

# La Métropole Aix-Marseille-Provence face au défi du changement climatique



Décembre 2018



avec le soutien de



**Cette publication, soutenue par la Métropole Aix-Marseille-Provence, a été élaborée par le Groupe régional d'experts sur le climat en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD).** Elle a été coordonnée par l'association AIR Climat qui a pour mission d'animer le GREC-SUD.

Le GREC-SUD décrypte et diffuse les connaissances scientifiques sur l'évolution du climat, évalue les enjeux et les effets du changement climatique de l'échelle régionale à locale, et accompagne les acteurs régionaux pour limiter les impacts climatiques sur les territoires. Il bénéficie d'un financement au titre de la Convention État - Région Provence-Alpes-Côte d'Azur - ADEME.



Réalisation : GeographR.

Date de publication : décembre 2018.

Crédit photos / dessin :

couverture : ©Daniel Kapikian (Aix-en-Provence)

4<sup>ème</sup> de couverture : ©Caroline Chevalier (étang de Berre)

page 21 : Freepik (feuille de vigne)

# Édito



La réalité du changement climatique à l'échelle planétaire fait aujourd'hui l'objet d'un large consensus auprès de la communauté scientifique internationale.

Sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence, l'évolution du climat indique une hausse des températures de l'air qui a tendance à se renforcer au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. Les effets sont déjà perceptibles, mais demain, ils auront des impacts encore plus significatifs aussi bien sur la société (santé des populations, cadre de vie), l'environnement (biodiversité, ressources en eau) que sur l'ensemble des secteurs économiques (agriculture, industrie, tertiaire).

Le territoire métropolitain, de par sa configuration spatiale et géographique, la densité de ses activités et des populations, mais aussi son importante biodiversité terrestre et marine, est considéré comme particulièrement vulnérable, à l'instar du bassin méditerranéen.

Face à ce constat, nous ne pouvons plus attendre. Comme le précise le dernier rapport spécial du GIEC : « *toute augmentation supplémentaire de la température, aussi minime soit-elle, a son importance, d'autant plus qu'un réchauffement de 1,5°C ou plus augmentera le risque associé à des changements pérennes ou irréversibles, tels que la disparition de certains écosystèmes* ».

Il est l'heure d'agir et la Métropole Aix-Marseille-Provence a un rôle décisif à jouer. Une voie est à tracer à la croisée des chemins entre développement économique et équité sociale, dans le respect de la qualité écologique du territoire.

Nous devons adopter une trajectoire de transition énergétique et écologique, réaliste et structurée, pour limiter les impacts négatifs de ces changements, maximiser leurs effets bénéfiques et ainsi augmenter la résilience de notre territoire. Ainsi, à l'initiative de la Présidente Martine Vassal, la Métropole Aix-Marseille-Provence et le Département des Bouches-du-Rhône viennent de lancer conjointement leur Agenda environnemental rassemblant une série de mesures ambitieuses et concrètes. Les deux institutions agissent de concert et en complémentarité pour que l'effet de ces mesures puisse se faire sentir au plus tôt. Ce plan permet d'agir sur l'ensemble des problématiques : qualité de l'air, mobilité, biodiversité, protection de la mer et du littoral...

En complément, grâce à un outil réglementaire comme le Plan climat, la Métropole, qui porte ce dispositif, souhaite associer les acteurs de son territoire dans cette dynamique afin d'apporter une réponse à la hauteur du défi énergétique et climatique qui se présente à nous.

Élaboré en concertation avec les forces vives du territoire, le Plan climat métropolitain est un atout, un levier sur lequel s'appuyer pour enclencher une transition énergétique partagée par tous. Ce n'est pas une finalité en soi, mais une ambition qui s'inscrit sur un plus long terme et qui est là pour soutenir, faciliter, accélérer les dynamiques territoriales ou sectorielles afin de garantir une qualité de vie aux habitants au sein d'un territoire attractif, inscrit dans un développement durable.

