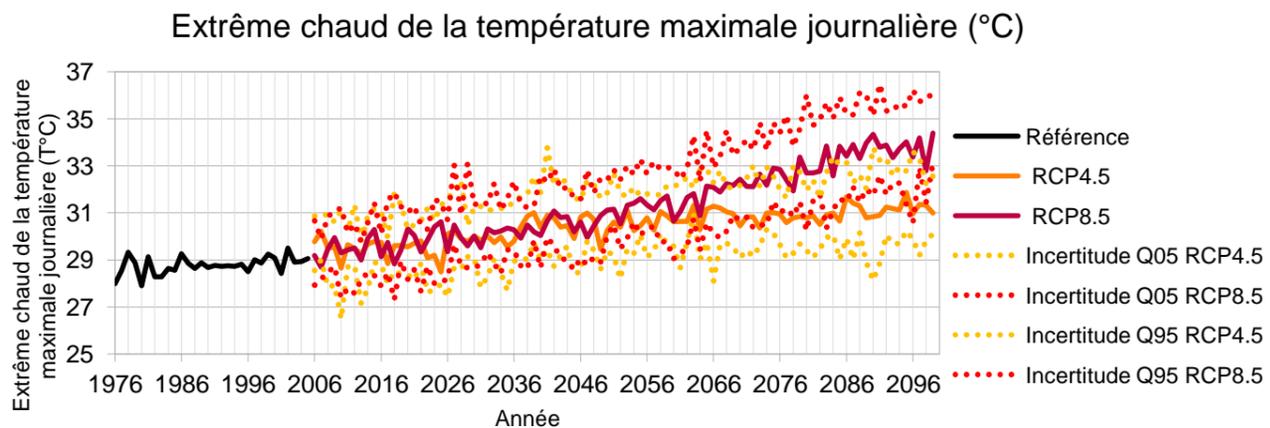


FIGURE 25: PROJECTIONS DE L'EXTRÊME CHAUD DE LA TEMPÉRATURE MAXIMALE JOURNALIÈRE (°C)

A contrario le nombre de jours de gel est en très net recul ; sur le scénario de référence, le nombre de jours de gel oscillait de 12 à 5 jours, alors que pour 2100, scénario RCP8.5, il sera d'environ 0. D'ici la fin du siècle avec le scénario le plus pessimiste, les jours de gel devraient disparaître (voir Figure ci-après).

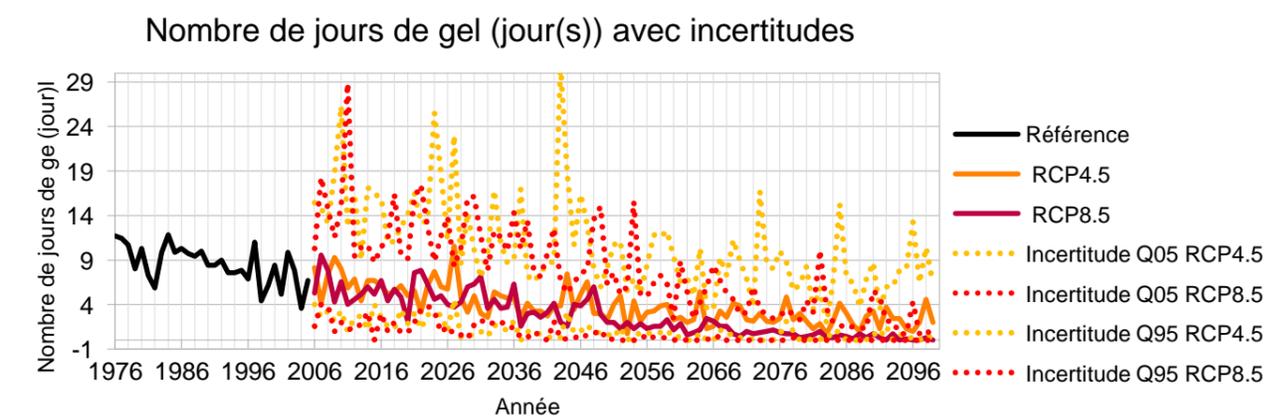


FIGURE 26: PROJECTIONS DU NOMBRE DE JOURS DE GEL (JOURS)

Le même constat est fait pour le nombre de jours d'une vague de froid, soit une diminution d'ici la fin du siècle. D'ici la fin du siècle, et ce dès 2030 environ, il ne devrait plus y avoir de vagues de froids, suivant les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (voir Figure ci-après).

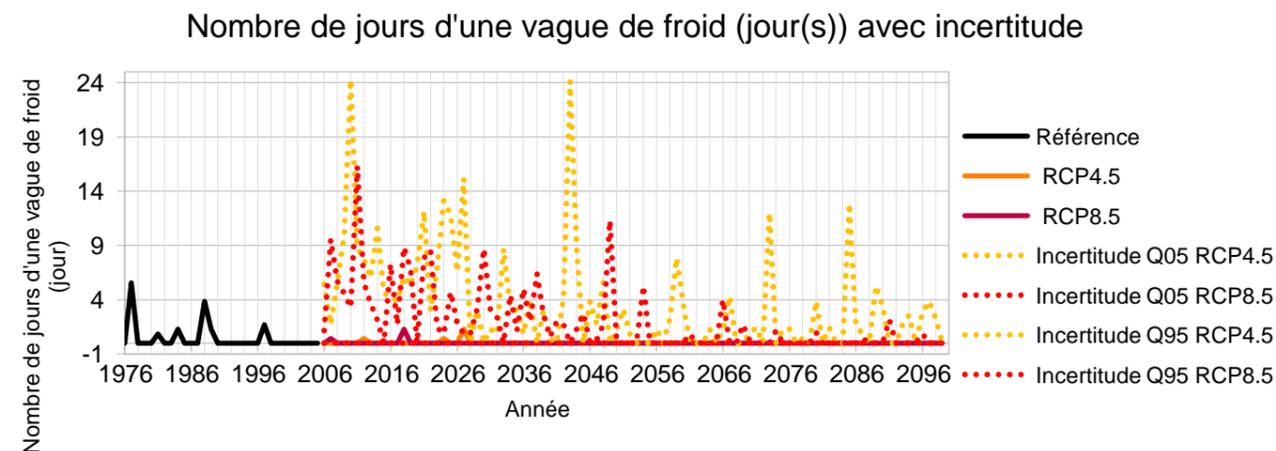


FIGURE 27: PROJECTIONS DU NOMBRE DE JOURS D'UNE VAGUE DE CHALEUR (JOURS)

2.3.1.2 - Précipitations

Les précipitations moyennes pour les jours pluvieux tendent à augmenter très légèrement, cela n'est pas significatif et ne permet pas de dégager une tendance : la moyenne sur le scénario de référence est d'environ 10.5 mm, alors que pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à l'horizon 2100, on est à environ 11 mm (voir Figure ci-après).

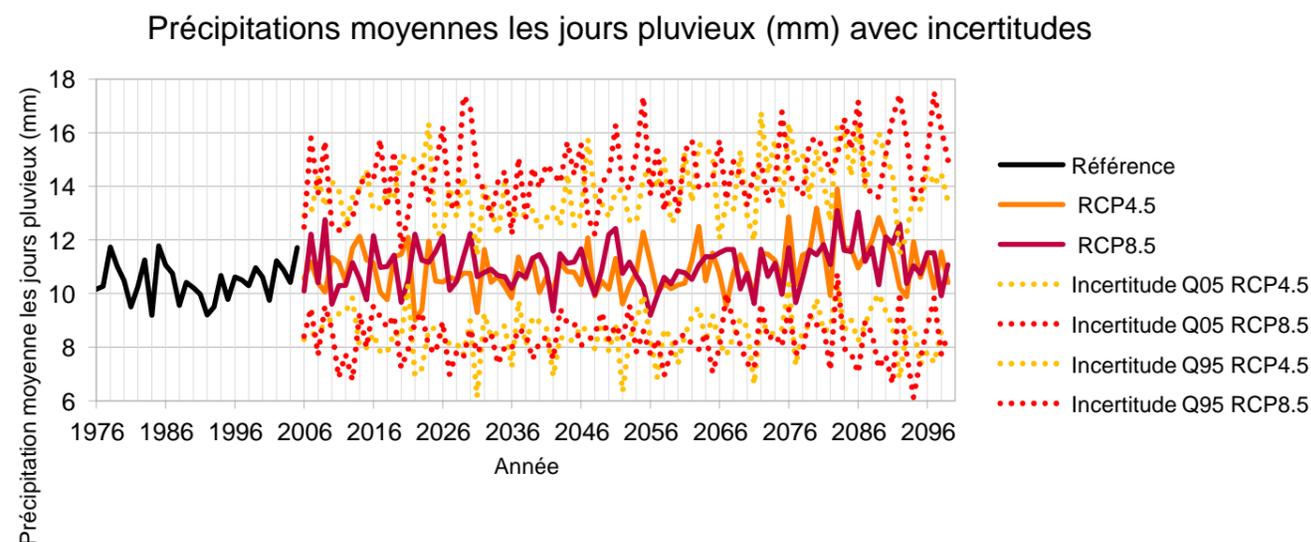


FIGURE 28: PROJECTIONS DE PRÉCIPITATIONS MOYENNES LES JOURS PLUVIEUX (MM)

Les précipitations extrêmes (Q99, soit les précipitations excédées dans seulement 1% des cas) semblent augmenter de façon non significative, notamment sur des années spécifiques, quel que soit le scénario RCP4.5 ou RCP8 (voir Figure ci-après).



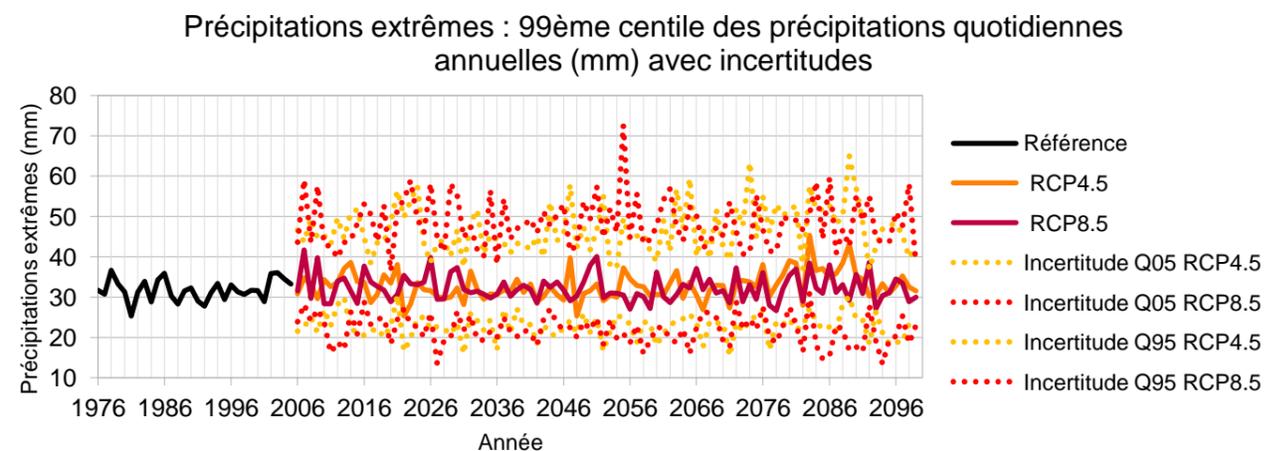


FIGURE 29: PROJECTIONS DE PRÉCIPITATIONS EXTREMES (MM)

Concernant le cumul des précipitations, il semble légèrement diminuer, sans grosse tendance marquée, si on regarde le scénario RCP8.5, en comparaison avec le scénario de référence (voir Figure ci-après).

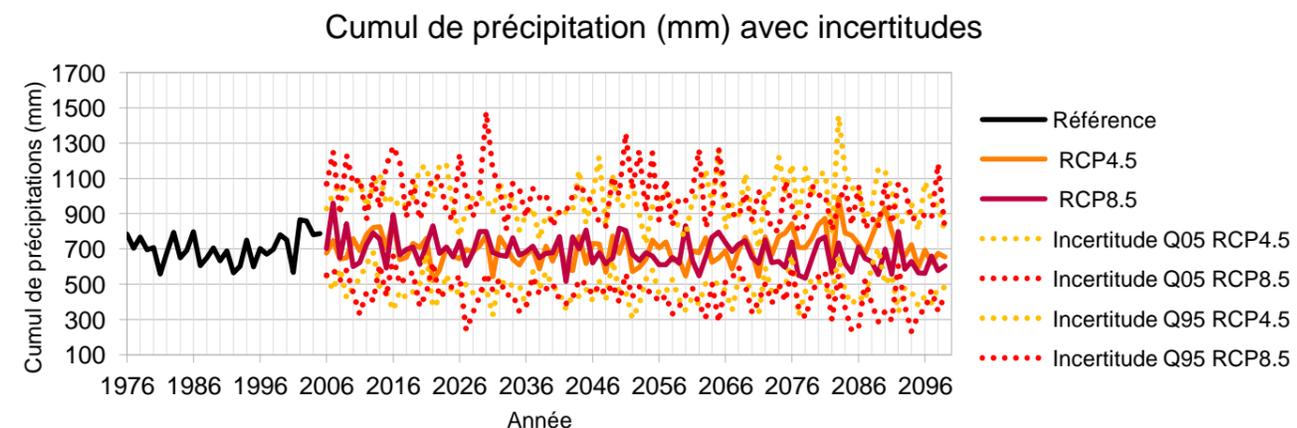


FIGURE 30: PROJECTIONS DE CUMUL DE PRÉCIPITATIONS (MM)

La fréquence des événements pluvieux extrêmes tendrait donc à augmenter davantage que leur intensité.

2.3.1.3 - Vents

Les projections climatiques de moyennes annuelles de vent fort (en m/s), scénario RCP8.5 ne montrent pas de nette tendance aux horizons proche (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100), voir figures ci-après.

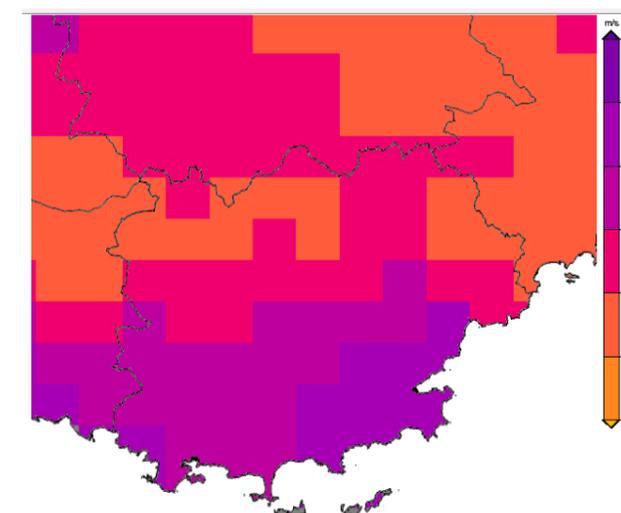


FIGURE 31: VENT FORT (M/S) SUR LE DÉPARTEMENT DU VAR POUR LE SCÉNARIO RCP8.5 A L'HORIZON PROCHE (2021-2050) – SOURCE : DRIAS

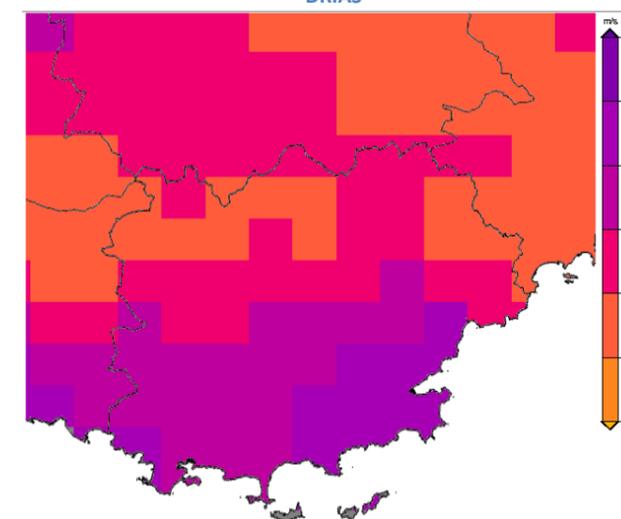


FIGURE 32: VENT FORT (M/S) SUR LE DÉPARTEMENT DU VAR POUR LE SCÉNARIO RCP8.5 A L'HORIZON MOYEN (2041-2070) – SOURCE : DRIAS

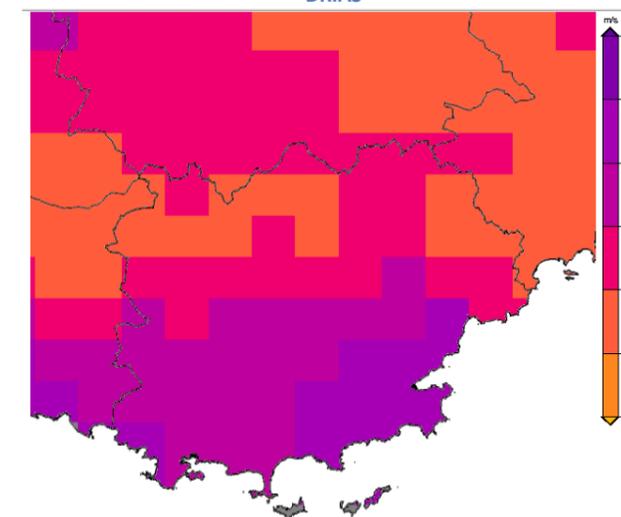


FIGURE 33: VENT FORT (M/S) SUR LE DÉPARTEMENT DU VAR POUR LE SCÉNARIO RCP8.5 A L'HORIZON LOINTAIN (2071-2100) – SOURCE : DRIAS



2.3.1.4 - Feux de forêt

L'indice IFM est une estimation du risque d'occurrence d'un feu de forêt. Déjà élevé en situation actuelle, il augmente de façon très significative avec le scénario B1 (équivalent RCP4.5) et encore plus avec le scénario A2 (équivalent RCP8.5) à l'horizon le plus lointain (horizon 2).

La situation de référence s'étend de 1959 à 2007. L'horizon 1 s'étend de 2031 à 2070 et l'horizon 2 de 2081 à 2100.

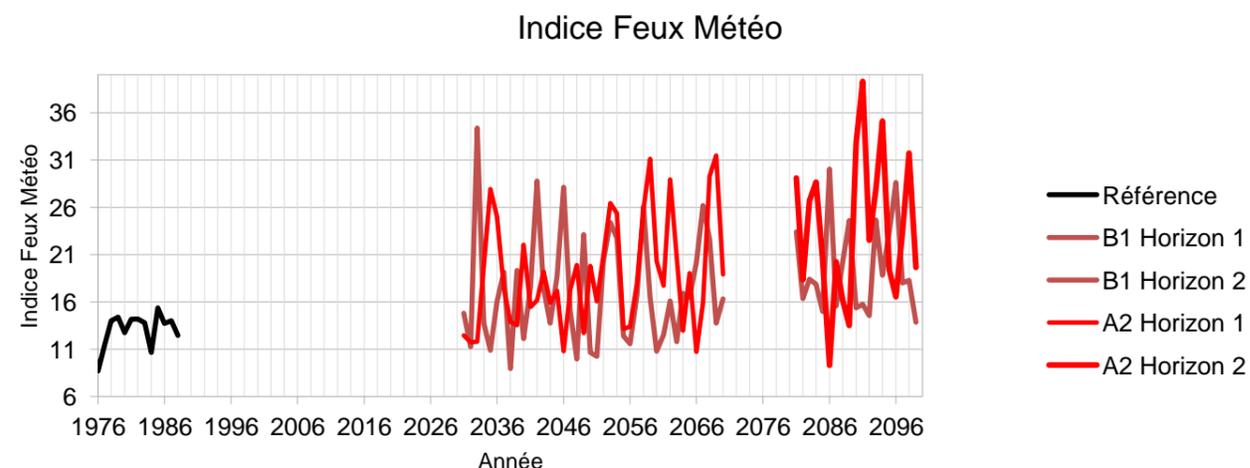


FIGURE 34 : PROJECTIONS DE L'INDICE FEUX METEO

On peut donc s'attendre à avoir un danger météorologique de feux de forêt plus important, en tenant en compte la probabilité de son éclosion et son potentiel de propagation.

2.3.1.5 - Humidité des sols

L'humidité du sol est exprimée à partir de l'indice d'humidité des sols (en anglais : *Soil Wetness Index* ou SWI) représentant pour une plante le ratio entre le contenu en eau disponible dans le sol un jour donné et sa valeur maximum.

$$SWI = \frac{W - W_{wilt}}{W_{fc} - W_{wilt}}$$

où W est le contenu intégré en eau du sol, Wwilt le contenu en eau au point de flétrissement et Wfc le contenu en eau du sol à la capacité au champ.

Le SWI varie principalement entre les valeurs 0 (sol extrêmement sec) et 1 (sol extrêmement humide). En dessous de 0,5 un sol est considéré comme sec et au-dessus de 0,8 comme très humide.

L'indice SWI sur la zone d'étude en situation de référence est inférieur à 0.5 (SWI=0.46). Cela témoigne d'un sol déjà considéré comme sec. Il ne cesse de diminuer pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

Au scénario RCP4.5, horizon 2100 on est à une moyenne sur la zone d'étude de SWI= 0.43, et pour le scénario RCP8.5, même horizon à SWI = 0.39.

2.3.2 - Projections climatiques – absentes de DRIAS

2.3.2.1 - Inondations

2.3.2.1.1 - Inondations par débordement de cours d'eau

Contrairement aux Plans de Prévention des Risques (PPR) littoraux, il n'existe pas encore d'obligation de prise en compte du changement climatique dans tous les Plans de Préventions des Risques Inondations (PPRi). De fait, ceux-ci continuent à être établis sur des hypothèses hydrologiques de référence, correspondant aux crues historiques.

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC) a publié en 2016 une note sur les impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins RMC¹³. La publication note qu'il reste difficile de se prononcer sur l'évolution des pluies extrêmes. Concernant l'évolution passée des précipitations extrêmes et les projections futures, il faut rester très prudent. Globalement, les chroniques passées ne montrent pas de tendances d'évolution marquée. Le signal qui se dégage des projections, malgré les fortes incertitudes, est à une légère intensification des précipitations extrêmes sur l'ensemble du bassin mais plus au nord qu'au sud. Ces résultats sont principalement issus des scénarios les plus pessimistes (RCP 6.5 et 8.5). La forte incertitude provient de l'absence de tendance passée et du caractère intrinsèquement aléatoire de ces phénomènes.

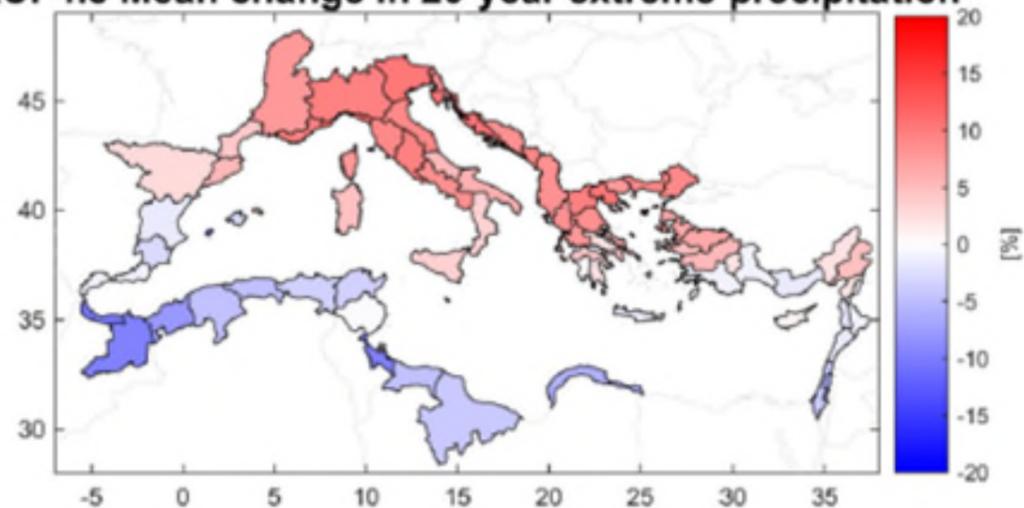
L'étude des précipitations intenses et de leur évolution future reste un défi majeur pour les modélisateurs du climat. Ces phénomènes sont en effet relativement mal représentés dans les modèles de climat standard. Au cours de ces dernières années, le programme international CORDEX a permis de réaliser et de mettre à disposition des ensembles de simulations climatiques régionales à des résolutions spatiales (~10 km) permettant une meilleure représentation des événements méditerranéens et donc une meilleure confiance dans leurs projections futures.

Les analyses d'extrêmes appliquées aux modèles CORDEX indiquent une augmentation de l'intensité des précipitations intenses sur la partie nord du bassin méditerranéen. Sur la région méditerranéenne française, **l'intensification des précipitations extrêmes devrait être de l'ordre de quelques % sur les cumuls quotidiens par °C de réchauffement.**

¹³ Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et de Corse Les nouvelles incidences clé nécessitant des

actions d'adaptation. Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse – Damien Aubé, Septembre 2016.

RCP4.5 Mean change in 20-year extreme precipitation



RCP8.5 Mean change in 20-year extreme precipitation

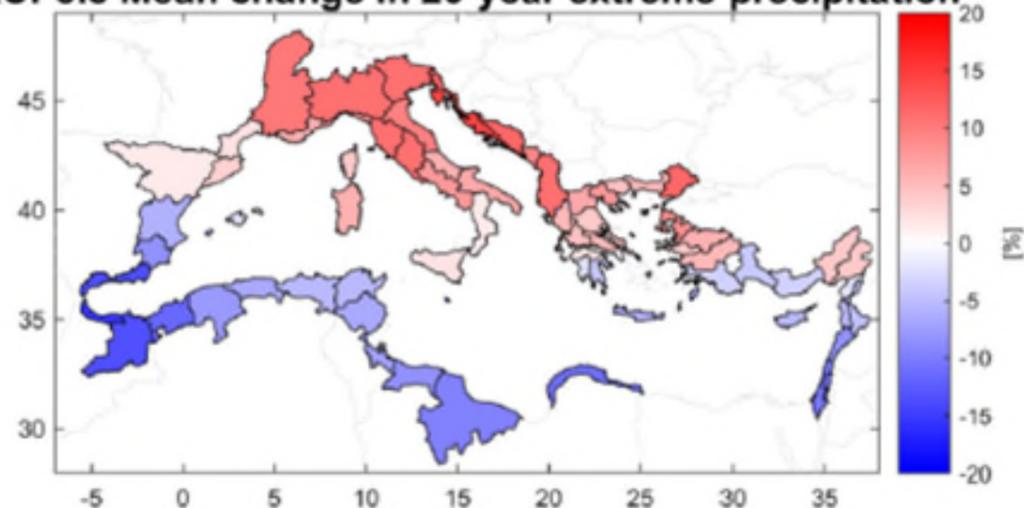


FIGURE 35 : CHANGEMENT RELATIF MOYEN EN 2100 POUR LA VALEUR DES PRÉCIPITATIONS QUOTIDIENNES D'UNE DURÉE DE RETOUR 20 ANS POUR 102 BASSINS VERSANTS MÉDITERRANÉENS POUR LES SCÉNARIOS RCP4.5 ET RCP8.5

Même si une augmentation de leur intensité se dessine, l'évolution future des précipitations extrêmes en Méditerranée reste aujourd'hui assez incertaine quantitativement. Les travaux de recherche en cours devraient permettre de progresser sur ce sujet d'une part en combinant mieux les ensembles de simulations globales et régionales de climat et d'autre part en utilisant des modèles climatiques de nouvelle génération pouvant atteindre les échelles kilométriques et représentant mieux la convection atmosphérique. Ces nouveaux modèles devraient également permettre d'étudier l'évolution possible des cumuls de précipitations horaires.

Aucun réaménagement hydraulique n'est prévu à ce stade concernant les cours d'eau du Faveyrolles et du Las. Il est donc difficile de se prononcer sur l'intégration du changement climatique dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Toutefois, un nouvel ouvrage hydraulique est prévu sur le Saint-Joseph dont le dimensionnement devra tenir compte du changement climatique.

2.3.2.1.2 - Inondations par remontée de nappe

Il n'existe pas de projections précises relatives à cet aléa pour les années futures. Cependant, l'évolution de la moyenne des précipitations des jours de pluie donne une indication sur la tendance. Rappelons à ce titre que, sur l'ensemble de la zone d'étude, cet indicateur évolue peu.

2.3.2.1.3 - Inondations de type crue torrentielle

En l'absence d'études spécifiques sur ces petits bassins versants, les projections des variables « précipitations extrêmes » et « nombre de jours de précipitations extrêmes » sont utilisés comme « proxy » permettant de se rapprocher de l'évolution de l'aléa étudié.

La variable de précipitation extrême donne le 99^{ème} centile des précipitations quotidiennes, c'est-à-dire 1% des pluies les plus intenses. Il est important de noter que ces valeurs sont toutefois des moyennes annuelles sur la période considérée (soit 35 ans sur la période de référence par exemple). La projection de cette variable permet d'attester de l'évolution de l'intensité des pluies extrêmes. L'évolution du nombre de jours de précipitations extrêmes témoigne en outre de l'occurrence de ce type d'évènement. L'analyse combinée des deux variables permet ainsi de rendre compte de l'évolution d'évènements potentiellement à l'origine de crues torrentielles.

Les projections réalisées sous DRIAS, dont les résultats à l'échelle du projet sont présentés en section 2.2.1, montrent une légère augmentation de l'intensité des précipitations extrêmes et de leur occurrence.

Néanmoins, les incertitudes sur ces projections sont très fortes et l'intervalle de confiance pour ces indicateurs s'établit entre des valeurs négatives et positives (c'est-à-dire une réduction des précipitations intenses pour certains modèles et une augmentation pour d'autres modèles). Les valeurs montrent par ailleurs une forte variabilité d'un point à l'autre du modèle DRIAS, ce qui rend toute interprétation délicate. Cependant, comme exposé au chapitre 2.3.2.2., la communauté scientifique s'accorde sur une augmentation probable des précipitations intenses de l'ordre de quelques % par °C de réchauffement climatique.

L'aléa inondation de type crue torrentielle, dépend à la fois de l'intensité des évènements mais également de leur occurrence. **À l'égard de ces deux paramètres, on observe une tendance à la hausse, ce qui semble ainsi jouer en faveur d'une augmentation des évènements de type crue torrentielle sur la zone d'étude.**

2.3.2.2 - Tempête et vents violents

Les projections climatiques sur les vents forts sont présentées dans le chapitre 2.2.1.3.

Concernant les tempêtes et leur évolution en climat futur, leur tendance reste floue.

Le 5^e rapport du GIEC publié en 2013 n'accordait qu'un faible degré de confiance à la projection de l'évolution des trajectoires des tempêtes dans l'hémisphère Nord.

Le 6^e rapport d'évaluation du GIEC publié en 2022 confirme les grandes incertitudes quant à l'évolution passée des tempêtes de vent et des vents extrêmes en Europe. Les vents extrêmes proches de la surface ont diminué au cours des dernières décennies d'après les observations proches de la surface. Des tendances négatives significatives de la fréquence des tempêtes au printemps et des tendances positives en été ont été observées dans le bassin méditerranéen pour la période 1979-2008.

Selon les projections climatiques sur l'Europe, la confiance est moyenne quant à l'augmentation, dans le climat futur, des tempêtes entraînant des pertes économiques cumulées dans de nombreuses régions d'Europe. La fréquence et l'amplitude des vents forts et des tempêtes extra tropicales devraient légèrement augmenter à l'avenir dans le nord, l'ouest et le centre de l'Europe d'ici la fin du siècle (confiance moyenne), ainsi qu'au large des côtes européennes en raison de l'augmentation de l'intensité des tempêtes extra tropicales selon un réchauffement global de 2 °C ou plus dans ces régions. **La fréquence des tempêtes y compris des cyclones, devrait diminuer dans les régions méditerranéennes, mais leur intensité devrait augmenter d'ici le milieu du siècle et au-delà¹⁴.**

2.3.2.3 - Montée du niveau de la mer et submersions

■ Montée du niveau de la mer

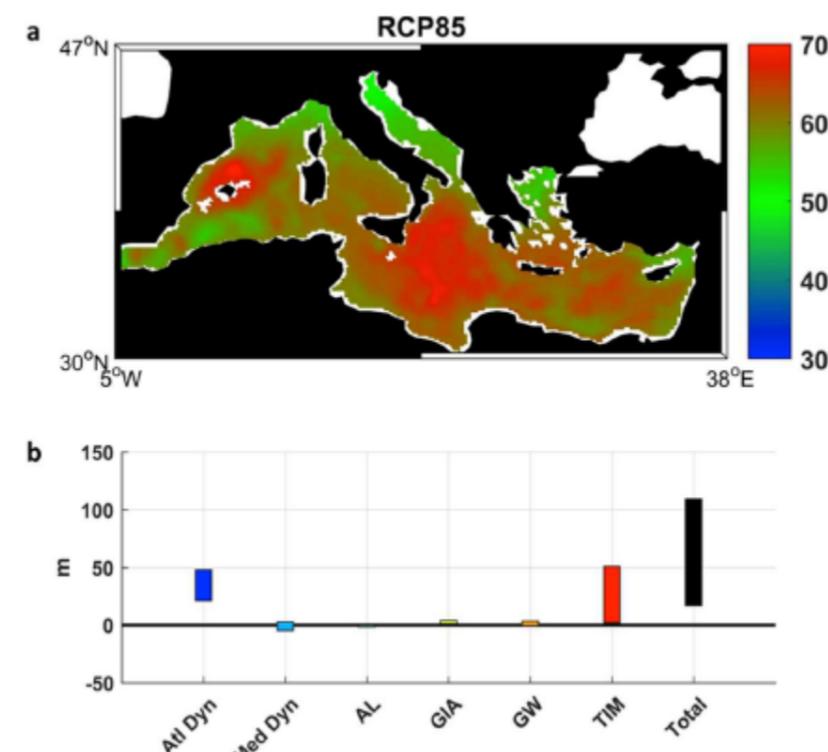
L'élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale dans les années à venir reste aujourd'hui incertaine. Selon la méthode utilisée, les scénarios prévoient une élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale comprise entre 52 et 190 cm à l'horizon 2100. **L'élévation annuelle serait ainsi de l'ordre de 8 mm à 15 mm d'ici la fin du siècle.** Ces incertitudes auront un impact important sur l'élévation réelle du niveau de la mer Méditerranée, de par sa connexion au système océanique mondial, via le détroit de Gibraltar.

Les prévisions régionales concernant l'évolution du niveau de la mer sont moins précises que les prévisions à l'échelle mondiale, à cause des limites des modèles globaux et à cause des interactions entre l'océan Atlantique et la mer Méditerranée. Concernant les côtes méditerranéennes, les changements régionaux en matière de ruissellements fluviaux qui entraînent une évolution de la salinité, ainsi que des mouvements des sols dans la région orientale du bassin méditerranéen sont également à prendre en compte. Outre l'impact de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale, les trajectoires de circulation des eaux en mer Méditerranée peuvent également être modifiées et entraîner des changements du niveau de la mer à l'échelle régionale, avec des écarts de niveau de la surface de la mer pouvant atteindre 10 cm.

La prise en compte de toutes les composantes montre que l'élévation du niveau de la mer Méditerranée sera proche (différence inférieure à 5 %) du niveau moyen mondial de la mer, parce que les différences régionales produites par les changements dans la circulation et la redistribution des masses se compensent presque mutuellement (Slangen et al. 2017). Cela conduit à estimer que **le niveau moyen de la mer dans le bassin sera en 2100 probablement 37 à 90 cm plus élevé qu'à la fin du XXe siècle, avec une faible probabilité d'être au-dessus de 110 cm.**

¹⁴ Source : <http://tempetes.meteo.fr/Tempetes-et-changement-climatique.html>

¹⁵ Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S. Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017) – Caractérisation de l'aléa submersion marine



Selon le scénario RCP8.5. Résultats basés sur CMIP5 et MED-CORDEX pour les composantes dynamiques et Slangen et al. (2017) pour les autres composantes. (a) somme de tous les contributeurs (b) fourchette des valeurs projetées pour les différents contributeurs : dynamique de l'Atlantique NE (Atl Dyn), dynamique Méditerranéenne (Med Dyn), charge atmosphérique (AL), ajustement glaciaire isostatique (GIA), eaux souterraines (GW), fonte des glaces terrestres (TIM) et total.

FIGURE 36 : AUGMENTATION PREVUE DU NIVEAU DE LA MER MEDITERRANEE EN MOYENNE (2080-2099) PAR RAPPORT AU CLIMAT ACTUEL (1980-1999). SOURCE : RAPPORT MEDEC, 2020.

■ Submersions marines

Pour affiner la compréhension des dynamiques de submersion sur la partie rocheuse du littoral de la région PACA, la DREAL PACA a produit une étude portant sur l'aléa submersion marine sur le périmètre régional du littoral rocheux à l'exclusion de la Camargue¹⁵. Ces données ont pour vocation d'alimenter toute démarche relative à ce risque dont les Plans d'Actions pour la Prévention des Inondations (PAPI) et les Stratégies Locales de Gestion des Risques d'Inondations (SLGRI) des Territoires à Risques Importants d'Inondation (TRI) en matière d'amélioration de la connaissance du Risque.

L'étude, dont un porter à connaissance a été établi le 15 mars 2019, propose notamment une cartographie des zones potentiellement affectées par un aléa de submersion marine pour deux situations de référence :

- une situation d'occurrence centennale (c'est-à-dire correspondant à une onde de tempête d'occurrence centennale), avec une élévation de + 0,20 m du niveau marin, dite "situation actuelle" ;
- une situation d'occurrence centennale, avec une élévation de + 0,60 m du niveau marin, dite "situation 2100" qui prend en compte le changement climatique.

Le scénario d'élévation du niveau marin moyen de 60 cm à horizon 2100 a été retenu par le BRGM comme pertinent pour le littoral métropolitain français, en adéquation avec l'ONERC (Observatoire National des Effets du Réchauffement climatiques) qui recommande d'utiliser cette valeur pour l'évaluation des aléas submersions marine dans les Plans de Prévention des Risques Littoraux pour les cartographies des aléas à échéance 2100.

Dans le détail, l'aléa submersion marine est définis comme suit dans l'étude.

Le niveau marin de référence comprend :

- le niveau marin historique ou centennal (avec prise en compte des incertitudes) ;

- une valeur d'élévation du niveau moyen de la mer de à court terme de 20cm du fait de l'impact du changement climatique.

L'étude s'attache à calculer ces niveaux pour chaque unité géographique identifiée le long du littoral (plage, port, falaise rocheuse).

L'aléa 2100, est déterminé à partir du niveau marin de référence, auquel est ajouté une élévation du niveau marin de 60cm à horizon 2100. Le schéma suivant figure ces deux niveaux.