## Alexandre Gallese

Membre du bureau de la Métropole délégué à la Stratégie environnementale, au Plan climat et à la Prévention des risques  
Adjoint au maire d'Aix-en-Provence



# Table des Matières

Édito.....	3
Introduction.....	6
<b>1. La métropole et son climat, une relation amicale et conflictuelle.....</b>	<b>7</b>
1.1. Un territoire au profil atypique métamorphosé.....	7
1.2. Un climat méditerranéen capricieux qui dérive.....	9
<b>2. Les avènements climatiques de la métropole.....</b>	<b>12</b>
2.1. Le contexte climatique mondial et méditerranéen.....	12
Zoom : la grotte Cosquer.....	13
2.2. Un climat futur entre dépendance et incertitudes.....	13
2.3. Comment limiter le réchauffement global à +1,5°C ?.....	16
<b>3. Impacts du changement climatique et pistes d'adaptation/atténuation..</b>	<b>18</b>
3.1. Les infrastructures de transport(s) ne sont pas à l'abri.....	18
3.2. Une aggravation des phénomènes d'îlots de chaleur urbains et de la pollution de l'air.....	19
3.3. Des pistes d'adaptation pour préserver la viticulture locale.....	20
3.4. La forêt doit se réinventer.....	21
Zoom : Site expérimental d'étude de la forêt méditerranéenne sur le territoire métropolitain.....	22
3.5. Vers un accès plus restreint aux massifs forestiers métropolitains.....	23
3.6. Le littoral et le milieu marin sous tension.....	23
3.7. Quelles évolutions des écosystèmes marins ?.....	24
Zoom : le tourisme dans l'expectative.....	25
Conclusion.....	26
Sources.....	27

# Introduction

Les connaissances sur le climat de la Terre évoluent et progressent de l'échelle globale à locale. Aujourd'hui, les tendances climatiques futures sont dégagées grâce à la communauté scientifique et plus particulièrement aux travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) qui œuvre depuis 1988 pour évaluer les connaissances scientifiques, techniques et socioéconomiques, les risques climatiques, les effets probables du réchauffement atmosphérique d'origine anthropique, et identifier des pistes et des stratégies d'adaptation et d'atténuation des gaz à effet de serre.

Depuis le début de l'ère industrielle, le réchauffement de la planète évolue de manière inquiétante et les scientifiques, qui se sont emparés de la problématique à partir des années 70, alertent sans relâche les décideurs afin de les inciter à agir et privilégier de nouveaux modes de production et de consommation susceptibles de limiter les impacts du changement climatique qui seront sévères dans de nombreuses régions du monde.

Dans le bassin méditerranéen, les risques liés au changement climatique sont considérés comme majeurs sur la ressource en eau, la forêt, l'agriculture, la biodiversité, les zones humides, le milieu marin, la qualité de l'air... De la pénurie d'eau à l'acidification de la mer, en passant par l'élévation du niveau marin, la perte irréversible de biodiversité floristique et faunistique dans les milieux terrestres et marins, la pollution atmosphérique et des sols ou encore l'intensification des événements climatiques extrêmes (canicules, sécheresses, incendies, pluies intenses, tempêtes...), le changement climatique et plus largement le changement global menacent l'équilibre de tous les écosystèmes à la fois naturels, économiques, sociaux, politiques...



Le réchauffement climatique ne fait plus de doute. En moins de 150 ans, la température moyenne de l'air de la planète a augmenté de plus de 1°C à l'échelle globale. Ce chiffre masque une hétérogène répartition spatiale de ce phénomène qui s'exprime plus intensément sur les continents, dans les montagnes ou encore au niveau des pôles. Cela signifie que cette évolution de la température est encore plus forte dans certaines régions du globe.

La France et la région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur n'échappent malheureusement pas à cette tendance. Dans notre région, depuis le début des années 60, la température moyenne annuelle évolue de +0,3°C par décennie, ce qui est considérable en comparaison avec le taux planétaire de +0,2°C par décennie. Cette hausse est particulièrement marquée depuis les années 80. Face aux alertes et événements extrêmes, comme la canicule de 2003, responsable de 70 000 morts en Europe, ou la répétition des sécheresses après 2000, les acteurs territoriaux s'interrogent de plus en plus, cherchent des réponses et des pistes en adéquation avec le contexte local. Parallèlement, les plans règlementaires, comme les plans climat-air-énergie territoriaux par exemple, s'imposent pour tenter d'anticiper le bouleversement climatique, protéger durablement les personnes et les biens.

La Métropole Aix-Marseille-Provence est l'un des territoires qui s'engagent en faveur de la lutte contre le changement climatique. À travers son plan climat-air-énergie métropolitain (PCAEM) et la complexité de son territoire, elle cherche à se donner les moyens de basculer dans la transition verte tout en préservant son dynamisme et son attractivité. Pour mieux saisir les enjeux territoriaux, cette publication propose de mettre en évidence l'évolution du climat à l'échelle métropolitaine, les enjeux locaux, les impacts probables du changement climatique et des pistes d'adaptation et d'atténuation.

# 1. La métropole et son climat, une relation amicale et conflictuelle

## 1.1. Un territoire au profil atypique métamorphosé

La Métropole Aix-Marseille-Provence qui a fusionné six établissements publics de coopération intercommunale (EPCI), est composée de 92 communes qui abritent aujourd'hui près de 1,9 million d'habitants. Sa surface est proche de 3200 km<sup>2</sup>, ce qui en fait la métropole française la plus étendue, sous l'influence de deux principaux pôles urbains, Marseille et Aix-en-Provence qui se disputent parfois le leadership, de pôles urbains secondaires comme Salon-de-Provence, de villes de taille plus modeste et de villages. Cet espace métropolitain comprend à la fois des zones urbaines denses, des espaces périurbains développés, d'importants centres industriels, de grands espaces agricoles et forestiers, des sites remarquables comme le Grand site Sainte-Victoire ou le Parc national des Calanques, le « premier parc national périurbain d'Europe, terrestre et marin » qui est un condensé des enjeux locaux en termes de développement territorial dans un contexte de changement climatique. L'une des richesses de ce territoire est la diversité de ses paysages entre terres, roches, étangs et mer, vieux villages ceinturés par des lotissements et villes grignoteuses d'espaces...

De la côte littorale au sommet du pic des Mouches (massif de la Sainte-Victoire) ou du pic de Bertagne (massif de la Sainte-Baume), d'où les panoramas s'ouvrent sur des dizaines de kilomètres, l'altitude gagne plus de 1000 mètres sur quelques kilomètres. Son économie et son climat en font un territoire attractif et ambitieux, mais fragile d'un point de vue social, environnemental et sanitaire.

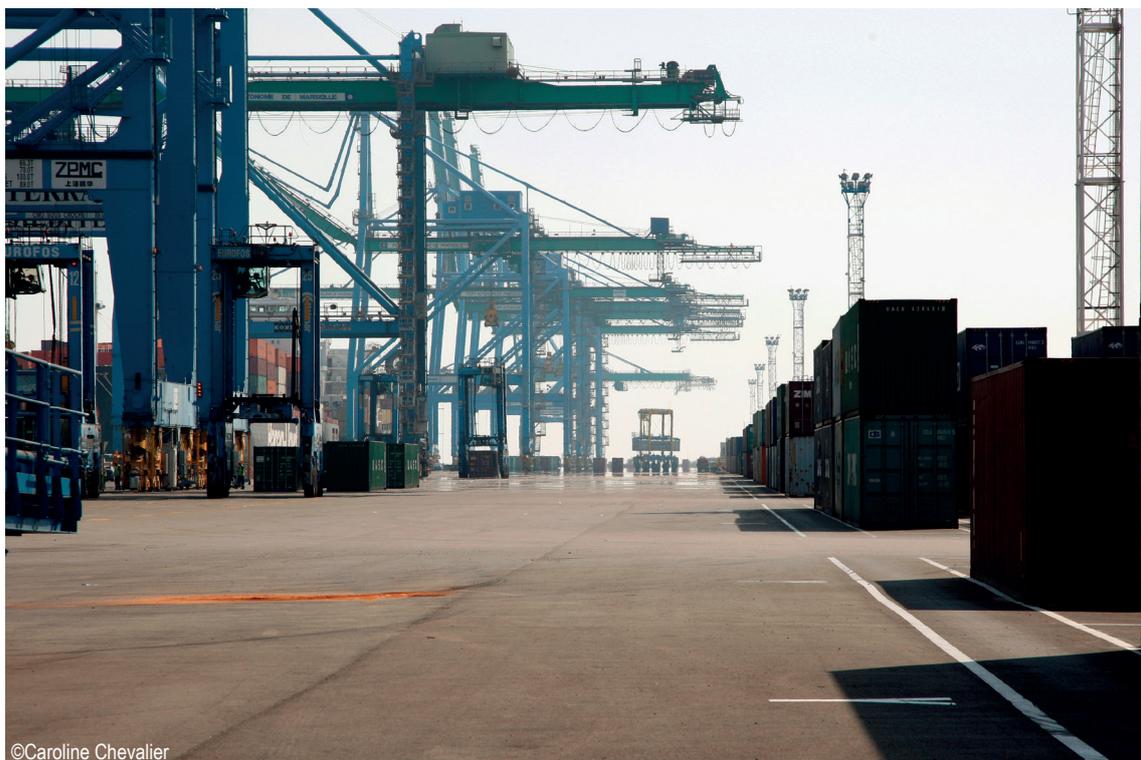
Plus de 60 % de la superficie de la métropole est occupée par des espaces dits « semi-naturels », ce qui est remarquable, mais la plupart sont dégradés à fortement dégradés, et la ville ou du moins les espaces urbains gagnent annuellement près de 900