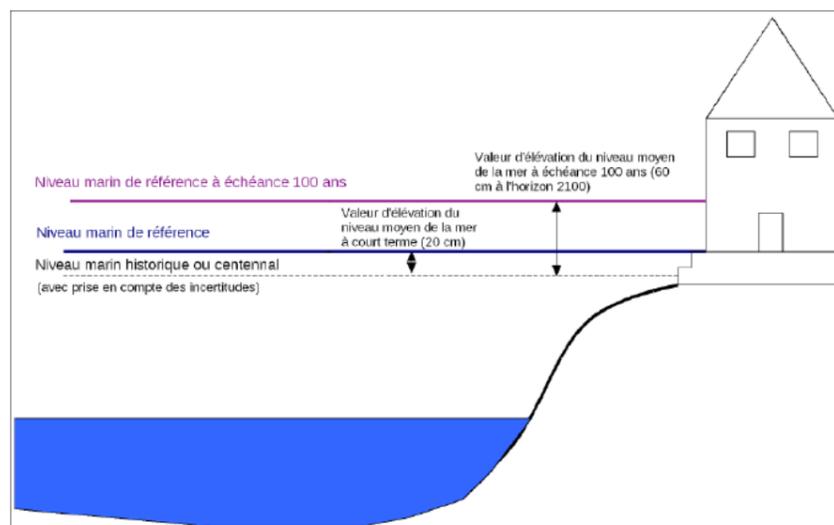


FIGURE 37 : PRINCIPE DE CARTOGRAPHIE DES ZONES SOUMISES A LA SUBMERSION MARINE DANS LES PLANS DE PREVENTION DES RISQUES LITTORAUX (PPRL) ET DANS LE CADRE DE LA MISE EN PLACE DE LA DIRECTIVE INONDATION SUR LES TERRITOIRES A RISQUES D'INONDATION (TRI). SOURCE : BRGM 2017.

Une fois le niveau de référence déterminé pour un secteur littoral, ce niveau est comparé à la topographie locale, et les zones situées en dessous du niveau de référence sont alors considérées comme inondables par submersion marine. Ce type d'approche permet de caractériser l'inondation du haut de plage, ou de l'arrière-cordon, et les points éventuels de franchissement dunaires. D'autre part elle permet la caractérisation de la hauteur de la tranche d'eau atteinte dans les zones inondées.

Le tableau suivant montre les valeurs significatives des niveaux d'eau retenues dans le cadre de l'étude du BRGM pour les plages les plus proches de la zone d'étude concernées par cet aléa.

TABLEAU 7 : NIVEAUX D'EAU DE L'ALEA SUBMERSION MARINE SUR LES PLAGES DU LITTORAL DE LA ZONE D'ETUDE

Nom de la plage concernée	Niveau de référence de l'évènement moyen (m NGF/IGN 69)	Niveau de référence de l'évènement moyen 2100 (m NGF/IGN69)	Écart-type
La Seyne_Sablettes	1.33	1.73	0.02
Pradet Pind de Galle	1.38	1.78	0.07

La zone du terminus ouest sur la Seyne-sur-Mer est exposée à l'aléa de submersion marine. Les hauteurs de submersions marines au niveau de la rade ne sont pas renseignées dans l'étude BRGM mais on peut s'attendre à ce qu'une partie du tracé soit également exposé à cet aléa juste au nord du Port étant donné les hauteurs observées de part et d'autre du périmètre militaire. À l'est du port, les hauteurs d'eau observées combinées à l'éloignement du tracé de la côte impliquent une exposition nulle du projet à cet aléa.



FIGURE 38 : ALEA SUBMERSION MARINE SUR LA ZONE OUEST DU PROJET POUR L'ÉVÉNEMENT MOYEN 2100 – SOURCE : EGIS



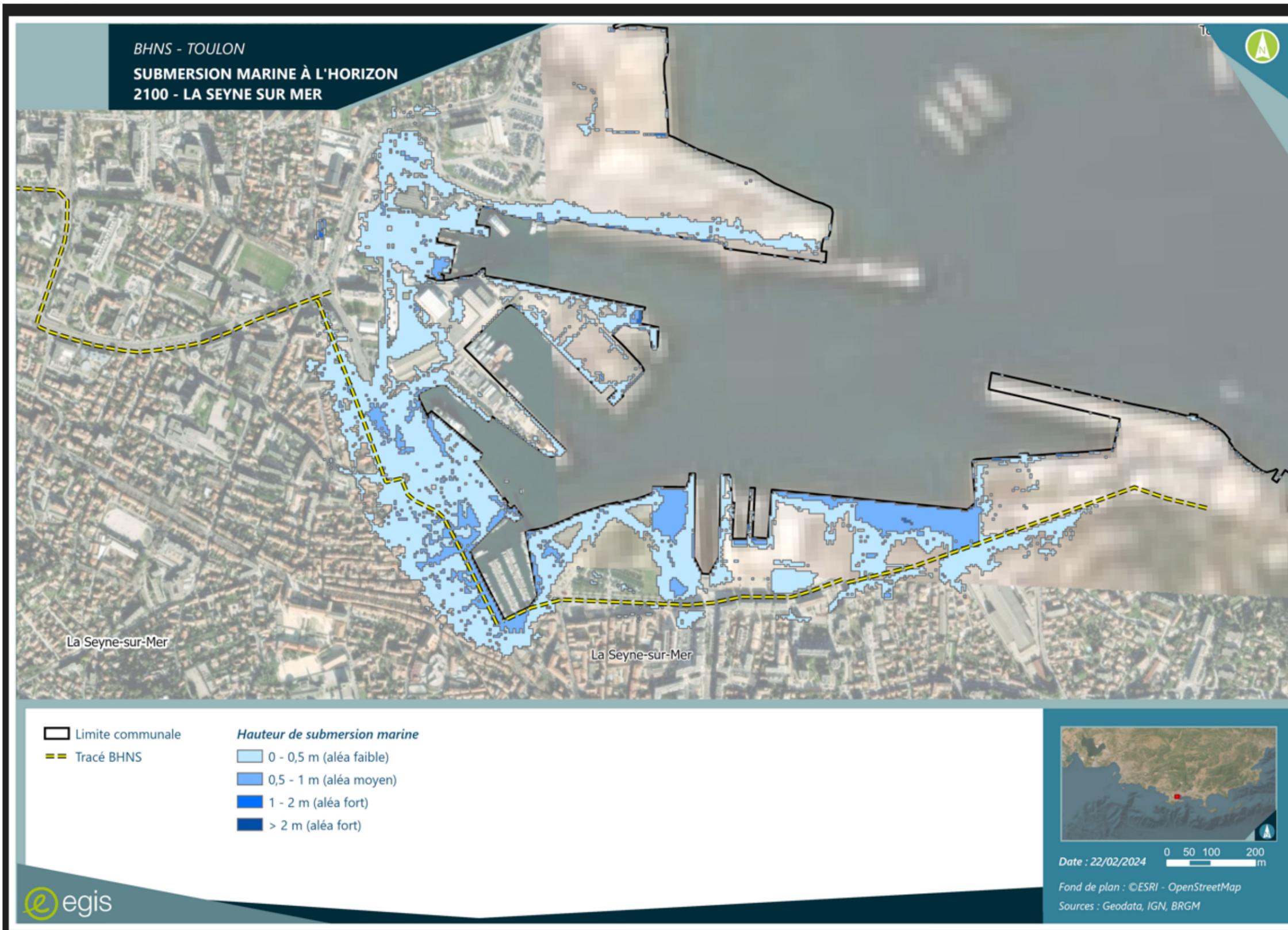


FIGURE 39 : ALEA SUBMERSION MARINE SUR LA ZONE DE LA SEYNE-SUR-MER POUR L'ÉVÉNEMENT MOYEN 2100 – SOURCE : EGIS





FIGURE 40: ALEA SUBMERSION MARINE SUR LA ZONE DE TOULON POUR L'ÉVÉNEMENT MOYEN 2100 – SOURCE : EGIS



La cartographie révisée lors du porté à connaissance de 2019, supervisée par la DREAL PACA est présentée ci-après

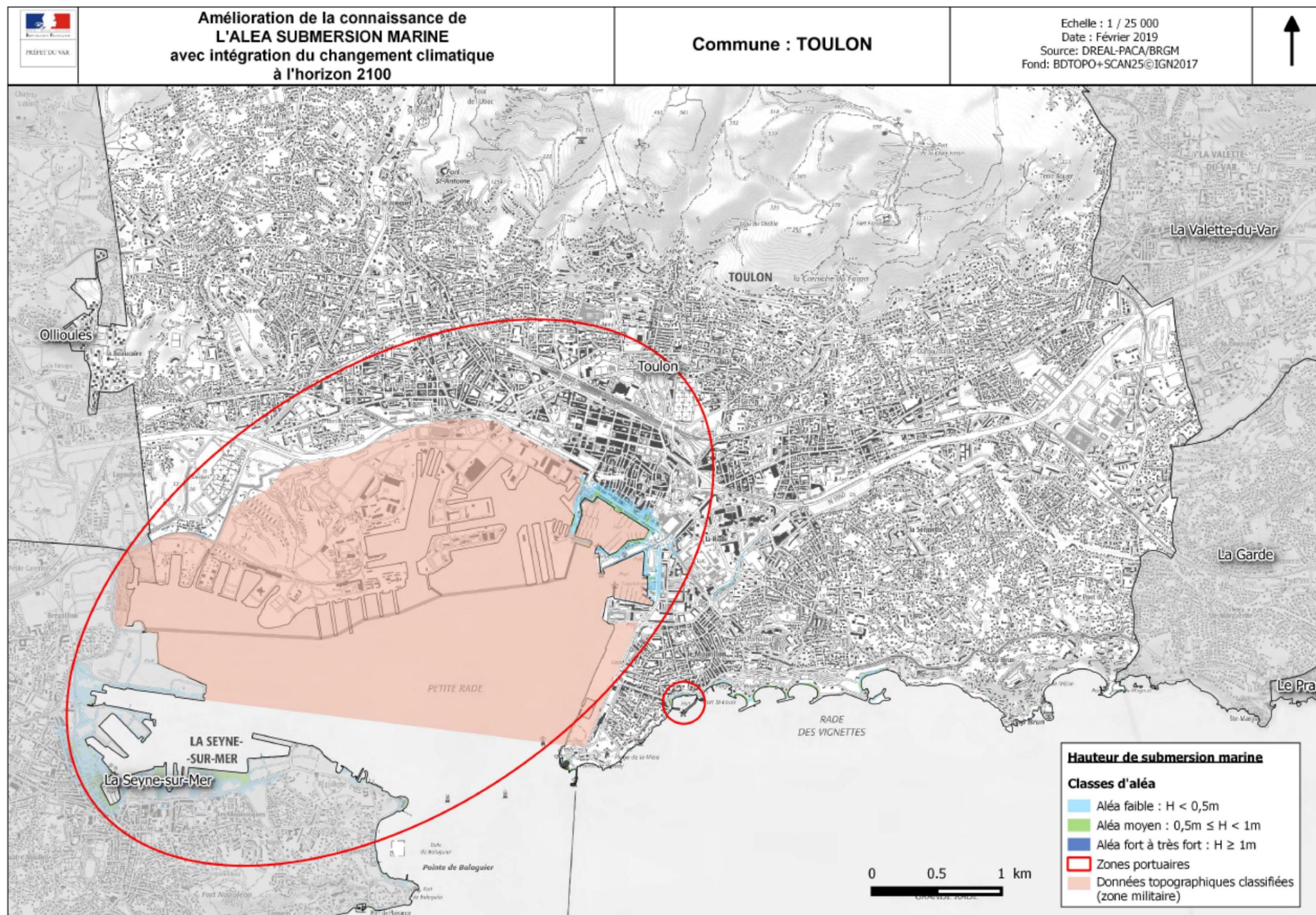


FIGURE 41: CARTOGRAPHIE DE L'ALEA SUBMERSION MARINE AVEC INTEGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE A HORIZON 2100 SUR LA RADE DE TOULON TOULON. SOURCE : DREAL PACA



2.3.2.4 - Retrait/gonflement des argiles

En tant que risque naturel d'origine climatique, le phénomène de retrait-gonflement des argiles est directement influencé par les effets du changement climatique. Les travaux récents menés dans ce domaine indiquent que la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur et des sécheresses vont inévitablement augmenter au cours du siècle sur le territoire français.

Les simulations du projet ClimSec et disponibles sur DRIAS Eau de Météo France pour caractériser l'impact du changement climatique sur la ressource en eau et l'humidité des sols, mettent ainsi en évidence des sécheresses du sol extrêmes (par comparaison au climat actuel) sur la majeure partie du territoire métropolitain à la fin du siècle.

L'indicateur sécheresse d'humidité des sols (SWI : soil wetness index) montre une aggravation de la sécheresse pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

L'aléa retrait-gonflement des argiles dépendant de l'alternance de périodes fortement arrosées et de périodes sèches, il convient également de s'intéresser à l'évolution des périodes de forte pluviométrie. À cet égard, l'évolution de la moyenne des précipitations des jours de pluie est relativement faible, mais témoigne néanmoins d'une augmentation des précipitations lors de périodes pluvieuses. **Cela va également jouer en faveur d'une aggravation du phénomène de retrait-gonflement des argiles.**

2.3.2.5 - Mouvement de terrain hors retrait/gonflement des argiles

L'influence du changement climatique sur cet aléa est difficile à évaluer, mais dépend beaucoup de l'évolution des précipitations. L'évolution des périodes pluvieuses susceptibles de saturer les sols et déclencher des mouvements de terrain peut être approchée par la moyenne des précipitations des jours de pluie. L'augmentation de cet indicateur est relativement faible. Les précipitations orageuses peuvent également déclencher des mouvements de terrain ou des effondrements de cavité. Les différents indicateurs de précipitations intenses analysés dans le cadre de cette étude témoignent d'une augmentation d'intensité dans les décennies à venir faible. Néanmoins, les incertitudes sur ces projections sont très fortes. Cependant, la communauté scientifique s'accorde sur une augmentation probable des précipitations intenses de l'ordre de quelques % par °C de réchauffement climatique.

La convergence globale de ces deux indicateurs (périodes pluvieuses et pluies intenses) dans les prochaines décennies se traduira probablement par une légère aggravation des mouvements de terrain et effondrement des cavités souterraines.



3 - ANALYSE DES VULNERABILITES DU PROJET

Le présent chapitre a pour objectif d'identifier les zones les plus sensibles aux aléas climatiques sur le tracé du BHNS.

Ce chapitre a été réalisé avec les entrants disponibles et fournis à ce stade de l'étude du projet.

3.1 - Analyse cartographique des risques climatiques et évaluation de l'impact potentiel du changement climatique sur les risques naturels de la zone d'étude

3.1.1 - Analyse cartographique des risques climatiques en situation actuelle

L'analyse cartographique permet de localiser les différents secteurs du tracé BHNS de Toulon les plus exposés aux différents aléas climatiques.

La représentation cartographique ci-après montre que :

■ Aléa inondation

Une bonne partie du tracé BHNS de la Seyne-sur-Mer jusqu'à la Garde se trouve sur une zone sujette aux inondations (via la remontée de nappe et inondation de cave). Le tracé traverse également plusieurs cours d'eau : le ruisseau de Faveyrolles, le Las, le Régana et l'Eygoutier, rendant la ligne fortement vulnérable aux différentes crues susceptibles de survenir dans la zone.

Une partie du tracé au niveau des portes de l'Ollioules et de Toulon apparaît sujette au risque inondation lié à un aléa fort en raison de plusieurs débordements de cours d'eau et de risque fort d'effondrement (glissement et aggravation du retrait-gonflement des argiles).

Une autre partie du tracé au niveau du port de Toulon et du Pont neuf semble aussi sujette à un aléa fort d'inondation couplé au risque d'effondrement.

La zone du tracé dans la commune de La Garde jusqu'à son terminus est à risque faible d'inondation par débordement de cours d'eau.

On constate que le risque inondation est considéré comme l'un des risques climatiques les plus forts en raison de l'exposition du tracé et des impacts potentiels pouvant surgir sur la ligne. Il sera important de prendre en considération cet aléa dans le dimensionnement général du réseau puisque cela aura un impact potentiel sur la conception et les mesures de réhabilitation de l'ensemble de l'infrastructure et de ses composantes.

■ Aléa submersion marine

La figure 39 ci-dessous montre que le tracé du BHNS est sujette au risque de submersion marine de manière élevée à modérée au niveau des zones basses du littoral de la commune de La Seyne-sur-Mer. Ainsi que vers le port de Toulon. Des dispositions envers les composantes du réseau visant à réduire la vulnérabilité face à cet aléa permettront un fonctionnement normal de la ligne ou, à minima, permettront de supporter sans dommages structurels l'impact d'une submersion marine.

■ Aléa effondrement/ mouvement de terrain/ RGA

Une partie du tracé vers Ollioules (Technopôle de la Mer et portes d'Ollioules jusqu'au port de Toulon est sujette au risque fort d'effondrement (glissement et aggravation du retrait-gonflement des argiles) comme le montre les figures

39 et 40. Ceci s'explique du fait de la topographie et de la composition du sol.

Un risque d'effondrement et d'affaissement est également visible sur la figure 40 au niveau de la Valette-du-Var et de Toulon.

Des chutes de pierres sont également présentes dans la commune de Toulon aux alentours du Mont-Faron, mais qui peuvent venir affecter une partie du tracé en raison de la topographie de cette zone. D'après le dire d'experts, certaines falaises commencent à s'effondrer et des mesures curatives sont mises en place pour limiter les conséquences sur les voies aux alentours du tracé du projet. Il en est de même au niveau de la commune de La Garde, des chutes de pierres sont visibles rendant une partie du terminus du tracé vulnérable à cet aléa.

Des effondrements rocheux sont également visibles au niveau de la partie basse du littoral (notamment au niveau de la corniche De Gaulle).

L'ensemble du tracé se situe en zone d'exposition moyen concernant le RGA, et deux secteurs au niveau de la limite de commune entre Toulon et Ollioules sont en exposition RGA fort. Un affaissement de la structure routière globale sur le secteur de La Garde est également recensé, en raison du phénomène de retraits/ gonflements des argiles. L'infiltration d'eau via des fissures dans le sol est à l'origine de ces affaissements.

On constate que l'ensemble de ces aléas sont présents sur une grande partie du tracé BHNS de manière plus ou moins forte. Des mesures de protection devront donc être prises en compte dans son dimensionnement.

■ Aléa incendie

L'aléa incendie n'est pas recensé sur cette carte mais on note d'après les figures 17 à 19 que celui-ci est bien présent sur la zone d'étude. On souhaite rappeler que le tracé est vulnérable à l'aléa incendie de manière faible à très faible, notamment sur les communes d'Ollioules et de Toulon. Ceci est à prendre en considération, d'autant plus que deux incendies ont été recensés en bordure du port de Toulon et de la mairie en 2022. Cela peut avoir une incidence notamment sur le trafic, mais aussi sur la sécurité des usagers.