hectares sur le foncier agricole. Les surfaces agricoles couvrent malgré tout près d'un quart du territoire et contribuent au rayonnement du territoire, malgré son recul annoncé (62 000 ha en 2010, 55 000 ha en 2020). Les surfaces artificialisées (Figure 1) et leur évolution, compte tenu de leur étendue, dispersion et structure spatiale, représentent un enjeu considérable à l'échelle territoriale. Derrière ces surfaces se cachent les zones d'habitat dense, périurbain et rural, les industries, les infrastructures rou-

tières et autoroutières, aéroportuaires et portuaires (trafic industriel, commercial et de passagers, photo ci-dessous), les équipements hydrauliques, les décharges, les zones commerciales et artisanales, les pépinières d'entreprises comme le Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée...

Outre ces surfaces urbanisées, la métropole est aussi ponctuée d'espaces atypiques, comme le coussoul (steppe) ou l'étang de Berre qui s'étend sur 15 500 ha, de massifs réputés (Sainte-Baume, Saint-Victoire...) et traversé par quatre fleuves côtiers (Grand Rhône, Arc, Huveaune, Touloubre). La mer est l'une des composantes principales de ce territoire avec un littoral côtier, souvent urbanisé (hors topographies accidentées et espaces protégés), long d'environ 180 km.

**50 % de forêts  
et de milieux semi-naturels**



La démographie, le développement urbain, économique et industriel sont les principaux facteurs de l'extension des surfaces artificialisées : la commune de Vitrolles, par exemple, est passée de 5050 habitants en 1968 à 37 190 en 2006 (depuis, léger recul), celle de Bouc-Bel-Air de 3210 habitants en 1968 à 14 351 en 2015, tandis que Marseille, la ville la plus peuplée, a perdu près de 50 000 habitants entre 1975 et aujourd'hui, mais retrouve une croissance démographique ces dernières années.

Ainsi, de manière schématique et générale, même si les dynamiques actuelles diffèrent, la croissance urbaine a transformé des communes comme Allauch, Cabriès, Salon-de-Provence ou encore Châteauneuf-les-Martigues, et la périurbanisation principalement dédiée à l'habitat résidentiel s'est développée autour des cœurs de villes et villages, le long des axes de communication et sur le littoral, avec à la clé une mutation des paysages méditerranéens (pins d'Alep<sup>1</sup>, landes et formations herbacées comme les garrigues, essences mixtes, feuillus, vignes, vergers...) qui caractérisent la métropole, et ce au détriment des espaces naturels et agricoles.

Entre 1990 et 2012, 12 000 ha (+20 % d'espaces urbanisés) ont été grignotés par l'étalement urbain, mais le fait le plus remarquable est peut-être l'espace perdu. En effet, la Métropole Aix-Marseille-Provence est une dévoreuse d'espaces (Figure 1) : selon l'Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise (AGAM), une croissance de 20 % d'espace urbain « pèse 10 000 ha au sein de la Métropole Aix-Marseille-Provence, mais 5300 ha à Strasbourg ou Paris ». Cela signifie que le gain démographique se traduit par une perte d'espace plus important que dans la majorité des métropoles françaises : 1 ha urbanisé entre 1990 et 2012 correspond à « environ 20 habitants, 17 résidences principales et 8 emplois », soit presque 2,5 fois moins qu'à Paris. La croissance urbaine est donc davantage horizontale que verticale, ce qui a une incidence sur le maintien et/ou la préservation des paysages. Les conséquences sont nombreuses d'après l'AGAM : multiplication des zones d'activités périphériques

au détriment des centres urbains, coût des infrastructures de transports, de communications et d'énergie et de leur gestion, déperdition énergétique, impacts de la détérioration du milieu sur le paysage, la qualité de vie et l'attractivité résidentielle, multiplication des réseaux pour palier la distance domicile-travail, individualisation des modes de transport, complexification de la gestion du trafic et des transports en commun, pertes de centralité et d'attractivité des centres anciens, fragmentation spatiale de l'habitat et des usages, dégradation de la qualité de l'air, stress, accidentologie, nuisances sonores, artificialisation des bassins-versants nouvellement urbanisés (risques d'érosion, de ravinement, de ruissellement, détérioration de la qualité des nappes phréatiques), incendies dans les espaces de franges au contact des massifs forestiers, détérioration du milieu et de sa capacité à s'autorégénérer (par la fragmentation des habitats), disparitions d'espèces endogènes... La liste est longue.

Tous ces facteurs et enjeux sont en lien direct ou indirect avec le climat et rejoignent l'analyse des scientifiques qui étudient les impacts du changement climatique. Toute la métropole est sous l'influence du climat méditerranéen qui distille ses humeurs avec sa douceur, mais aussi ses extrêmes climatiques.

## 255 km de littoral côtier et lagunaire

<sup>1</sup> Près de 35 % des surfaces végétales boisées.

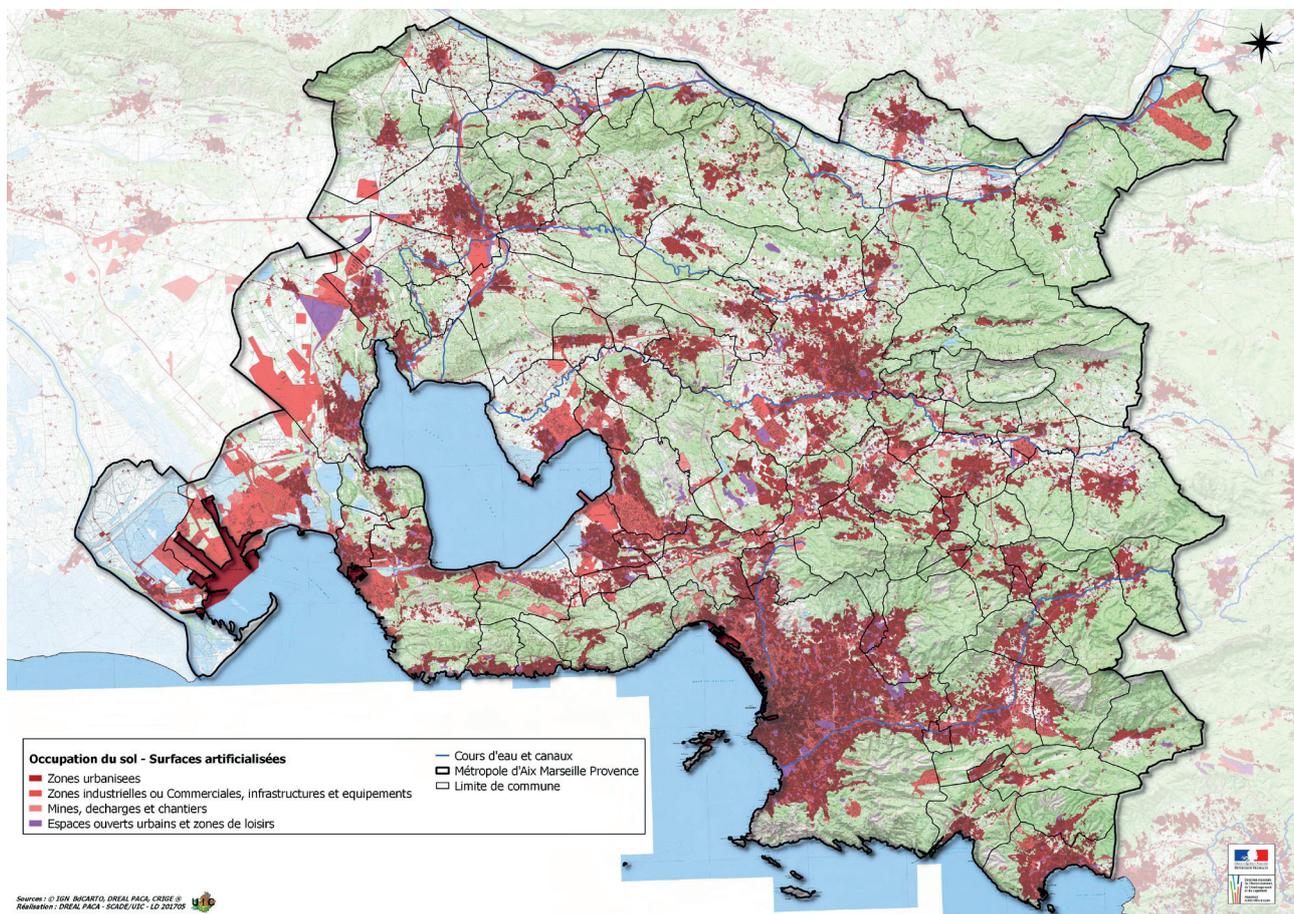
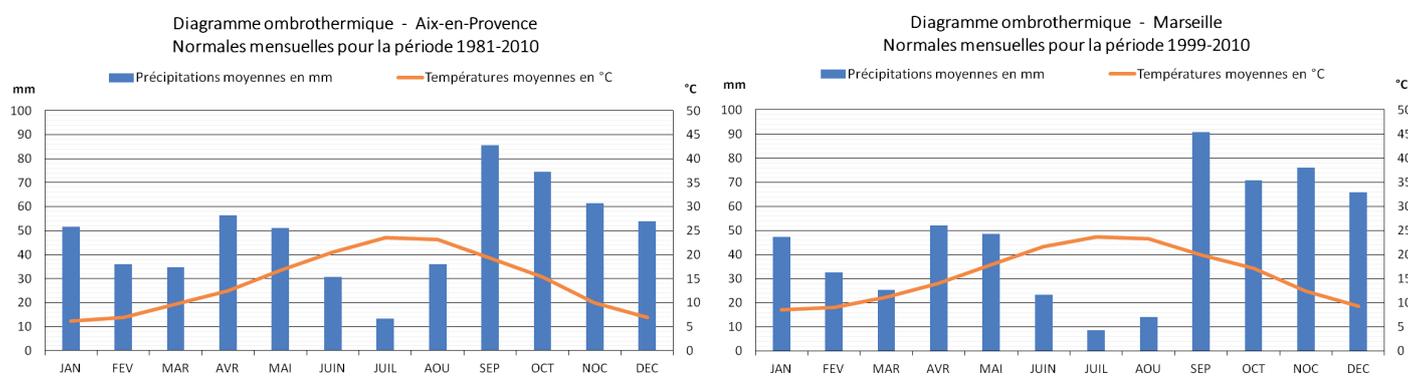