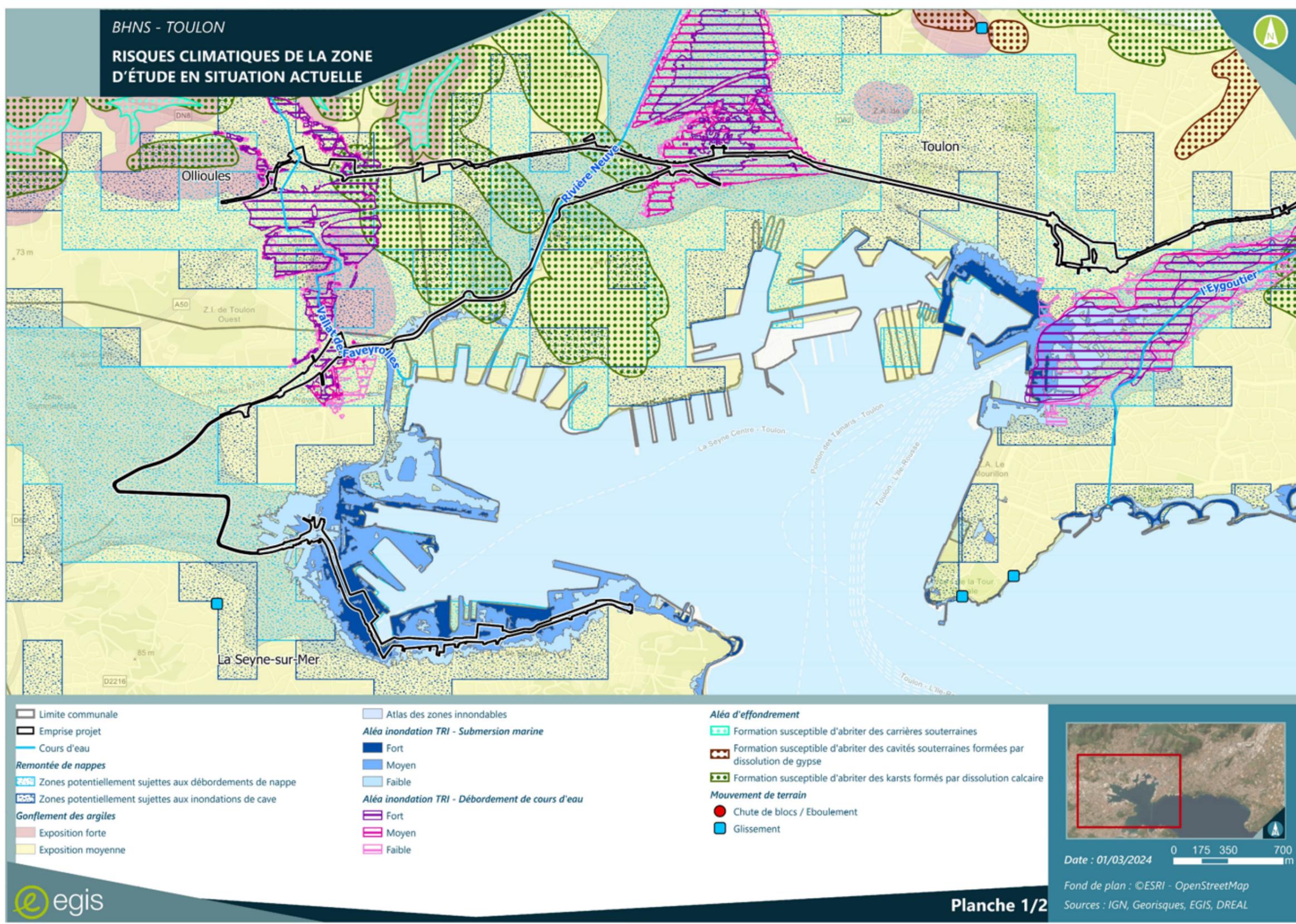


FIGURE 42 : SYNTHÈSE DES RISQUES CLIMATIQUES DE LA ZONE DU TRACÉ BHNS À L'HEURE ACTUELLE (PLANCHE 1/2) – SOURCE : EGIS



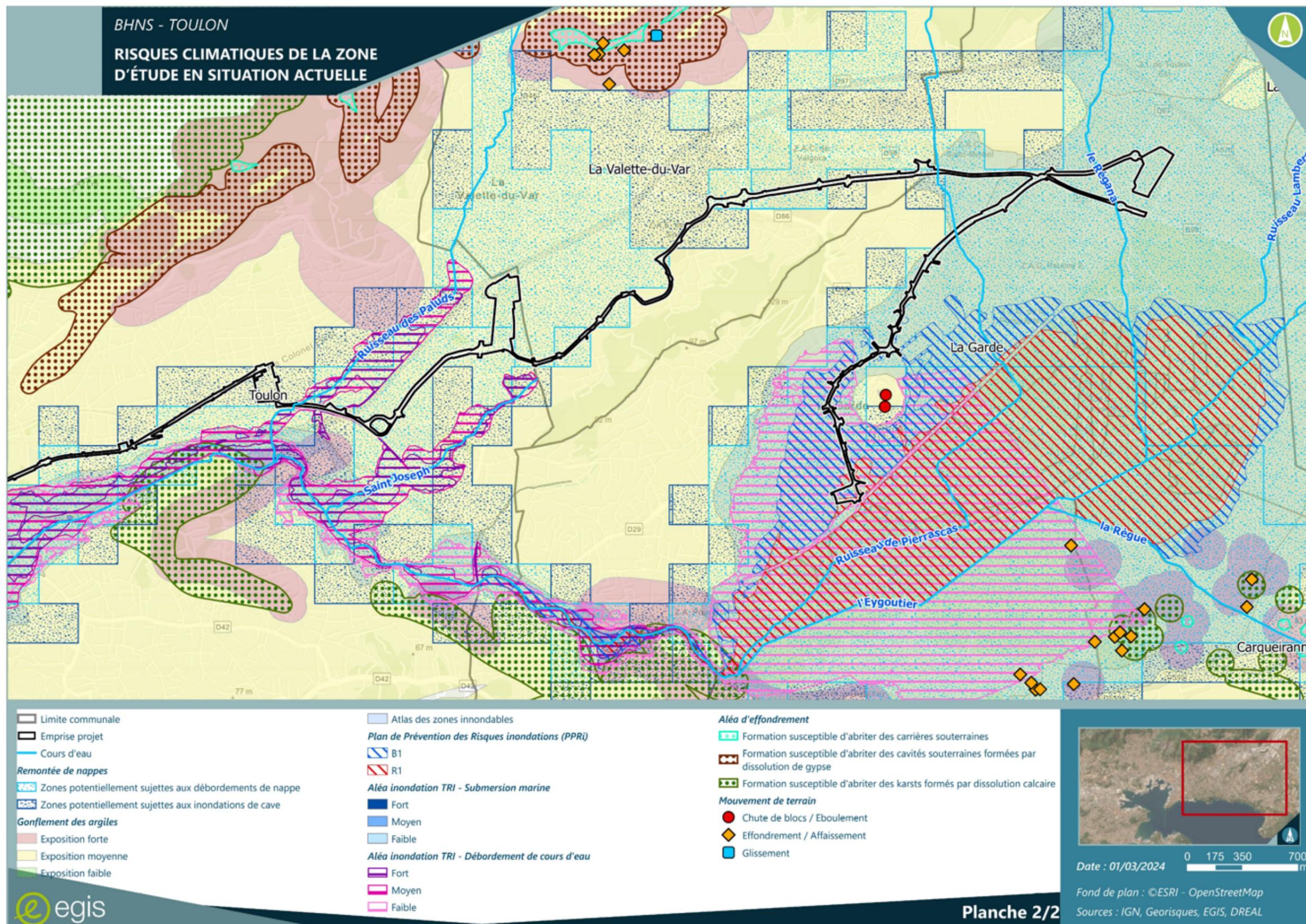


FIGURE 43 : SYNTHÈSE DES RISQUES CLIMATIQUES DE LA ZONE DU TRACE BHNS A L'HEURE ACTUELLE (PLANCHE 2/2) – SOURCE : EGIS



3.1.2 - Évaluation de l'impact potentiel du changement climatique sur les risques naturels de la zone d'étude

Parmi les enseignements de l'analyse des projections climatiques sur la zone d'étude, il convient de retenir que plusieurs aléas climatiques devraient s'aggraver dans les décennies à venir : inondations, submersion marine, vagues de chaleurs, sécheresse, feux de forêt. À l'inverse, l'élévation globale de température va considérablement réduire certains aléas tels que le brouillard, et le nombre de jours de gel qui sera en très net recul. L'ampleur de ces évolutions est difficile à prédire, mais elles apparaissent significatives dès 2050.

Par ailleurs, l'évolution de la moyenne des précipitations des jours de pluie apparaît relativement faible, mais témoigne néanmoins d'une **augmentation des précipitations lors des épisodes pluvieux**, ce qui est susceptible de saturer les sols et de déclencher des **mouvements de terrain et effondrement des cavités souterraines** assez nombreuses dans la zone d'étude.

On constate également que même si le cumul des précipitations semble légèrement diminuer et que la **fréquence des évènements pluvieux extrêmes tend à augmenter davantage que leur intensité**, l'évolution future des précipitations extrêmes reste aujourd'hui assez incertaine quantitativement. Les travaux de recherche en cours devraient permettre de progresser sur ce sujet d'une part en combinant mieux les ensembles de simulations globales et régionales de climat et d'autre part en utilisant des modèles climatiques de nouvelle génération pouvant atteindre les échelles kilométriques et représentant mieux la convection atmosphérique. Ces nouveaux modèles devraient également permettre d'étudier l'évolution possible des cumuls de précipitations horaires.

Toutefois, il sera nécessaire de prendre en considération ces évolutions dans le dimensionnement de certaines composantes du réseau (ouvrage d'art, chaussée, bassin de rétention, etc.).

Pour le cas de l'augmentation de température, les **impacts vont s'accroître sur certaines composantes de l'infrastructure** tels qu'un vieillissement accéléré de la voie, des remontées de bitume, petites déformations de l'enrobé, comme on peut le voir dès à présent. D'après les dires d'experts, des ornières sur les zones de freinage au niveau des zones d'arrêt de bus ont également tendance à se former déjà aujourd'hui, dues à la chaleur.

La hausse des températures va également avoir un impact négatif sur le **nombre d'incendies** qui vont avoir tendance à augmenter sur le moyen et long terme.

Il apparaît important de souligner que l'alternance entre des évènements pluvieux intenses et un assèchement de la zone d'étude pourra localement **accentuer la problématique de retrait-gonflement des argiles**, dont l'ensemble de la zone est déjà moyennement vulnérable. Cela pourra entraîner des petites déformations de l'enrobé et d'autres conséquences sur certaines composantes en fonction de la zone.

Pour ce qui est du cas particulier de l'**aléa inondation**, notons que l'ensemble du tracé est concerné par ce risque, et qu'une partie du tracé se trouve déjà dans des zones à risque fort/élevé. Les tendances montrent que le risque d'inondation par débordement des cours d'eau/remontée de nappe et crue torrentielle va rester un risque climatique fort. Ces événements extrêmes vont augmenter en intensité et en fréquence dans les décennies à venir. Il est donc important d'intégrer cette augmentation du risque dans la conception du BHNS afin de s'assurer de la sécurité de la ligne.

Pour le cas des vents, les projections montrent des incertitudes fortes sur cet indicateur et une tendance de modification future n'est pas identifiable, hormis le fait que l'intensité des tempêtes devrait augmenter d'ici le milieu du siècle et au-delà. Ainsi, en termes d'impacts potentiels sur l'infrastructure routière, il est considéré que l'impact du vent à moyen et long terme est similaire à celui d'aujourd'hui.

L'impact principal lié à cet aléa concerne la projection d'arbres et de branches ou de divers objets (type poubelle) sur la voie mais à titre d'exemple, des mesures de suivi des arbres et un élagage préventif sont réalisés pour limiter les risques et sécuriser les routes.

3.2 - Vulnérabilité du projet et impacts des aléas climatiques en situation actuelle

3.2.1 - Sensibilité et vulnérabilité de l'infrastructure

Les principales composantes des infrastructures routières potentiellement vulnérables aux aléas climatiques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

—



TABLEAU 8: TABLEAU DE NOTATION DE LA VULNERABILITE EN SITUATION ACTUELLE

Composante potentiellement vulnérable	Aléas climatiques et conséquence	Impacts fonctionnels/structurels potentiels	Notation de la vulnérabilité	Appréciation de la vulnérabilité
Ensemble de l'infrastructure / Disponibilité de l'infrastructure	<p>Précipitations sur le bassin versant- Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux/ remontée de nappes Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible)</p>	<p>Dommages structurels, notamment de la chaussée (possible érosion, impacts sur la capacité portante de la chaussée et des accotements non revêtus).</p> <p>En ce qui concerne l'impact des remontées de nappe sur les infrastructures routières, par phénomène de sous-pression consécutive à l'invasion de l'eau dans le sol, les couches de granulats utilisées dans la fabrication des routes se trouvent désorganisées. Des tassements différentiels peuvent mener à des désordres importants sur la voie.</p> <p>Problème du dimensionnement du réseau.</p>	3	<p>Risque d'inondation par remontée de nappe : Les données disponibles sur le site Géorisques nous permettent d'observer les zones sujettes à débordement de nappe ou inondation de cave, Cf : Figure 11. On observe qu'en situation actuelle tout le tracé est concerné par ce risque.</p> <p>Les secteurs de La Garde, Grand Var Université (La-Valette-du-Var) connaissent de gros débordements en cas d'évènements extrêmes.</p>
	<p>Précipitations sur le bassin versant- Inondation dû à un problème de drainage des eaux / débordement des cours d'eau Inondation de la surface de la route (rendant circulation impossible)</p>	<p>Baisse de disponibilité en raison des travaux de maintenance, remplacement, réhabilitation ou de l'arrêt de la circulation, embouteillages, risques d'accidents (liés aux risques d'aquaplaning et à la baisse de disponibilité). Dégradation du réseau dans sa globalité.</p>	3	<p>Fort risque d'inondation par débordement des cours d'eau. Le tracé BHNS traverse plusieurs cours d'eau : le ruisseau de Favayrolles, le Las, Le Régana et l'Eygoutier. La ligne est donc fortement exposée aux crues torrentielles et aux inondations par débordement des cours d'eau.</p> <p>Le zonage du PPRi permet de faire ressortir que le tracé traverse des zones de risques fort et moyen localement, ainsi que le long des cours d'eau interceptant la zone d'étude.</p> <p>Il y a également un risque de débordement dû à un mauvais entretien ponctuel des ouvrages hydrauliques et d'assainissement qui empêcherait l'évacuation des eaux en aval.</p> <p>Le département du Var est régulièrement soumis à des inondations, sur des épisodes de précipitations très intenses comme ceux de 2010 ou la tempête Alex de 2020 les phénomènes de ruissellement s'additionnent aux inondations de cours d'eau.</p>
	<p>Submersion marine – Vents violents et précipitations Inondation de la surface de la route (rendant circulation impossible)</p>	<p>Baisse de disponibilité du réseau en raison des travaux de maintenance, ou de réhabilitation. Arrêt de la circulation. Risques d'accidents sur la voie.</p>	3	<p>La commune de La Seyne-sur-Mer est confrontée à des problématiques de submersion marine, notamment sur le quai Saturnin Fabre et Gabriel Péri où passe le tracé. La zone de la pyrotechnie et le port de Toulon est également sujette à un risque moyen de submersion marine.</p>



Composante potentiellement vulnérable	Aléas climatiques et conséquence	Impacts fonctionnels/structurels potentiels	Notation de la vulnérabilité	Appréciation de la vulnérabilité
	Feux de forêt - Incendie	Baisse de disponibilité du réseau en raison des travaux de maintenance, ou de réhabilitation. Arrêt de la circulation. Risques d'accidents sur la voie.	1	Le tracé sur les communes d'Ollioules et de Toulon passe sur des zones d'aléas faible à très faible concernant les incendies. Concernant les feux de forêt, le risque est présent du fait de la proximité du massif forestier (Faron). Des incendies se sont produits en 2022 au niveau du port de Toulon mais qui étaient liés à l'activité portuaire (incendie due à un porte-conteneur à et un autre à bord du sous-marin nucléaire Perle).
Chaussée et structure de la voie	Chute de pierres, effondrement, glissement : Mouvement de terrain pouvant affecter la structure routière	Baisse de disponibilité du réseau en raison des travaux de maintenance, ou de réhabilitation. Arrêt de la circulation. Risques d'accidents sur la voie. Affaissement de la structure routière. Dégradation des conditions de conduite.	2	Autour du Faron : chutes de pierres : les falaises commencent à s'effondrer. Sur le bord de mer également : à batterie basse et à la corniche De Gaulle il y a des effondrements rocheux. Au niveau de la Garde également, quelques chutes de pierres ont été recensée et peuvent affecter une partie du terminus du tracé. Au niveau du secteur de La Seyne-sur-Mer il y a eu des affaissements de la chaussée dus à des travaux d'assainissement à proximité du port mais cela n'est pas la conséquence d'évènements pluvieux extrêmes. À ce jour, aucun évènement de mouvement de terrain n'est répertorié directement sur le tracé..
Chaussée	Evènements pluvieux (longues périodes de pluie)(plusieurs jours de pluie pouvant atteindre 100mm/jour) Evènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Visibilité réduite lors de fortes pluies	Chaussée saturée en raison des eaux de pluies. Situations dangereuses pour les usagers de la voie.	2	Risque d'inondation dû à des débordements sur la chaussée.
	Sécheresse (jours secs consécutifs) Evènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	Dégradation des conditions de conduite.	1	Sur La Seyne-sur-Mer et Toulon, des remontées d'hydrocarbures sur la chaussée sont présentes. En effet, avec les fortes chaleurs, les chaussées suintent et rejettent les hydrocarbures : la route devient alors glissante (notamment sur les giratoires à Toulon) Sur La Seyne-sur-Mer, le long des voies SNCF, la route est souvent glissante associée à des vitesses automobiles trop élevées cela génère des accidents au niveau des carrefours à sens giratoire.



Composante potentiellement vulnérable	Aléas climatiques et conséquence	Impacts fonctionnels/structurels potentiels	Notation de la vulnérabilité	Appréciation de la vulnérabilité
	Givre, verglas, neige Evènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Disponibilité de la voie.	1	Sur Toulon, dans les années 1980 il y avait ces phénomènes de verglas/neige. Désormais ils sont bien plus rares. Sur La Seyne-sur-Mer : En cas d'épisode neigeux, les transports en commun sont figés. Il y a également eu salaison des grands axes de circulation.
	Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur) Perte d'intégrité de la chaussée - Fissuration, orniérage, fatigue	Risque de fonte de la couche roulante de la chaussée. Augmentation de la fissuration, de l'orniérage, de la fragilisation des liants bitumineux. Perte de texture de surface.	2	Risque de fonte et d'orniérage au niveau de la chaussée lors des fortes chaleurs.
	Fortes chaleurs / vague de chaleur Perte d'intégrité de la chaussée - Fissuration, orniérage, fatigue - Fonte de la couche roulante de la chaussée	Déformation ou fissuration de la chaussée. Déformation/affaissement de l'enrobée suivant la déformation du terrain ou fissuration de la chaussée en cas de mouvement de terrain. Affaissement de la structure routière. Dégradation des conditions de conduite.	3	À Toulon des déformations de l'enrobé dues à la chaleur et à la montée en température sont régulièrement constatées. Sur les zones de freinage des ornières se forment, c'est notamment le cas sur l'avenue de la République (hors tracé). Il y a des reprises de chaussées très fréquentes. Un enrobé clair est privilégié dans le centre-ville : la fréquence de réhabilitation de cet enrobé dépend du trafic routier supporté. L'usure des pneus noircit le revêtement. À La Seyne-sur-Mer il y a à certains endroits une absence de structures de chaussées : quelques voies sont sans structures, Le boulevard du 4 septembre (proche tracé BHNS) est concerné. En moyenne, les structures routières sont renouvelées tous les 10 ans. Les voies sur le quartier Berthe ont été refaites (chaussées neuves).
	Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes Chute d'arbres	Risque de chute d'arbres sur la route. Risques d'accident sur la voie	1	Toulon et La Seyne-sur-Mer sont en pleine zone de mistral et donc impactées par des vents violents.