Figure 1. Les surfaces artificialisées de la Métropole Aix-Marseille-Provence (source : DREAL)

## 1.2. Un climat méditerranéen capricieux qui dérive

La Métropole Aix-Marseille-Provence est un territoire qui bénéficie d'un climat typiquement méditerranéen (Figure 2), avec des hivers relativement doux, une période estivale caractérisée par de faibles pluies, un fort apport radiatif solaire saisonnier et annuel, des températures de l'air variant en fonction de l'altitude, l'exposition, la densité de l'urbanisation, l'occupation des sols, la distance à la mer qui tempère les excès en hiver, en été et apporte de l'humidité... Le vent est aussi l'une des caractéristiques climatiques locales les plus marquantes, avec surtout la présence du mistral, mais aussi des brises marines qui balayent l'atmosphère de la franche littorale, des vents d'est ou ouest selon les conditions et flux atmosphériques. Ces caractères généraux ne doivent pas masquer la variabilité inter-annuelle très marquée du climat méditerranéen, les extrêmes climatiques, comme les précipitations intenses, la sécheresse,

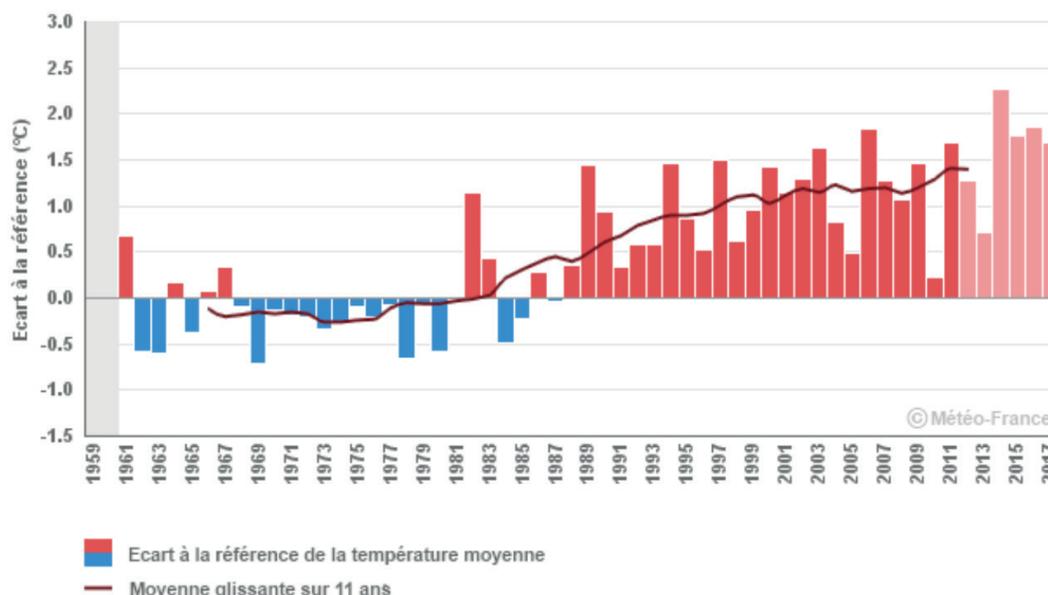
la canicule... La mer Méditerranée joue un rôle majeur, notamment lors des épisodes de pluies de type « méditerranéen » principalement en automne durant lequel les conditions sont réunies (circulation atmosphérique dynamique avec fronts froids en altitude, température de la mer encore tiède pour la saison, cyclogénèse avec advection d'air chaud et humide dans les basses couches de l'atmosphère...) pour provoquer d'intenses précipitations susceptibles de générer des inondations parfois dramatiques. Il faut noter que la température de surface de la mer Méditerranée descend à 12°C minimum en hiver et grimpe à plus de 25°C au cœur de l'été, ce qui explique son rôle majeur (amplitude thermique limitée en hiver et en été, humidité, contraste de la température entre les surfaces maritimes et terrestres à l'origine des brises thermiques quotidiennes, etc.).