Composante potentiellement vulnérable	Aléas climatiques et conséquence	Impacts fonctionnels/structurels potentiels	Notation de la vulnérabilité	Appréciation de la vulnérabilité
	Gonflement des argiles	Affaissement de la structure routière du tracé. Baisse de la disponibilité du réseau due à des travaux de réhabilitation d'une partie du tracé.	2	Les formations argileuses couvrent près de 75 % de la surface totale de Toulon. L'ensemble de l'aire d'étude se situe dans un secteur où sont recensées des formations argileuses et marneuses. Le risque de mouvements de terrain différentiels consécutifs au retrait et au gonflement des argiles est présent sur la zone d'étude. La majorité de la zone d'étude se situe en zone d'aléa moyen. Deux secteurs localisés sont situés en zone d'aléa de Retrait Gonflement des Argiles (RGA) fort au niveau de la limite de commune entre Toulon et Ollioules (cf. Figure 15)
	Précipitations moyennes saisonnières et annuelles Perte d'intégrité de la structure routière - Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des passerelles	Dommages structurels sur les ouvrages d'art	2	Au niveau du secteur de la Seyne-sur-Mer, le tracé se trouve dans une zone de marais, avec des remontées de nappes, entraînant des dommages sur les ouvrages d'art.
	Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes Chute d'arbres	Risque de chute d'arbres sur la route, risques de dommages structurels sur les ouvrages d'art	1	L'ensemble du tracé se trouve en pleine zone de mistral et donc impactées par des vents violents.
Ouvrage Hydraulique (buses, bassin de rétention)	Précipitations sur le bassin versant Inondation dû à un problème de drainage des eaux	Risque de dommages structurels sur les ouvrages hydrauliques	1	Ces ouvrages devront être dimensionnés ultérieurement.
Équipements (P+R, abris de bus, signalisation, écrans, etc.)	Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes Chute d'arbres	Risque de chute d'arbres sur la route, risques de dommages structurels sur les différents équipements	1	Toulon et La Seyne-sur-Mer sont en pleine zone de mistral et donc impactées par des vents violents. Le nombre de tempêtes ayant affecté la région Provence-Alpes-Côte d'Azur est très variable d'une année sur l'autre (CF. figure 14) Sur l'ensemble de la période 1980 - 2021, on n'observe pas de tendance significative du nombre de tempêtes affectant la région. Toutefois, après une période peu riche en tempêtes dans les années 2000, le nombre de tempêtes est à la hausse au cours de la dernière décennie.
	Vitesse de vent (coups de vent et rafales) Événements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Dégradation structurelle des équipements	1	Comme susmentionné, l'ensemble du tracé se trouve dans une zone de mistral donc impactés par des vents violents. Cela peut entraîner une perte de contrôle des véhicules, notamment sur les axes du tracé dont la vitesse est limitée entre 70 et 80 km/h. En zone urbaine dense, les effets du mistral sont réduits de par les bâtiments qui limitent la diffusion du vent.

FIGURE 44: VULNERABILITE DU PROJET DE BHNS EN SITUATION ACTUELLE, EN FONCTION DES COMPOSANTES DE L'INFRASTRUCTURE



3.2.2 - Cartographie de la vulnérabilité du tracé de BHNS aux aléas climatiques en situation actuelle

La notation précédente a été élaborée en croisant l'ensemble des aléas climatiques sur la ligne de BHNS, en situation actuelle. Le tableau permettant d'arriver à ce résultat est présenté en Annexe 2.



FIGURE 45 : VULNERABILITE DU TRACÉ DE BHNS AUX ALEAS CLIMATIQUES EN SITUATION ACTUELLE (PLANCHE 1/2) – SOURCE : EGIS



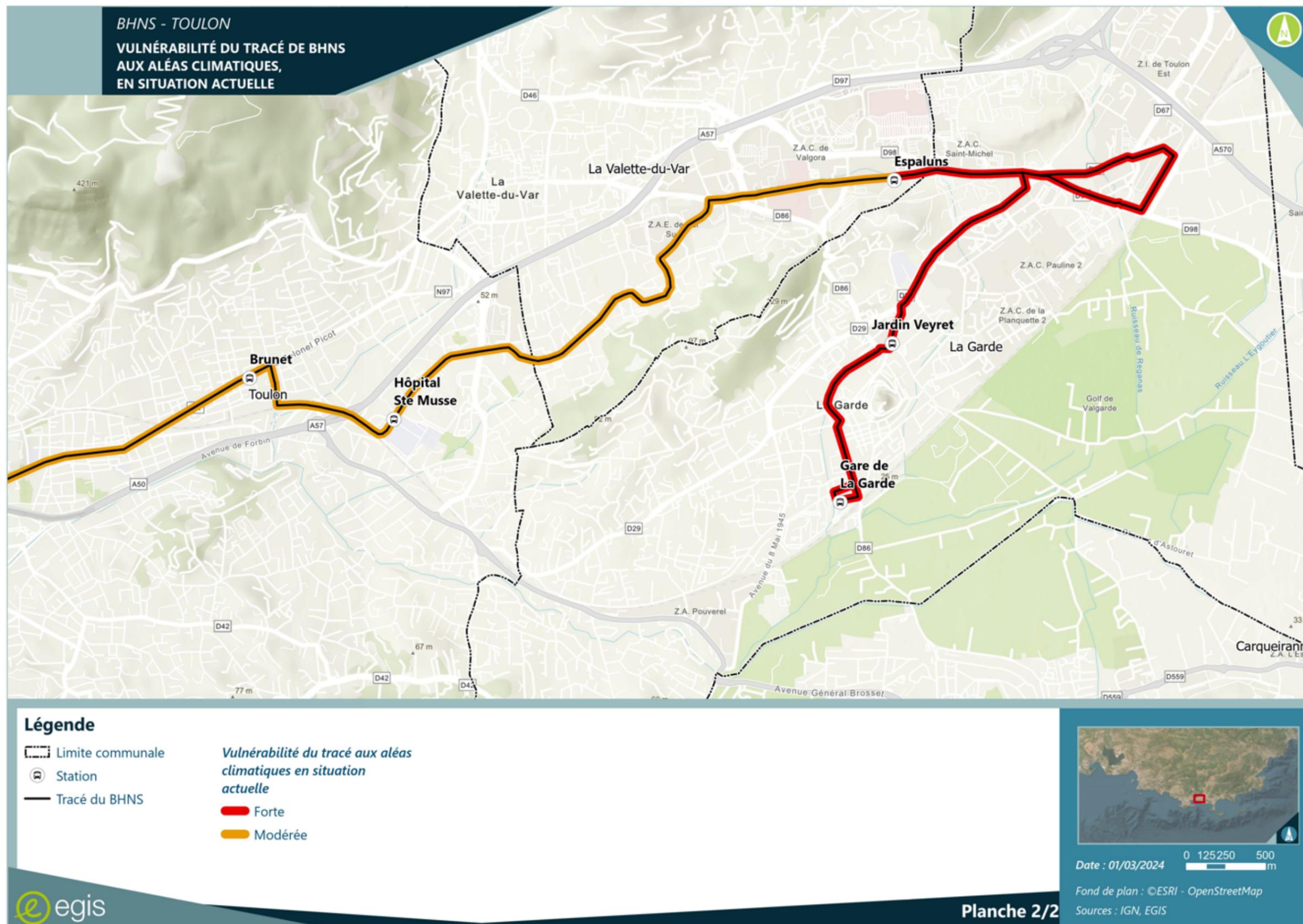


FIGURE 46 : VULNÉRABILITÉ DU TRACÉ DE BHNS AUX ALÉAS CLIMATIQUES EN SITUATION ACTUELLE (PLANCHE 1/2) – SOURCE : EGIS



3.3 - Vulnérabilité du projet et impacts des aléas climatiques en situation future

Le tableau ci-après présente l'évolution de la vulnérabilité du projet aux aléas climatiques en situation future. L'échelle de notation est la suivante : « + » si la vulnérabilité risque de s'aggraver ; « = » si la vulnérabilité ne tend pas à significativement être modifiée ; « - » si la vulnérabilité risque de diminuer.



Composante potentielle-ment vulnérable	Aléas climatiques et conséquence	Impacts fonctionnels/structurels potentiels	Notation de la vulnérabilité	Evolution à prévoir de la vulnérabilité future
Ensemble de l'infrastructure / Disponibilité de l'infrastructure	Précipitations sur le bassin versant- Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux/ remontée de nappes Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible)	Domages structurels, notamment de la chaussée (possible érosion, impacts sur la capacité portante de la chaussée et des accotements non revêtus). En ce qui concerne l'impact des remontées de nappe sur les infrastructures routières, par phénomène de sous-pression consécutive à l'envahissement de l'eau dans le sol, les couches de granulats utilisées dans la fabrication des routes se trouvent désorganisées. Des tassements différentiels peuvent mener à des désordres importants sur la voie. Problème du dimensionnement du réseau.	3	+
	Précipitations sur le bassin versant- Inondation dû à un problème de drainage des eaux / débordement des cours d'eau Inondation de la surface de la route (rendant circulation impossible)	Baisse de disponibilité en raison des travaux de maintenance, remplacement, réhabilitation ou de l'arrêt de la circulation, embouteillages, risques d'accidents (liés aux risques d'aquaplaning et à la baisse de disponibilité). Dégradation du réseau dans sa globalité.	3	+
	Submersion marine – Vents violents et précipitations Inondation de la surface de la route (rendant circulation impossible)	Baisse de disponibilité du réseau en raison des travaux de maintenance, ou de réhabilitation. Arrêt de la circulation. Risques d'accidents sur la voie.	3	+
	Feux de forêt - Incendie	Baisse de disponibilité du réseau en raison des travaux de maintenance, ou de réhabilitation. Arrêt de la circulation. Risques d'accidents sur la voie.	1	+
Chaussée et structure de la voie	Chute de pierres, effondrement, glissement : Mouvement de terrain pouvant affecter la structure routière	Baisse de disponibilité du réseau en raison des travaux de maintenance, ou de réhabilitation. Arrêt de la circulation. Risques d'accidents sur la voie. Affaissement de la structure routière. Dégradation des conditions de conduite.	2	+
Chaussée	Evènements pluvieux (longues périodes de pluie) Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Visibilité réduite lors de fortes pluies	Chaussée saturée en raison des eaux de pluies. Situations dangereuses pour les usagers de la voie.	2	=
	Sécheresse (jours secs consécutifs) Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	Dégradation des conditions de conduite.	1	+
	Givre, verglas, neige Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Disponibilité de la voie.	1	-
	Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur) Perte d'intégrité de la chaussée - Fissuration, orniéage, fatigue	Risque de fonte de la couche roulante de la chaussée. Augmentation de la fissuration, de l'orniéage, de la fragilisation des liants bitumineux. Perte de texture de surface.	2	+
	Fortes chaleurs / vague de chaleur Perte d'intégrité de la chaussée - Fissuration, orniéage, fatigue - Fonte de la couche roulante de la chaussée	Déformation ou fissuration de la chaussée. Déformation/affaissement de l'enrobé suivant la déformation du terrain ou fissuration de la chaussée en cas de mouvement de terrain. Affaissement de la structure routière. Dégradation des conditions de conduite.	3	+
	Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes Chute d'arbres	Risque de chute d'arbres sur la route. Risques d'accident sur la voie	1	=



Composante potentielle-ment vulnérable	Aléas climatiques et conséquence	Impacts fonctionnels/structurels potentiels	Notation de la vulnérabilité	Evolution à prévoir de la vulnérabilité future
	Gonflement des argiles	Affaissement de la structure routière du tracé. Baisse de la disponibilité du réseau due à des travaux de réhabilitation d'une partie du tracé.	2	+
Ouvrage d'art	Précipitations moyennes saisonnières et annuelles Perte d'intégrité de la structure routière - Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des passerelles	Dommages structurels sur les ouvrages d'art	2	=
	Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes Chute d'arbres	Risque de chute d'arbres sur la route, risques de dommages structurels sur les ouvrages d'art	1	=
Ouvrage Hydraulique (buses, bassin de rétention)	Précipitations sur le bassin versant- Inondation dû à un problème de drainage des eaux	Risque de dommages structurels sur les ouvrages hydrauliques	1	=
Équipements (P+R, abris de bus, signalisation, écrans, etc.)	Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes Chute d'arbres	Risque de chute d'arbres sur la route, risques de dommages structurels sur les différents équipements	1	=
	Vitesse de vent (coups de vent et rafales) Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Dégradation structurelle des équipements	1	=



3.4 - Prise en compte du changement climatique dans le projet de BHNS de Toulon

Considérant les données disponibles, **il n'est pas envisageable à ce stade de définir des mesures d'adaptation précises** sur le tracé de BHNS. Les recommandations suivantes seront à étoffer avec la conception et, en fonction du risque résiduel, avec l'exploitation. Toutefois, d'après les dires des experts interrogés et des projections climatiques futures, nous pouvons faire ressortir les éléments suivants :

■ **Durée de vie des composantes du tracé BHNS**

TABLEAU 9: DUREE DE VIE DES COMPOSANTES DU TRACÉ BHNS

Composante de l'infrastructure concernée	Fréquence d'entretien/ durée de vie
Ensemble de l'infrastructure	100 ans
Chaussée	10 ans (Réfection couche de roulement) 30 ans minimum (droit des quai bus) 20 ans minimum (hors quai bus)
Ouvrage d'art	30 ans
Ouvrage hydraulique	40 ans
Équipements (signalisation, abris bus, écrans)	15 ans

■ **Préconisations relatives à la prise en compte de l'adaptation au changement climatique**

- **Redimensionner les ouvrages hydrauliques :**

Les ouvrages seront à dimensionner en intégrant le changement climatique : notamment les réseaux d'eau pluviale. C'est également le cas des exutoires pluviaux sur La Seyne-sur-Mer, qui sont pour la plupart déjà immergées en cas de fortes intempéries et vulnérables aux submersions marines. Les tampons sont également directement positionnés au niveau des routes qui en cas d'inondations de ces dernières entraînent la saturation des réseaux. Des solutions de redimensionnement devront donc être proposées.

Une politique globale de gestion des eaux apparaît également nécessaire à la vue du nombre de cours d'eau traversant le tracé.

- **Favoriser l'utilisation de nouveaux matériaux pour réduire la réverbération de la chaleur :**

Des nouveaux matériaux pourront être utilisés pour réaliser les chaussées, notamment via la couleur : chaussées claires. Des réflexions à ce sujet sont en cours avec le CEREMA et la Région sur l'adaptation des structures routières au changement climatique.

- **Favoriser l'environnement/ Biodiversité :**

Des plantations d'arbres devront être prévues sur une partie longeant le tracé. Les espèces choisies devront tenir compte des nouvelles projections climatiques de la zone. Il a déjà été demandé de désimperméabiliser des

parkings. Des mesures de rétention sont également considérées dans les écoquartiers.

- **Avoir un entretien des chaussées plus régulier :**

Des entretiens plus fréquents des chaussées devront être faits pour éviter les phénomènes d'orniérages et de fissuration.

- **Renouveler la couche d'enrobé :**

Les nouvelles couches de roulement intègrent les changements climatiques, avec un choix de bitumes plus ou moins durs (résistant mieux aux fortes chaleurs).

Les phénomènes d'orniérages sont également limités en fonction du choix des enrobés.

Tous ces éléments sont évidemment à mettre en balance avec les problématiques de disponibilité foncière.

ANNEXES

Annexe 1 – Comptes rendus des deux entretiens

BHNS TPM

Entretien avec des gestionnaires du réseau n°1

21.12.2023

Participants :

Présents :

Sébastien COLLIN Direction déplacements et transports, en charge notamment des études de circulation, qui remplace M. ALARCON

Gérald PACARIN (La Seyne-sur-Mer) Direction Générale des Services Techniques Territoires et Proximité - La Seyne-sur-Mer

Natalène PENIN (EGIS) Adaptation et atténuation au changement climatique

Excusés :

Philippe ALARCON (Antenne de Toulon) Adjoint Direction d'Antenne : excusé

Frédéric ODDONE (Antenne de Toulon) Direction des Infrastructures : excusé

Frédéric GIRAUD (Antenne de Toulon) Direction d'Antenne : excusé

1. PRINCIPES DE L'ENTRETIEN

L'équipe Adaptation au changement climatique du bureau d'études EGIS a en charge la **réalisation de l'étude de vulnérabilité du projet** de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) de Toulon au changement climatique. Cette dernière doit permettre de contribuer à la **complétude de l'EIE du projet** de BHNS de la Métropole de Toulon Provence Méditerranée.

Les effets du changement climatique sur le projet **sont étudiés, afin de les prévenir, d'assurer la sécurité des installations et d'optimiser les coûts de maintenance.**

Cette étude vise également à **permettre aux équipes intervenant sur la gestion du réseau d'appréhender les enjeux en lien avec le changement climatique.**

Une étude de vulnérabilité au changement climatique d'un projet se décompose en plusieurs étapes, notamment **l'analyse de l'exposition et de la sensibilité**. Son croisement correspond alors à la vulnérabilité du projet. Nous allons aujourd'hui nous pencher sur l'analyse de l'exposition.



Les **notions de vocabulaire du changement climatique** sont rappelées ci-dessous :

6. **Aléa** : les aléas tels que considérés dans la méthodologie CEREMA¹⁶ sont les événements climatiques exogènes aux systèmes de transports ainsi que leurs conséquences pour les territoires. Les aléas dépendent en partie¹⁷ de variables climatiques (une ou la combinaison de plusieurs d'entre elles), qui sont caractérisées par une intensité, une probabilité d'occurrence spatiale et une probabilité d'occurrence temporelle.
7. **Exposition** : Elle correspond à la susceptibilité d'un système à subir des dommages, c'est-à-dire degré auquel il est exposé à un aléa. Elle se caractérise par l'analyse du climat passé et futur.
8. **Sensibilité** : Elle correspond au degré auquel un système est influencé par la variabilité du climat ou les changements climatiques. La sensibilité peut être physique et/ou fonctionnelle.
9. **Vulnérabilité** : Elle correspond à la propension ou prédisposition d'un système à subir des dommages. Elle englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité et l'incapacité à faire face et/ou à s'adapter.
10. **Risque** : Il correspond aux conséquences des impacts potentiels de tendances ou d'événements climatiques sur un système. Le risque est le croisement entre la vulnérabilité physique de l'infrastructure et les aléas auxquels elle peut être soumise.

Ces entretiens visent à **valoriser le retour d'expérience des gestionnaires de réseau** afin d'enrichir l'étude de vulnérabilité du projet au changement climatique. L'idée est de faire appel à la mémoire des gestionnaires du réseau et à leur connaissance du tracé du projet.

L'entretien va se dérouler comme suit :

- Rappel du projet
- Sélection des aléas pertinents sur la zone d'étude
- Caractérisation de ces aléas (description et localisation sur le tracé)
- Description des mesures de protections déjà en place
- Présentation des projections climatiques
- Conséquences du changement climatique sur le projet
- Vulnérabilité fonctionnelle

¹⁶ CEREMA. *Vulnérabilité et risques : les infrastructures de transport face au climat*. Bron : CEREMA, 2019. Collection : Connaissance. ISBN : 978-2-37180-426-5

² Les aléas peuvent aussi dépendre de variables non climatiques tels que la topographie, l'élévation des océans, le couvert végétal, etc.

2. MISE EN ŒUVRE

2.1. Présentation du projet

Le projet de BHNS vise à améliorer le confort et la qualité globale du réseau de transport en commun de la Métropole Toulon Provence Méditerranée (appelé réseau Mistral), afin de le rendre encore plus efficace et donc plus attractif.

Pour cela, le niveau de service se veut être renforcé :

- Site propre sur + de 70% de l'itinéraire,
- Priorité aux feux et dans les carrefours,
- Fréquence élevée : 7 minutes en période de pointe du matin / 8 minutes en période de pointe du soir / 13 minutes en période creuse
- Régularité renforcée,
- Amplitude horaire élargie,
- Véhicules propres au design et au confort de dernière Génération,
- Parfaite accessibilité pour les personnes à mobilité réduite,
- Renforcement du service embarqué,
- Information dynamique en station.

Le tracé s'étendra sur environ **28 kilomètres**, reliant **La Seyne-sur-Mer** et le Technopôle de la Mer d'Ollioules à l'ouest, aux gares de **La Garde-centre et de la Pauline Hyères** à l'est, en passant par les communes de Toulon et La Valette-du-Var.



FIGURE 47: PRINCIPE D'AMENAGEMENT DE STATION DU BHNS DE LA METRO-POLE DE TOULON PROVENCE MEDITERRANEE

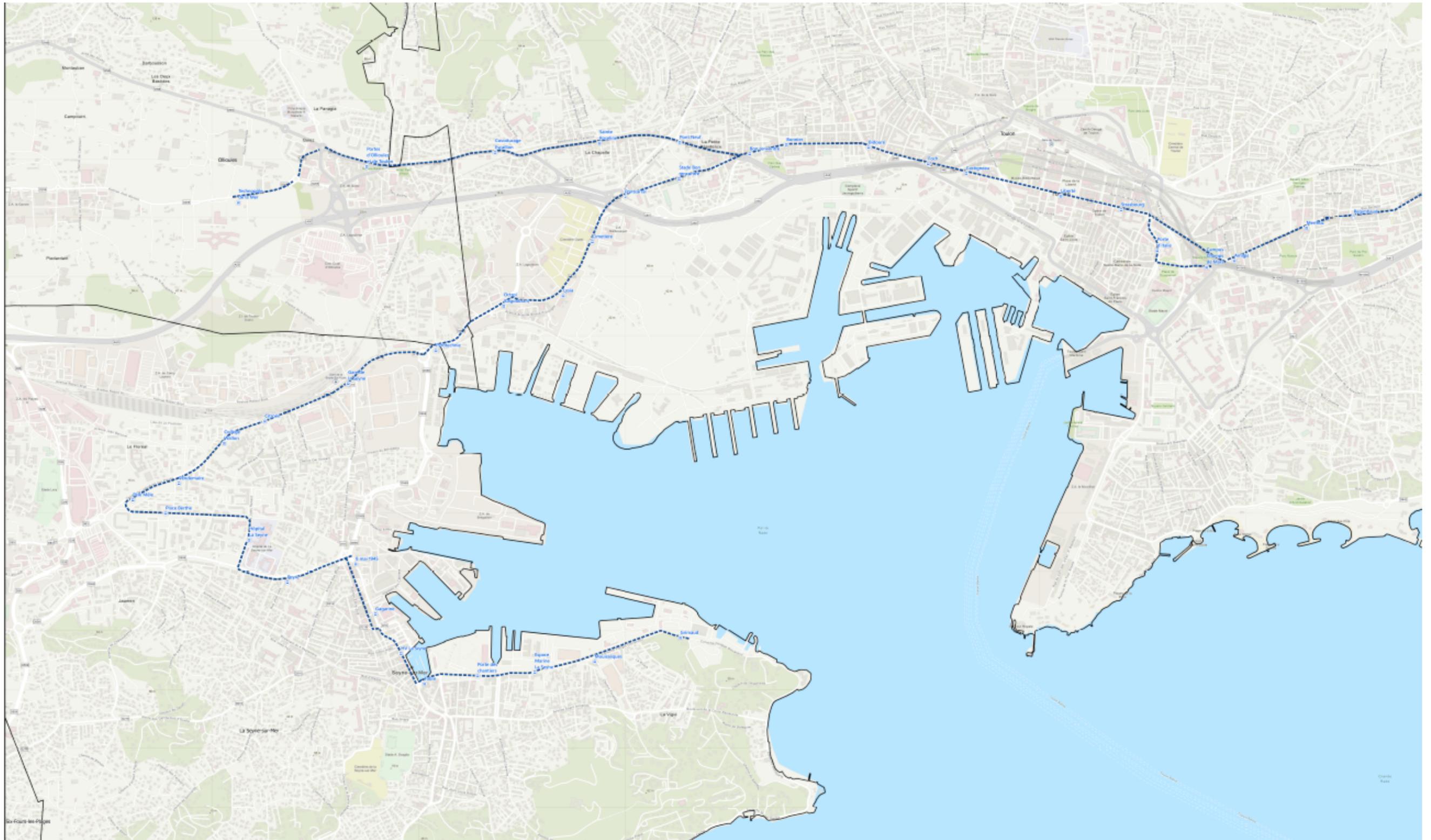


FIGURE 48 : PRESENTATION DU PROJET LORS DE CES ENTRETIENS 1/2 – BHNS DE TOULON, EGIS



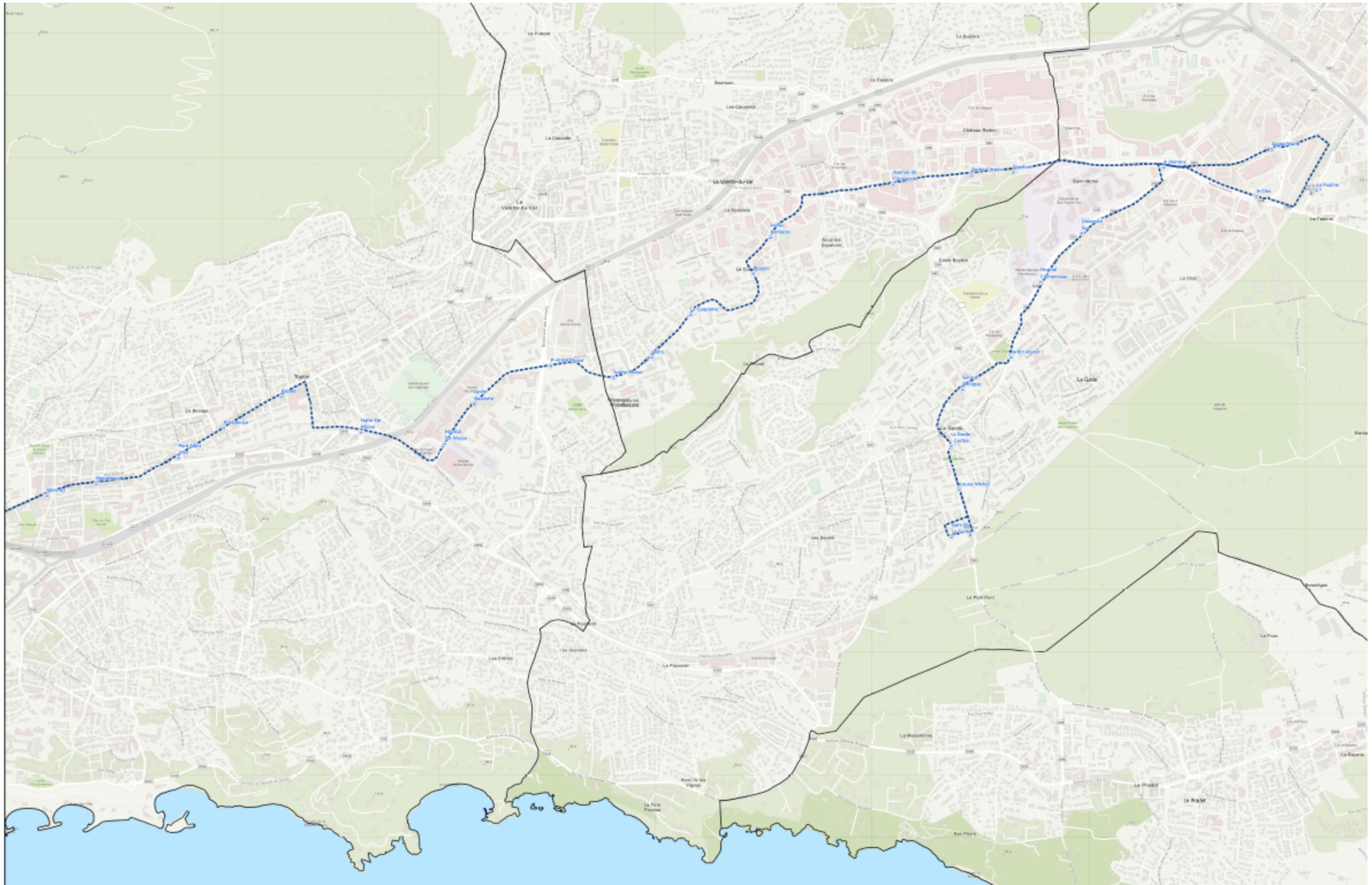


FIGURE 49: PRESENTATION DU PROJET LORS DE CES ENTRETIENS 2/2 – BHNS DE TOULON, EGIS

2.2. Sélection des aléas climatiques pertinents sur la zone d'étude

Le tableau ci-après présente une liste complète des **aléas climatiques susceptibles d'affecter une infrastructure routière et les conséquences de ces aléas**.

Le critère de sélection est la possible occurrence des aléas (menaces), qu'ils aient déjà été observés ou non sur les axes routiers de la zone d'étude.

Il convient de noter qu'à ce stade de la démarche aucune considération n'est accordée aux éventuels changements climatiques.

Action requise : Sélectionner (via remplissage de la colonne Pertinence par « Oui » ou « Non ») les aléas en pertinence avec la zone d'étude (et zone d'étude étendue)

Tableau : Aléas climatiques identifiés dans la zone d'étude

Menaces (aléas) et conséquence		Paramètre climatique (indicateur)	Pertinence	Caractérisation de la zone d'étude (étape 2.3)	Vulnérabilité fonctionnelle (étape 2.7)
Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible)	Inondation due à une défaillance du système de défense contre les inondations des rivières et des canaux	Précipitations sur le bassin versant	Non		
	Inondation dû à un problème de drainage des eaux	Précipitations sur le bassin versant	Non		
	Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux	Précipitations sur le bassin versant	Oui	Sur La Seyne-sur-Mer, le Boulevard Toussaint Merle a déjà été sous 30 cm d'eau : ce sont des évènements très ponctuels. Le dernier date d'il y a environ 5 ans. Les petites rues, qui sont perpendiculaires au tracé BHNS sur l'avenue Maréchal Juin sont souvent inondées. Sur Toulon, le carrefour Villevieille est souvent inondé. L'an dernier (2022) il y a eu une alerte inondation : les ouvrages qui passent sous l'arsenal Toulon Malbousquet ont été inondés. Etant équipés de grilles, lors d'inondations les déchets débordent, y compris sur la route.	Fort
	Inondation par remontée de nappe	Précipitations sur le bassin versant	Non		
	Submersion marine	Vents violents et précipitations	Oui	La Seyne-sur-Mer : problématiques de submersion au niveau du port Toulon : RAS	Fort
Mouvements de terrain pouvant affecter la structure routière	Chute de pierres	Evénements pluvieux (longues périodes de pluie)	Oui	Autour du Faron : chutes de pierres : les falaises commencent à s'effondrer. Sur le bord de mer également : à batterie basse et à la corniche de Gaulle il y a des effondrements rocheux. La Seyne-sur-Mer : RAS	
		Cycles gel-dégel (nombre de jours avec passage de T°C négative/positive)	Non		
	Affaissement de la structure routière	Evénements pluvieux extrêmes (longues périodes de pluie) + sécheresse consécutive	Non	La Seyne-sur-Mer : il y a eu des affaissements de la chaussée dus à des travaux d'assainissement à proximité du port (conséquences de travaux). Cela n'est pas la conséquence d'évènements pluvieux extrêmes. Toulon : cf. La Seyne.)	
Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Visibilité réduite lors de fortes pluies	Evènements pluvieux (précipitations orageuses)	Oui	Sur La Seyne-sur-Mer et Toulon les principaux lieux où la visibilité est réduite sont au niveau des carrefours. Des rideaux de pluie apparaissent, ce qui sature la chaussée en eau et provoque alors des situations dangereuses. Sur La Seyne-sur-Mer une grande partie des constructions est réalisée sur la mer (initialement la mer allait jusqu'à l'église). Il y a toujours eu des soucis d'évacuation des eaux en cas de fortes pluies. C'est notamment le cas du port et des rues situées à proximité, qui sont souvent sous l'eau (30 cm environ). Les réseaux ne sont pas dimensionnés pour de fortes précipitations.	

	Visibilité réduite (autre motif)	Jours de brouillard, fumée liée aux feux de forêt	Non	Brouillard très peu fréquent. Concernant les feux de forêt, risque présent du fait de la proximité du massif forestier (Faron).	
	Perte de contrôle des véhicules liée au vent	Vitesse de vent (coups de vent et rafales)	Oui	Toulon et La Seyne-sur-Mer sont en pleine zone de mistral et donc impactées par des vents violents, cependant les véhicules roulent lentement (zone urbaine), il n'y a donc pas de perte de contrôle des véhicules.	
	PMV (Panneaux à message variables) offrant une certaine prise au vent et une sensibilité aux orages (foudre)	Vitesse du vent (coups de vent et rafales) et orages (foudre)	Non	Des PMV sont présents sur le tracé du BHNS et sont résistants aux vents et orages : Leur massif a été surdimensionné pour résister aux coups de vents.	
	Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	Sécheresse (jours secs consécutifs)	Oui	Sur La Seyne-sur-Mer et Toulon : Il y a des remontées d'hydrocarbures sur la chaussée. En effet, avec les fortes chaleurs, les chaussées suintent et rejettent les hydrocarbures : la route devient alors glissante. Au niveau de Toulon cela est surtout le cas au niveau des giratoires. Sur La Seyne-sur-Mer, indépendamment des vagues de chaleur, les véhicules roulent vite et loupent parfois les giratoires. La route est souvent glissante le long des voies SNCF.	
	Givre, verglas, neige	Gel, humidité/pluie	Oui	Toulon : Dans les années 1980 sur Toulon il y avait ces phénomènes de verglas/neige. Désormais ils arrivent tous les 15 ans environ. La Seyne-sur-Mer : Il y a environ 10 ans, on a assisté à 2 jours de neige. Les transports en commun ont été figés. Il y a également eu salaison des grands axes de circulation.	
Perte d'intégrité de la structure routière	Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des ponts et des tunnels	Précipitations moyennes saisonnières et annuelles	Oui	Sur la déchetterie de La Seyne-sur-Mer (hors tracé BHNS) : Il y a eu des remontées de nappes. Des travaux de réhabilitation de l'enrobé ont alors été réalisés. Le secteur se situe sur une forte zone de marais. Enrobé de déchetterie avait été refait. En addition un système évacuation des eaux a été réalisé.	
Perte d'intégrité de la chaussée	Fissuration, orniérage, fatigue	Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur)	Oui	Toulon : On constate fréquemment des déformations de l'enrobé dues à la chaleur et à la montée en température. Sur les zones de freinage des ornières se forment, c'est notamment le cas sur l'avenue de la République (hors tracé). Il y a des reprises de chaussées très fréquentes. Un enrobé clair est privilégié dans le centre-ville : la fréquence de réhabilitation de cet enrobé dépend des véhicules. La Seyne-sur-Mer : Il y a à certains endroits une absence de structures de chaussées : quelques voies sont sans structures Le boulevard du 4 septembre (proche tracé BHNS) est concerné. En moyenne, les structures routières sont renouvelées chaque 10 ans. Les voies sur le quartier Berthe ont été refaites (chaussées neuves).	Moyen
	Fissuration due à l'affaiblissement de la base de la route par le dégel	Cycles gel-dégel (nombre de jours avec passage par zéro de la température)	Non	Pas de phénomènes de gel ces dernières années.	
	Fonte de la couche roulante de la chaussée	Fortes chaleurs / vague de chaleur	Oui	Toulon : Des chaussées claires sont privilégiées. La Seyne-sur-Mer : moins impactée que Toulon.	
Susceptibilité du secteur aux incendies (menace directe à l'infrastructure)		Sécheresse (jours secs consécutifs)	Non	Menace présente mais pas d'incendie recensé.	
Arbres tombant sur la route		Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales)	Oui	Toulon : des arbres et des branches tombent. La Seyne-sur-Mer : chutes d'arbres sur les routes. Le dernier en date sur la corniche Giovanni.	
		Précipitations extrêmes	Oui	Toulon : des arbres et des branches tombent	Moyen: arbres privés car pas suivis
Autre.... ?				RAS	



2.3. Caractérisation des aléas climatiques (description et localisation)

Le travail consiste ici à définir et localiser les aléas climatiques identifiés lors de la précédente étape.

Actions requises :

Repartir du tableau de l'étape précédente et remplir la colonne « Caractérisation dans la zone d'étude ».

2.4. Mesures de protection déjà mises en œuvre

L'idée de cette partie est de recenser les mesures à mettre en place pour réduire les risques climatiques. Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous. Pour l'essentiel, il s'agit de mesures déjà prises et mises en œuvre pour faire face aux risques existants.

Actions requises : Renseigner la colonne du tableau ci-dessous répertoriant les mesures de protection face aux aléas climatiques déjà mises en place et à mettre en œuvre.

Aléa climatique	Mesures de protection déjà mises en œuvre
Inondation due à une défaillance du système de défense contre les inondations des rivières et des canaux	La Seyne-sur-Mer : Il existe un Service de Prévention des Risques qui est géré par la Ville. Cet organisme a la capacité de fermer une voie de circulation (ex-corniche Tamaris, hors tracé BHNS).
Inondation dû à un problème de drainage des eaux	La Police Municipale fait également des tournées dans la ville et fait des remontées.
Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux	Il existe un classeur d'astreintes qui recense les rues potentiellement à risque : en prévention ou en réaction aux épisodes météo les rues sont bloquées.
Inondation par remontée de nappe	Toulon : Ce sont les services municipaux et la sécurité civile communale qui gèrent tous les risques inondation en lien avec la Police Municipale : Des équipes sont disponibles (astreintes) pour évacuer ou retirer les saturations. Un PC sécurité est disponible. Des pompes de relevages sont disposées à proximité du port. Des curages d'anticipation des réseaux sont également faits toute l'année. Additionnellement, TPM a lancé un schéma directeur pluvial à l'échelle de la métropole : la phase de diagnostic a été finalisée, les simulations des voiries susceptibles d'être inondées sont en cours (livraison des résultats d'ici mars 2024), et des propositions de travaux à réaliser de façon priorisée seront faites d'ici fin d'année 2024. Ces travaux peuvent notamment correspondre à la création de bassins de rétention.
Chute de pierres	Il existe des zones d'interdiction de construction sur le secteur du Faron. Il a également été mis en place des pieux sur les falaises qui s'effritent.
Affaissement de la structure routière	Remise en état de la structure routière fréquente sur Toulon et La Seyne-sur-Mer. Toulon : Des passages caméras concernant l'état des chaussées est fait.

	Un logiciel disponible via le bureau numérique de la Métropole est également utilisé et permet de caractériser les voies de circulation.
Visibilité réduite lors de fortes pluies	Toulon : Aux niveaux des carrefours les feux tricolores sont progressivement changés pour passer au 100% LED. La Seyne-sur-Mer et Toulon : La signalisation verticale est en réflexion classe 2 (pas classe 3), ce qui permet une meilleure visibilité.
Visibilité réduite (autre motif)	/
Perte de contrôle des véhicules liée au vent	/
PMV Panneaux à message variables pouvant être touchés suite à leur surface offrant une certaine prise au vent et une sensibilité aux orages (foudre)	Signalisation verticale : La réflexion est en classe 2 (pas classe 3) et donc mieux visible. Les massifs PMV sont surdimensionnés permettant de résister aux conditions de vent extrêmes. Les sols sont également remblayés et donc plus résistants face aux intempéries.
Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	/
Givre, verglas, neige	Toulon : Un plan de circulation neige avait été discuté mais n'a jamais été mis en place. La Seyne-sur-Mer : La ville a la possibilité de faire passer des messages via les PMVs (ex risque neige etc...) Les routes sont salées en cas de verglas.
Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des ponts et des tunnels	/
Fissuration, orniérage, fatigue	Les chaussées sont régulièrement refaites. Localement et ponctuellement un véhicule passe et injecte un enrobé sur les fissures ponctuelles.
Fissuration due à l'affaiblissement de la base de la route par le dégel	Non concerné
Fonte de la couche roulante de la chaussée due à de fortes chaleurs / vague de chaleur	Toulon : Les chaussées sont régulièrement refaites. Le choix d'enrobés clairs et privilégié. La Seyne-sur-Mer : Un enrobé ocre sur les trottoirs / pas sur la chaussée car noirci très vite (1 semaine en été et après première pluie redevient clair) a été choisi. Cependant il pose souci lors d'épisodes pluvieux car il est lessivé et se dépose les marquages blancs au sol. La production d'enrobé ocre pose également souci dans la production : la production en centrale est complexe à coordonner. A l'avenir un enrobé clair sera mis en place plus largement.
Susceptibilité du secteur aux incendies (menace directe à l'infrastructure)	RAS

<p>Arbres tombant sur la route du fait des rafales de vent ou fortes intempéries</p>	<p>La Seyne-sur-Mer : en cas d'arbre qui chute sur la route, la route est mise en sécurité puis le propriétaire (privé) est contacté. Des agents en astreinte peuvent être rajoutés en cas de mauvaise météo (en anticipation ou réaction). Une veille météorologique quotidienne est réalisée par principe de précaution. Par ailleurs, un expert arboricole fait un suivi à l'année des arbres.</p> <p>Toulon : Une équipe d'élagueurs intervient pour dégager les arbres et la mise en sécurité des routes. En préventif un suivi des arbres et un élagage préventif sont réalisés.</p>
--	--

2.5. Présentation des projections climatiques

Actions requises : Aucune. Présentation faite par Egis.