**Figure 2. Diagrammes ombrothermiques des stations d'Aix-en-Provence (période 1981-2010) et Marseille (période 1999-2010) : températures moyennes et précipitations moyennes mensuelles (sources : Météo-France, données / TEC, diagrammes)**

Depuis 1959, la température moyenne de l'air a augmenté de +0,3°C par décennie (Figure 3), et depuis 1988, par rapport à la période 1961-1990, les anomalies positives de la tempé-

ture moyenne sont systématiques et dépassent régulièrement 1°C. Cinq années flirtent même ou dépassent +2°C (2007, 2014 à 2017). L'année 2018 sera également une année chaude.



**Figure 3. Évolution des températures moyennes de l'air à Marignane depuis 1959 par rapport à la période 1961-1990 (source : ClimatHD)**

L'augmentation de la température en été est plus marquée avec une hausse par décennie de +0,4°C en moyenne des températures minimales et +0,4 à +0,6°C des températures maximales, par rapport à la période 1961-1990. Les étés 2003 (année record), 2015 et 2017 ont été particulièrement chauds avec des écarts à la moyenne qui dépassent +3°C. En hiver, la tendance n'est pas nette sur les températures minimales, tandis qu'une légère tendance à la hausse des températures maximales est constatée (+0,1°C par décennie).

À Istres, entre 1959 et aujourd'hui, on dénombre 30 jours chauds (> 25°C) supplémentaires par an. Près d'un jour sur trois, la température maximale dépasse aujourd'hui ce seuil. Les journées chaudes débutent dès le mois d'avril et s'étirent jusqu'en octobre aussi bien à Aubagne qu'à Aix-en-Provence, Istres, Marignane, Marseille ou Salon-de-Provence. Le nombre de journées est plus élevé dans l'arrière-pays, à distance de la mer. La température maximale absolue atteint 39,7°C à Marignane, par exemple, 40,2°C à Istres et Aix-en-Provence. En juillet et août, en moyenne, la ville subit plus de 20 jours par mois des températures maximales supérieures à 30°C (période 1981-2010). Le recul du gel est aussi une illustration de l'évolution du cli-

mat de la métropole : -8 jours par an en moyenne par rapport à 1959. Sur la même période, les degrés-jour annuels de chauffage (indicateur de consommation en énergie pour le chauffage, température de référence de 18°C) ont baissé en moyenne de 4 % par décennie (moyenne régionale), soit une baisse totale proche de 250 degrés-jour à Istres. La tendance est inverse sur le nombre annuel de degrés-jour de climatisation (indicateur de consommation en énergie pour la climatisation) : +10 % par décennie depuis 1960, soit près de 200 degrés-jour.

### Depuis 1958, pas de tendance à la hausse des événements pluviométriques extrêmes

Pour les précipitations, les cumuls annuels tendent vers une légère baisse toutes saisons confondues (Figure 4). Il faut noter la forte variabilité interannuelle avec une alternance d'années sèches et humides. Il pleut en moyenne (période 1981-2010) 586 mm à Aix-en-Provence, 554 mm à Istres et 515 mm à Marignane.