3.4.1 - Températures

La température moyenne journalière sur la zone d'étude va significativement augmenter par rapport au scénario de référence passant d'environ 15.5 °C de moyenne sur l'horizon 1976-2005, à environ 20°C à l'horizon 2100 pour le scénario RCP8.5, soit environ 30 % d'augmentation.

Ce constat d'augmentation depuis la période de référence jusqu'à la fin du siècle des températures est unanime, y compris pour la température maximale journalière et la température minimale journalière.

La température maximale journalière sur la zone d'étude va augmenter. En moyenne sur le scénario de référence, la température maximale journalière était de 19.5°C. A l'horizon 2100, avec le scénario RCP8.5 elle sera de 24°C, soit une augmentation de 23%.

La température minimale journalière passe de 11.5°C de moyenne sur la période de référence à 16°C à l'horizon 2100, scénario RCP8.5. Soit une hausse de quasiment 40%.

Le nombre de jours de fortes chaleurs, soit pour des températures maximales supérieures à 35°C va lui aussi exploser. Sur la période de référence il n'y avait quasiment pas de jours de fortes chaleurs, tandis qu'à 2100, scénario RCP8.5, il y aura en moyenne 35 jours.

Il en est de même pour l'extrême chaud de la température maximale journalière qui va passer d'environ 29°C pour le scénario de référence, à environ 34°C pour le scénario RCP8.5, soit une augmentation d'environ 17%.

A contrario le nombre de jours de gel est en très net recul ; sur le scénario de référence, le nombre de jours de gel oscillait de 12 à 5 jours, alors que pour 2100, scénario RCP8.5, il sera d'environ 0.

Le même constat est fait pour le nombre de jours d'une vague de froid, soit une diminution d'ici la fin du siècle.

3.4.2 - Précipitations

De grosses incertitudes pèsent sur les projections des précipitations. Toute fois les projections climatiques montrent :

Les précipitations extrêmes (Q99, soit les précipitations excédées dans seulement 1% des cas) semblent augmenter de façon non significative, notamment sur des années spécifiques.

Concernant le cumul des précipitations, il semble légèrement diminuer, sans grosse tendance marquée, si on regarde le scénario RCP8.5, en comparaison avec le scénario de référence.

Les précipitations moyennes pour les jours pluvieux tendent à augmenter très légèrement, cela n'est pas significatif et ne permet pas de dégager une tendance.

3.4.3 - Vent

Les projections climatiques de moyennes annuelles de vent fort (en m/s), scénario RCP8.5 ne montrent pas de nette tendance aux horizons proches (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100).

3.4.4 - Incendies

On peut s'attendre à avoir un danger météorologique de feux de forêt plus important, en tenant en compte la probabilité de son éclosion et son potentiel de propagation.

3.4.5 - Sécheresse des sols

Le sol est déjà sec et continuera de l'être d'ici la fin du siècle selon le scénario RCP8.5.

3.4.6 - Augmentation du niveau de la mer

L'élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale dans les années à venir reste aujourd'hui incertaine. Selon la méthode utilisée, les scénarios prévoient une élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale comprise entre 52 et 190 cm à l'horizon 2100. L'élévation annuelle serait ainsi de l'ordre de 8 mm à 15 mm d'ici la fin du siècle.

3.4.7 - Submersion marine

La zone du terminus ouest sur la Seyne sur Mer est exposée à l'aléa de submersion marine (voir carte ci-après).

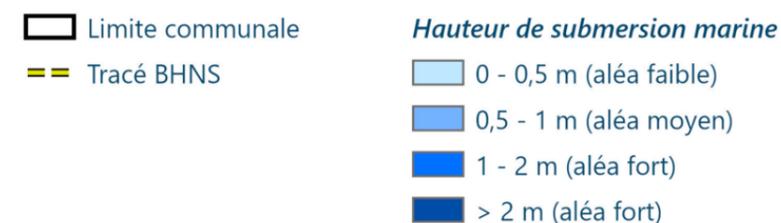


FIGURE 50: SUBMERSION MARINE D'ICI 2100, EGIS

3.4.8 - Retrait gonflement des argiles

Les projections jouent en faveur d'une aggravation du phénomène de retrait-gonflement des argiles.

3.4.9 - Mouvement de terrain hors retrait/gonflement des argiles

La convergence globale des indicateurs périodes pluvieuses et pluies intenses dans les prochaines décennies se traduira probablement par une légère aggravation des mouvements de terrain et effondrement des cavités

2.6. Conséquences du changement climatique sur le projet

L'idée de ce chapitre est de se questionner sur les possibles effets du changement climatique sur le tracé du BHNS suivant les projections climatiques présentées.

Actions requises : Donner son avis sur de potentiels désastres à venir sur le tracé du BHNS, en lien avec les projections climatiques. S'appuyer des composantes d'une voie.

Egis a sélectionné les composantes d'une voie pour aider les interlocuteurs.

Famille de composantes	Composantes	Potentiels désastres futurs
Chaussée	Couche de surface	
	Couche d'assise Géotextile	
Équipements	Equipements de grandes hauteurs	
	Dispositifs de séparation de voie	
	Clôture	
	Ecrans	
	Signalisation verticale Gares de péages	
Ouvrages hydrauliques	Ouvrages principaux	
	Ouvrages de décharges	
	Buses Bassins	
Assainissement	Egouts	
	Système de drainage	
	Système de retenue Fossés	
Ouvrages d'arts	Ponts	
	Tunnels	
	Ouvrages de soutènement	
Géotechnique	Zone de remblais	
	Zone de déblais	
	Terrassements	
	Couche de forme	
	Sol support (partie supérieure des terrassements)	
	Talus Murs	

Autres	Aires de repos	
	Stations-services	
	Pistes cyclables	

Il ressort les potentiels éléments suivants :

- Redimensionner les ouvrages :

Les ouvrages seront à dimensionner en intégrant le changement climatique : notamment les réseaux d'eau pluviale. C'est également le cas des exécutoires pluviaux sur La Seyne-sur-Mer, qui sont pour la plupart déjà immergées en cas de fortes intempéries et vulnérables aux submersions marines. Les tampons sont également directement positionnés au niveau des routes : en cas d'inondations de ces dernières, les réseaux sont alors saturés : des solutions de redimensionnement devront être proposées.

Des plantations d'arbres sont à venir : les espèces choisies devront supporter les projections climatiques. Il a déjà été demandé de désimpermeabiliser des cours d'école ainsi que des parkings. Des mesures de rétention sont également considérées dans les écoquartiers.

- Augmenter l'entretien : Des entretiens plus fréquents des chaussées devront être faits pour éviter les phénomènes d'orniérages et de fissuration.

- Favoriser l'utilisation de nouveaux matériaux : Des nouveaux matériaux pourront être utilisés pour réaliser les chaussées, notamment via la couleur : chaussées claires.

Tous ces éléments sont évidemment à mettre en balance avec les problématiques de disponibilité foncière.

2.7. Vulnérabilité fonctionnelle : Hiérarchisation des aléas climatiques pouvant créer des impacts forts sur l'infrastructure routière

L'idée de cette étape de hiérarchiser les aléas climatiques susceptibles de créer les impacts les plus forts sur les infrastructures routières en termes de coûts de dommage et d'indisponibilité de l'infrastructure sur une échelle de faible à fort allant de Peu probable à fort probable respectivement.

Actions requises : Hiérarchiser les aléas climatiques susceptibles de créer les impacts les plus forts sur les infrastructures routières de la zone d'étude (en termes de coûts de dommage et d'indisponibilité de l'infrastructure) :

Niveau Faible : Peu probable que cet aléa ait des impacts forts

Niveau Moyen : Probable que cet aléa ait des impacts forts

Niveau Fort : Fort probable que cet aléa ait des impacts forts

Voir Tableau : Aléas climatiques identifiés dans la zone d'étude, dernière colonne

Les aléas susceptibles d'être à l'origine d'impacts les plus forts sur les infrastructures routières (en termes de coûts de dommage et d'indisponibilité) sont les suivants :

- Niveau fort : inondations et submersion marine
- Niveau moyen : fissuration, orniérage et fatigue de la chaussée ; arbres tombant sur la route
- Niveau faible : tous les autres aléas sélectionnés.

BHNS TPM

Entretien avec des gestionnaires du réseau n°2

21.12.2023

Participants :

Arnaud TOSTIVINT (Pôle Territorial Provence Méditerranée, Département du Var), Direction des Infrastructures et de la Mobilité

Thomas VILLESSOT (Pôle Territorial Provence Méditerranée, Département du Var), Pôle des Infrastructures et de la Mobilité

Natalène PENIN (EGIS) Adaptation et atténuation au changement climatique

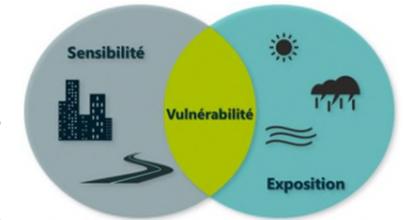
1. PRINCIPES DE L'ENTRETIEN

L'équipe Adaptation au changement climatique d'Egis a en charge la **réalisation de l'étude de vulnérabilité du projet** de Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) de Toulon au changement climatique. Cette dernière doit permettre de contribuer à la **complétude de l'EIE du projet** de BHNS de la Métropole de Toulon Provence Méditerranée.

Les effets du changement climatique sur le projet **sont étudiés, afin de les prévenir, d'assurer la sécurité des installations et d'optimiser les coûts de maintenance.**

Cette étude vise également à **permettre aux équipes intervenant sur la gestion du réseau d'appréhender les enjeux en lien avec le changement climatique.**

Une étude de vulnérabilité au changement climatique d'un projet se décompose en plusieurs étapes, notamment **l'analyse de l'exposition et de la sensibilité**. Son croisement correspond alors à la vulnérabilité du projet. Nous allons aujourd'hui nous pencher sur l'analyse de l'exposition.



Les **notions de vocabulaire du changement climatique** sont rappelées ci-dessous :

11. **Aléa** : les aléas tels que considérés dans la méthodologie CEREMA¹⁸ sont les événements climatiques exogènes aux systèmes de transports ainsi que leurs conséquences pour les territoires. Les aléas dépendent en partie²⁹ de variables climatiques (une ou la combinaison de plusieurs d'entre elles), qui sont caractérisées par une intensité, une probabilité d'occurrence spatiale et une probabilité d'occurrence temporelle.
12. **Exposition** : Elle correspond à la susceptibilité d'un système à subir des dommages, c'est-à-dire degré auquel il est exposé à un aléa. Elle se caractérise par l'analyse du climat passé et futur.
13. **Sensibilité** : Elle correspond au degré auquel un système est influencé par la variabilité du climat ou les changements climatiques. La sensibilité peut être physique et/ou fonctionnelle.
14. **Vulnérabilité** : Elle correspond à la propension ou prédisposition d'un système à subir des dommages. Elle englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité et l'incapacité à faire face et/ou à s'adapter.
15. **Risque** : Il correspond aux conséquences des impacts potentiels de tendances ou d'événements climatiques sur un système. Le risque est le croisement entre la vulnérabilité physique de l'infrastructure et les aléas auxquels elle peut être soumise.

Ces entretiens visent à **valoriser le retour d'expérience des gestionnaires de réseau** afin d'enrichir l'étude de vulnérabilité du projet au changement climatique. L'idée est de faire appel à la mémoire des gestionnaires du réseau et à leur connaissance du tracé du projet.

L'entretien va se dérouler comme suit :

- Rappel du projet
- Sélection des aléas pertinents sur la zone d'étude
- Caractérisation de ces aléas (description et localisation sur le tracé)
- Description des mesures de protections déjà en place
- Présentation des projections climatiques
- Conséquences du changement climatique sur le projet
- Vulnérabilité fonctionnelle

¹⁸ CEREMA. *Vulnérabilité et risques : les infrastructures de transport face au climat*. Bron : CEREMA, 2019. Collection : Connaissance. ISBN : 978-2-37180-426-5

² Les aléas peuvent aussi dépendre de variables non climatiques tels que la topographie, l'élévation des océans, le couvert végétal, etc.

2. MISE EN ŒUVRE

2.1. Présentation du projet

Le projet de BHNS vise à améliorer le confort et la qualité globale du réseau de transport en commun de la Métropole Toulon Provence Méditerranée (appelé réseau Mistral), afin de le rendre encore plus efficace et donc plus attractif.

Pour cela, le niveau de service se veut être renforcé :

- Site propre sur + de 70% de l'itinéraire,
- Priorité aux feux et dans les carrefours,
- Fréquence élevée : 7 minutes en période de pointe du matin / 8 minutes en période de pointe du soir / 13 minutes en période creuse
- Régularité renforcée,
- Amplitude horaire élargie,
- Véhicules propres au design et au confort de dernière Génération,
- Parfaite accessibilité pour les personnes à mobilité réduite,
- Renforcement du service embarqué,
- Information dynamique en station.

Le tracé s'étendra sur environ **28 kilomètres**, reliant **La Seyne-sur-Mer** et le Technopôle de la Mer d'Ollioules à l'ouest, aux gares de **La Garde-centre et de la Pauline Hyères** à l'est, en passant par les communes de Toulon et La Valette-du-Var.



FIGURE 51: PRINCIPE D'AMENAGEMENT DE STATION DU BHNS DE LA METRO-POLE DE TOULON PROVENCE MEDITERRANEE

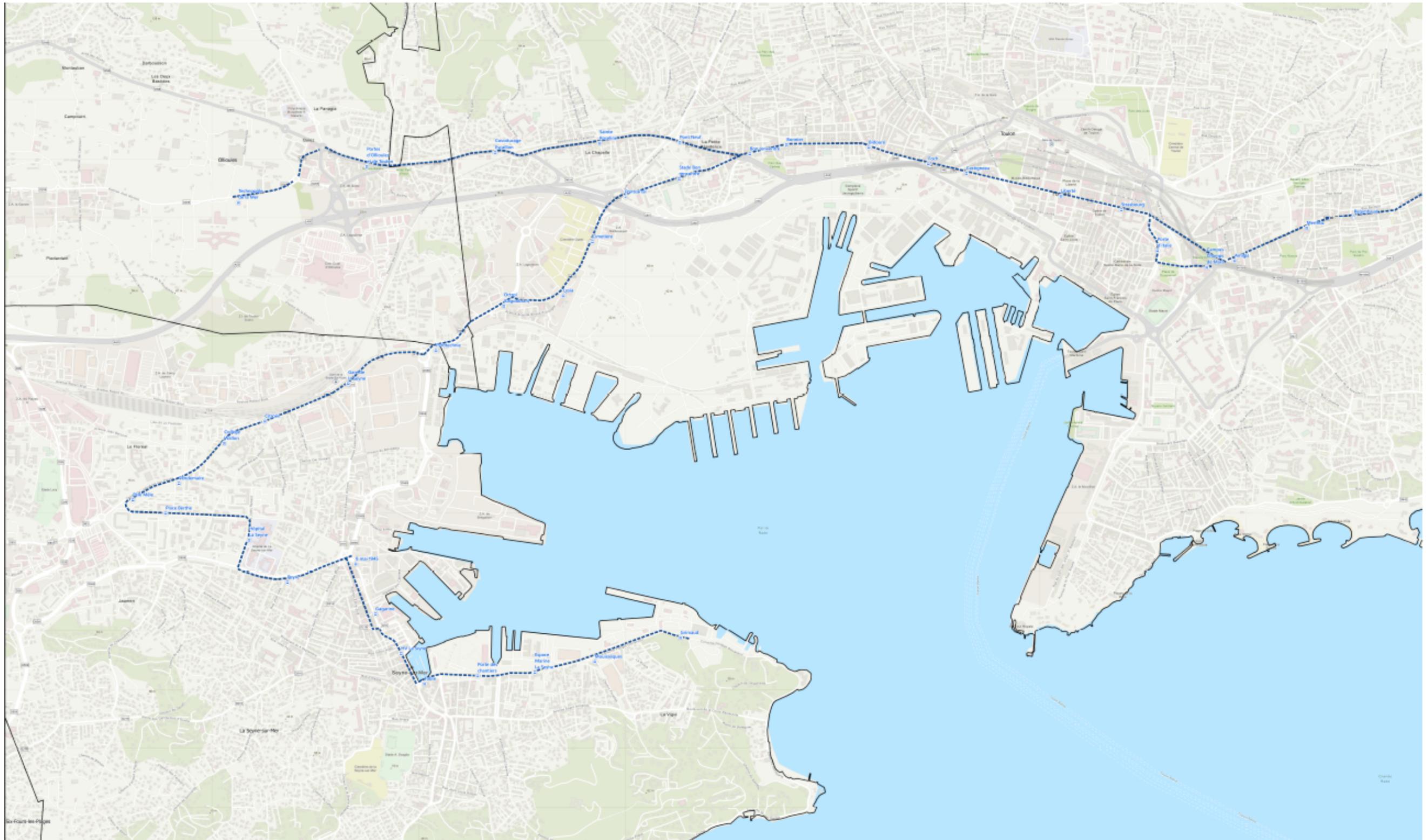


FIGURE 52 : PRESENTATION DU PROJET LORS DE CES ENTRETIENS 1/2- BHNS DE TOULON, EGIS





FIGURE 53: PRESENTATION DU PROJET LORS DE CES ENTRETIENS 2/2 – BHNS DE TOULON, EGIS



2.2. Sélection des aléas climatiques pertinents sur la zone d'étude

Le tableau ci-après présente une liste complète des **aléas climatiques susceptibles d'affecter une infrastructure routière et les conséquences de ces aléas**.

Le critère de sélection est la possible occurrence des aléas (menaces), qu'ils aient déjà été observés ou non sur les axes routiers de la zone d'étude.

Il convient de noter qu'à ce stade de la démarche aucune considération n'est accordée aux éventuels changements climatiques.



Action requise : Sélectionner (via remplissage de la colonne Pertinence par « Oui » ou « Non ») les aléas en pertinence avec la zone d'étude (et zone d'étude étendue)

Tableau : Aléas climatiques identifiés dans la zone d'étude

Menaces (aléas) et conséquence		Paramètre climatique (indicateur)	Pertinence	Caractérisation de la zone d'étude (étape 2.3)	Vulnérabilité fonctionnelle (étape 2.7)
Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible)	Inondation due à une défaillance du système de défense contre les inondations des rivières et des canaux	Précipitations sur le bassin versant	Oui mais à la marge		
	Inondation dû à un problème de drainage des eaux	Précipitations sur le bassin versant	Oui	Dimensionnement du réseau est une problématique générale sur la métropole. Au niveau de La Garde : Grand Var, Université : gros débordements	
	Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux	Précipitations sur le bassin versant	Oui	Dimensionnement du réseau est une problématique générale sur la métropole. Les secteurs de La Garde, Grand Var Université (La-Valette-du-Var) connaissent de gros débordements en cas d'évènements extrêmes.	
	Inondation par remontée de nappe	Précipitations sur le bassin versant	Non		
	Submersion marine	Vents violents et précipitations	Oui	La Mairie de La Seyne-sur-Mer est confrontée à des problématiques de submersion marine. La zone de la pyrotechnie également.	Niveau fort
Mouvements de terrain pouvant affecter la structure routière	Chute de pierres	Evénements pluvieux (longues périodes de pluie)	Oui	En dehors du tracé : Des chutes de pierres au niveau du Faron et au niveau des gorges d'Ollioules.	
		Cycles gel-dégel (nombre de jours avec passage de T°C négative/positive)	Non		
	Affaissement de la structure routière	Evénements pluvieux extrêmes (longues périodes de pluie) + sécheresse consécutive	Oui	Affaissement de la structure routière global sur le secteur de La Garde : phénomène de retraits/ gonflements des argiles. L'infiltration d'eau via des fissures dans le sol est à l'origine de ces affaissements.	
Evènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses	Visibilité réduite lors de fortes pluies	Evènements pluvieux (précipitations orageuses)	Oui	La RD98 / La Garde ainsi que la RD18 de La Seyne-sur-Mer sont concernées De manière générale, il y a beaucoup d'évènements pluvieux très localisés dans le Var.	



	Visibilité réduite (autre motif)	Jours de brouillard, fumée liée aux feux de forêt	Oui	Mais très peu concerné sur la zone. En dehors de la zone de projet, le secteur de la Carqueiranne est celui le plus impacté par brouillard.	
	Perte de contrôle des véhicules liée au vent	Vitesse de vent (coups de vent et rafales)	Oui	Routes sur zone urbaine (faible vitesse) donc pas de conduite dangereuse. Espace maritime sur La Seyne-sur-Mer concerné par forts vents. Des objets divers (exemple : poubelles/arbres) peuvent être projetés sur les voies de circulation.	
	PMV (Panneaux à message variables) offrant une certaine prise au vent et une sensibilité aux orages (foudre)	Vitesse du vent (coups de vent et rafales) et orages (foudre)	Oui	Des poteaux, des arbres peuvent tomber (Enedis etc). Pas concerné sur les PMV.	
	Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	Sécheresse (jours secs consécutifs)	Oui	Le tracé est en zone urbaine donc les impacts sont limités (lié à la faible vitesse). La pluie fine masque la signalisation horizontale.	
	Givre, verglas, neige	Gel, humidité/pluie	Oui	Très rare. Episodes tous les 10/15 ans.	
Perte d'intégrité de la structure routière	Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des ponts et des tunnels	Précipitations moyennes saisonnières et annuelles	Oui	Difficulté à caractériser et à identifier la cause.	
Perte d'intégrité de la chaussée	Fissuration, orniérage, fatigue	Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur)	Oui	Remontées de bitume, petites déformations suite à des épisodes de canicules : RD98 La Garde et RD18 La Seyne-sur-Mer, points ponctuels. Cela est couplé au trafic des poids lourds et à l'usure de la voie.	Niveau moyen
	Fissuration due à l'affaiblissement de la base de la route par le dégel	Cycles gel-dégel (nombre de jours avec passage par zéro de la température)	Non	Le dimensionnement des routes neuves ne prend pas en compte ce paramètre.	
	Fonte de la couche roulante de la chaussée	Fortes chaleurs / vague de chaleur	Oui	Remontées de bitume.	
Susceptibilité du secteur aux incendies (menace directe à l'infrastructure)		Sécheresse (jours secs consécutifs)	Oui	Risque présent. Présence du Faron. Secteur très urbain.	
Arbres tombant sur la route		Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales)	Oui	La combinaison de forts vents et de précipitations extrêmes favorise ce phénomène.	
		Précipitations extrêmes	Oui		
Autre.... ?				RAS	



2.3. Caractérisation des aléas climatiques (description et localisation)

Le travail consiste ici à définir et localiser les aléas climatiques identifiés lors de la précédente étape.

Actions requises :

Repartir du tableau de l'étape précédente et remplir la colonne « Caractérisation dans la zone d'étude ».

2.4. Mesures de protection déjà mises en œuvre

L'idée de cette partie est de recenser les mesures à mettre en place pour réduire les risques climatiques. Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous. Pour l'essentiel, il s'agit de mesures déjà prises et mises en œuvre pour faire face aux risques existants.

Actions requises : Renseigner la colonne du tableau ci-dessous répertoriant les mesures de protection face aux aléas climatiques déjà mises en place et à mettre en œuvre.

Aléa climatique	Mesures de protection déjà mises en œuvre
Inondation due à une défaillance du système de défense contre les inondations des rivières et des canaux	La prise en compte des problématiques hydrauliques se fait dans tous les nouveaux projets d'infrastructure.
Inondation dû à un problème de drainage des eaux	Ce sont les Communes ou les Syndicats mixtes qui définissent la politique hydraulique des secteurs.
Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux	Concernant l'exploitation du réseau, en cas de problématiques hydraulique/arbres : des personnels d'astreintes sont sollicités. Si les routes sont inondées les astreintes les ferment. Il n'y a pas de pompe à disposition chez TPM.
Inondation par remontée de nappe	Système d'astreinte disponible toute l'année : usager/TPM/communes appellent PC sécurité pour intervenir. Des éléments préventifs existent : curage (de fossés) / fauchage – Les fossés les plus à risque sont identifiés et curés tous les 5 ans environ. C'est la métropole qui doit entretenir le réseau car on est en zone d'agglomération.
Chute de pierres	Mesures plutôt curatives que préventives. Quand il y a une chute de pierres, les équipes procèdent à une purge de la falaise/ pose de grillage avec pieux/bétonnage de la falaise naturelle. Pour les grands murs qui bordent les routes il y a également du curatif : ces ouvrages sont recensés et surveillés tous les 3 ans environ.
Affaissement de la structure routière	Il y a une base de données existante avec l'âge des enrobés en fonction de la localisation. En parallèle, un travail quotidien est élaboré par des agents qui observent si la structure fatigue ou non. L'âge moyen des chaussées est de 13.8 ans. Un relevé des dégradations est réalisé de façon pluriannuelle sur un contrat de 4 ans.
Visibilité réduite lors de fortes pluies	Sur autoroute : limitation des vitesses.

	Une alerte peut être communiquée aux usagers pour les prévenir d'éventuels aléas climatiques aigus. Le marquage est également contrôlé (pas par la métropole) : Contrôle sur la rétro-réflexion du marquage routier : vérification si le marquage est visible et si la réflexion est visible à la lumière. Il existe une politique de renouvellement en fonction du classement de la route suivant sa fréquentation : 4, 3 ou 2 ans marquage refait. Selon TPM, la signalisation horizontale est la plus importante dans ces événements pluvieux (plus que la verticale).
Visibilité réduite (autre motif)	/
Perte de contrôle des véhicules liée au vent	Des mesures d'adhérence sont mises en place : les routes sont régulièrement contrôlées par l'intermédiaire d'un marché de dégradation, qui vise à vérifier que la route n'est pas glissante. Mais peu concerné dans le secteur du fait de la faible vitesse.
PMV Panneaux à message variables pouvant être touchés suite à leur surface offrant une certaine prise au vent et une sensibilité aux orages (foudre)	Pas concerné.
Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche	Cf. mesures d'adhérences.
Givre, verglas, neige	Un plan de viabilité hivernale existe et priorise les routes à déneiger.
Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des ponts et des tunnels	Sur les chaussées neuves, des mesures de dimensionnement sont prises pour éviter la sensibilité à l'eau.
Fissuration, orniérage, fatigue	Des pontages de fissures sont réalisés en cas de besoin. Des solutions techniques existent afin que les chaussées soient moins fissurées via l'intermédiaire de modifications des structures des liants etc. Même chose pour le renouvellement d'enrobés : les nouvelles couches de roulement intègrent les changements climatiques, avec un choix de bitumes plus ou moins durs (résistant mieux aux fortes chaleurs). Les phénomènes d'orniérages sont également limités en fonction du choix des enrobés.
Fissuration due à l'affaiblissement de la base de la route par le dégel	/
Fonte de la couche roulante de la chaussée due à de fortes chaleurs / vague de chaleur	Un marché d'enrobés existe : il permet de déposer des rustines/ ou de refaire des tapis. Des enrobés clairs ont été mis en place (politique de Toulon). Ces enrobés noircissent cependant très rapidement : le marquage est alors à retravailler. Des mosaïques de couleurs peuvent apparaître sur les chaussées rendant la visibilité pour l'utilisateur difficile. Par ailleurs, si des chaussées doivent être réparées, cela peut être plus compliqué (choix des couleurs etc).
Susceptibilité du secteur aux incendies (menace directe à l'infrastructure)	/



Arbres tombant sur la route du fait des rafales de vent ou fortes intempéries	Un marché de diagnostic phytosanitaire existe : des agents vérifient la qualité des arbres et la catégorisent (sain, pas sain, abattage). En fonction de l'état, ils interviennent.
---	---

2.5. Présentation des projections climatiques

Actions requises : Aucune. Présentation faite par le bureau d'études EGIS.

3.4.10 - Températures

La température moyenne journalière sur la zone d'étude va significativement augmenter par rapport au scénario de référence passant d'environ 15.5 °C de moyenne sur l'horizon 1976-2005, à environ 20°C à l'horizon 2100 pour le scénario RCP8.5, soit environ 30 % d'augmentation.

Ce constat d'augmentation depuis la période de référence jusqu'à la fin du siècle des températures est unanime, y compris pour la température maximale journalière et la température minimale journalière.

La température maximale journalière sur la zone d'étude va augmenter. En moyenne sur le scénario de référence, la température maximale journalière était de 19.5°C. A l'horizon 2100, avec le scénario RCP8.5 elle sera de 24°C, soit une augmentation de 23%.

La température minimale journalière passe de 11.5°C de moyenne sur la période de référence à 16°C à l'horizon 2100, scénario RCP8.5. Soit une hausse de quasiment 40%.

Le nombre de jours de fortes chaleurs, soit pour des températures maximales supérieures à 35°C va lui aussi exploser. Sur la période de référence il n'y avait quasiment pas de jours de fortes chaleurs, tandis qu'à 2100, scénario RCP8.5, il y aura en moyenne 35 jours.

Il en est de même pour l'extrême chaud de la température maximale journalière qui va passer d'environ 29°C pour le scénario de référence, à environ 34°C pour le scénario RCP8.5, soit une augmentation d'environ 17%.

A contrario le nombre de jours de gel est en très net recul ; sur le scénario de référence, le nombre de jours de gel oscillait de 12 à 5 jours, alors que pour 2100, scénario RCP8.5, il sera d'environ 0.

Le même constat est fait pour le nombre de jours d'une vague de froid, soit une diminution d'ici la fin du siècle.

3.4.11 - Précipitations

De grosses incertitudes pèsent sur les projections des précipitations. Toute fois les projections climatiques montrent : Les précipitations extrêmes (Q99, soit les précipitations excédées dans seulement 1% des cas) semblent augmenter de façon non significative, notamment sur des années spécifiques.

Concernant le cumul des précipitations, il semble légèrement diminuer, sans grosse tendance marquée, si on regarde le scénario RCP8.5, en comparaison avec le scénario de référence.

Les précipitations moyennes pour les jours pluvieux tendent à augmenter très légèrement, cela n'est pas significatif et ne permet pas de dégager une tendance.

3.4.12 - Vent

Les projections climatiques de moyennes annuelles de vent fort (en m/s), scénario RCP8.5 ne montrent pas de nette tendance aux horizons proches (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100).

3.4.13 - Incendies

On peut s'attendre à avoir un danger météorologique de feux de forêt plus important, en tenant en compte la probabilité de son éclosion et son potentiel de propagation.

3.4.14 - Sécheresse des sols

Le sol est déjà sec et continuera de l'être d'ici la fin du siècle selon le scénario RCP8.5.

3.4.15 - Augmentation du niveau de la mer

L'élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale dans les années à venir reste aujourd'hui incertaine. Selon la méthode utilisée, les scénarios prévoient une élévation moyenne du niveau de la mer à l'échelle mondiale comprise entre 52 et 190 cm à l'horizon 2100. L'élévation annuelle serait ainsi de l'ordre de 8 mm à 15 mm d'ici la fin du siècle.

3.4.16 - Submersion marine

La zone du terminus ouest sur la Seyne sur Mer est exposée à l'aléa de submersion marine ainsi qu'une partie du port de Toulon (voir carte ci-après).

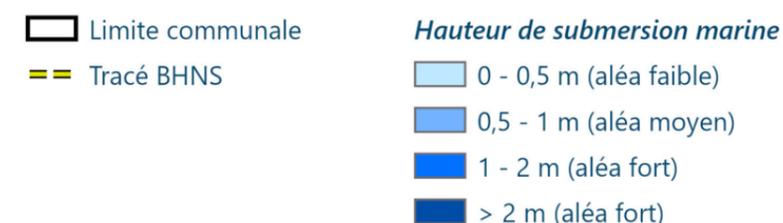


FIGURE 54: SUBMERSION MARINE D'ICI 2100, EGIS

3.4.17 - Retrait gonflement des argiles

Les projections jouent en faveur d'une aggravation du phénomène de retrait-gonflement des argiles.

3.4.18 - Mouvement de terrain hors retrait/gonflement des argiles

La convergence globale des indicateurs périodes pluvieuses et pluies intenses dans les prochaines décennies se traduira probablement par une légère aggravation des mouvements de terrain et effondrement des cavités souterraines.

2.6. Conséquences du changement climatique sur le projet

L'idée de ce chapitre est de se questionner sur les possibles effets du changement climatique sur le tracé du BHNS suivant les projections climatiques présentées et des potentielles mesures à prendre en compte.

Actions requises : Donner son avis sur de potentiels désastres à venir sur le tracé du BHNS, en lien avec les projections climatiques. S'appuyer des composantes d'une voie.

Le bureau d'études EGIS a sélectionné les composantes d'une voie pour aider les interlocuteurs.

Famille de composantes	Composantes	Potentielles mesures à prendre en compte
Chaussée	Couche de surface	<p>Chaussées perméables recherchées mais techniques actuellement inconnues.</p> <p>Chaussées bétons peu pratiques pour ouverture et dépose des réseaux.</p> <p>Chaussée béton est plus adaptée aux fortes chaleurs.</p> <p>Réflexion avec Région et Cerema en cours sur l'adaptation des structures routières au CC</p>
	Couche d'assise Géotextile	
Equipements	Equipements de grandes hauteurs	Redimensionnement des massifs / revêtement spécifique des mats par rapport à la salinité
	Dispositifs de séparation de voie Clôture Ecrans Signalisation verticale Gares de péages	
Ouvrages hydrauliques	Ouvrages principaux	<p>Redimensionner / avoir une politique globale de gestion des eaux / désimperméabiliser toutes les zones non circulées (soucis : zones qualifiées de « non propres » par les politiques/citoyens -> béton et enrobé sont mis à la place).</p> <p>Fauchage raisonné des bords de routes : soucis de mentalité</p>
	Ouvrages de décharges Buses Bassins	

Assainissement	Egouts Système de drainage Système de retenue Fossés	
Ouvrages d'arts	Ponts Tunnels Ouvrages de soutènement	
Géotechnique	Zone de remblais Zone de déblais Terrassements Couche de forme Sol support (partie supérieure des terrassements) Talus Murs	
Autres	Aires de repos Stations-services Pistes cyclables	

Sujets de disponibilité foncières : impossible d'implanter des arbres.

2.7. Vulnérabilité fonctionnelle : Hiérarchisation des aléas climatiques pouvant créer des impacts forts sur l'infrastructure routière

L'idée de cette étape de hiérarchiser les aléas climatiques susceptibles de créer les impacts les plus forts sur les infrastructures routières en termes de coûts de dommage et d'indisponibilité de l'infrastructure sur une échelle de faible à fort allant de Peu probable à fort probable respectivement.

Actions requises : Hiérarchiser les aléas climatiques susceptibles de créer les impacts les plus forts sur les infrastructures routières de la zone d'étude (en termes de coûts de dommage et d'indisponibilité de l'infrastructure) :

Niveau Faible : Peu probable que cet aléa ait des impacts forts

Niveau Moyen : Probable que cet aléa ait des impacts forts

Niveau Fort : Fort probable que cet aléa ait des impacts forts

Voir Tableau : Aléas climatiques identifiés dans la zone d'étude, dernière colonne

Les aléas susceptibles d'être à l'origine d'impacts les plus forts sur les infrastructures routières (en termes de coûts de dommage et d'indisponibilité) sont les suivants :

- Niveau fort : inondations et submersion marine
- Niveau moyen : fissuration, orniérage et fatigue de la chaussée ; arbres tombant sur la route
- Niveau faible : tous les autres aléas sélectionnés.

Ce CR a été diffusé à M. Christophe CALVI qui pourra assurer sa complétude et renseigner plus en détail les localisations des aléas climatiques retenus.



Annexe 2 – Tableau de notation de la vulnérabilité de la ligne BHNS en situation actuelle

Notation

1	Faible
2	Modéré
3	Fort

Notation Cartographique avec 1, 2 et 3	
Note totale	Notation associée
26,25	1
28,27	2
30, 29	3



Cartographie : Situation actuelle	Sections												
	Grimaud-Peyre	Peyre-Citroën	Citroën-Pyrotechnie	Pyrotechnie-Octroi (Lagoubran)	Octroi (Lagoubran) - Bon rencontre	Bon rencontre - Portes d'Ollioules et de Toulon	Portes d'Ollioules et de Toulon - Technopôle de la Mer	Bon rencontre - Bidouré	Bidouré - Brunet	Brunet - Hôpital Ste Musse	Hôpital Ste Musse - Espaluns	Espaluns - Jardin Veyret	Jardin Veyret - Gare La Garde
CONSEQUENCE & ALEA													
Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible) - Inondation dû à un problème de drainage des eaux - Précipitations sur le BV	3	2	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3
Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible) - Inondation dû à une surcharge des ouvrages hydrauliques rétablissant les écoulements transversaux/débordement de nappes - Précipitations sur le BV	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Inondation de la surface de la route (rendant la circulation impossible) - Submersion marine - Vents violents et précipitations	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mouvement de terrain pouvant affecter la structure routière - Chute de pierres	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	1	2	3
Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Visibilité réduite lors de fortes pluies - Évènements pluvieux (longues périodes de pluie)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Perte de contrôle des véhicules liée au vent - Vitesse de vent (coups de vent et rafales)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Route glissante suite à une légère pluie après une période sèche - Sécheresse (jours secs consécutifs)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Évènements climatiques entraînant des conditions de conduite dangereuses - Givre, verglas, neige	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Perte d'intégrité de la structure routière - Impact sur le niveau d'humidité du sol (relèvement de la nappe), affectant l'intégrité structurelle des routes, des passerelles- Précipitations moyennes saisonnières et annuelles	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2
Perte d'intégrité de la chaussée - Fissuration, orniérage, fatigue - Température diurne maximale et minimale et nombre de jours chauds consécutifs (vagues de chaleur)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Perte d'intégrité de la chaussée - Fissuration, orniérage, fatigue - Fonte de la couche roulante de la chaussée - Fortes chaleurs / vague de chaleur	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2



Cartographie : Situation actuelle	Sections												
	Grimaud-Peyre	Peyre-Citroën	Citroën-Pyrotechnie	Pyrotechnie-Octroi (Lagoubran)	Octroi (Lagoubran) - Bon rencontre	Bon rencontre - Portes d'Ollioules et de Toulon	Portes d'Ollioules et de Toulon - Technopôle de la Mer	Bon rencontre - Bidouré	Bidouré - Brunet	Brunet - Hôpital Ste Musse	Hôpital Ste Musse - Espaluns	Espaluns - Jardin Veyret	Jardin Veyret - Gare La Garde
CONSEQUENCE & ALEA													
Chute d'arbres - Vitesse de vent extrême (coups de vent et rafales) et Précipitations extrêmes	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Gonflement des argiles	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Incendie - Feux de forêt	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TOTAL	30	27	29	27	27	30	30	28	27	28	28	29	29
Note finale	3	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3