### Entre le 1<sup>er</sup> et le 18 août 2003, dans la moitié nord du territoire métropolitain, la température maximale de l'air journalière a été supérieure ou égale à 35°C à 12 reprises ou plus (à 17 reprises dans certains secteurs)

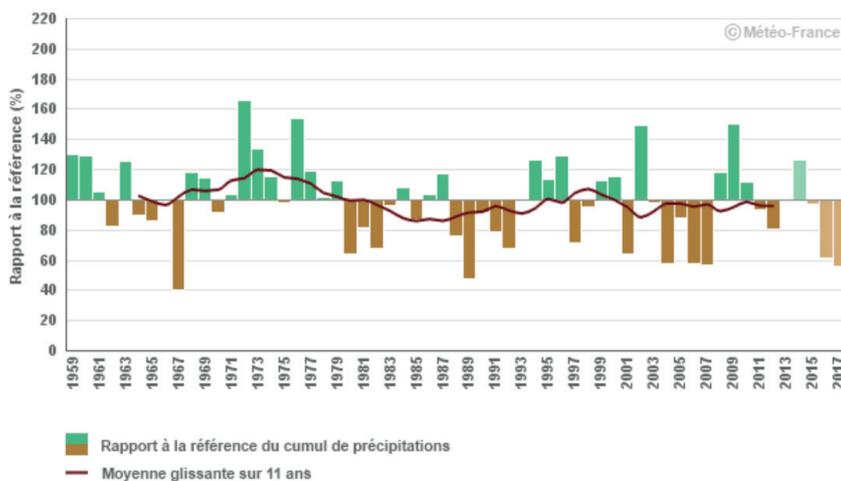


Figure 4. Évolution des précipitations à Marignane depuis 1959 par rapport à la période 1961-1990 (source : ClimatHD)



Les mois les plus pluvieux sont septembre, octobre et novembre. Les précipitations journalières les plus significatives (supérieures à 10 mm) se concentrent essentiellement en automne : 2 à 3 jours par mois, septembre à novembre. Marignane connaît en moyenne annuelle (période 1981-2010) 15,3 jours de précipitations journalières supérieures ou égales à 10 mm (16,4 jours à Istres et 17,9 jours à Aix-en-Provence). Des épisodes pluviométriques intenses et violents peuvent survenir avec des cumuls pluviométriques parfois supérieurs à 80 mm ou plus : 222 mm à Aix-en-Provence en septembre 1993, 212 mm à Marignane en septembre 1932 et 199 mm à Istres en septembre 1964. La variabilité interannuelle est très forte, sachant que le mois de septembre 2017 a été très sec, avec des cumuls pluviométriques oscillant entre 5 à 20 mm sur le territoire métropolitain.

**Aix-en-Provence**  
**Cumul journalier extrême de précipitations :**  
**222 mm le 22/09/1993**

Le nombre de jours de précipitations est limité par le vent qui souffle régulièrement sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence. À Marignane, 104,7 jours par an en moyenne, où les rafales de vent soufflent à une vitesse égale ou supérieure à 16 m/s, soit 58 km/h, sont dénombrés. La rafale maximale enregistrée est de 45 m/s, soit 162 km/h. Le vent emblématique est le mistral de direction nord/nord-ouest qui dégage vite le ciel et assèche l'atmosphère. Sa vitesse dépasse régulièrement 5 m/s, et ce, pendant plusieurs jours d'affilée. La tramontane se manifeste également régulièrement.

Sur le littoral, par conditions météorologiques calmes, les brises de terre et de mer alternent par contraste thermique entre la température de la mer et du continent. Au cours de la journée et de la nuit, un gradient de pression de température diffère entre la mer et la terre. En journée, par exemple, la terre s'échauffe plus vite que la mer, particulièrement au printemps et en été, ce qui provoque une baisse de la pression sur terre (ascension de l'air chaud plus léger), et donc une brise maritime qui a tendance à rafraîchir la température de l'air.

**Marignane**  
**Rafales supérieures ou égales à**  
**58 km/h : 105 jours par an.**  
**Rafale maximale de vent :**  
**162 km/h le 31 août 1994**

La durée d'insolation<sup>1</sup> est particulièrement élevée sur tout le territoire de la métropole : proche de 2860 heures par an en moyenne (période 1981-2010). Par comparaison, Météo-France dénombre 1750 heures à Brest.

L'évolution de la moyenne décennale, basée sur l'analyse du pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse

des sols depuis 1959, indique une augmentation de la surface des sécheresses : 5 % dans les années 1960, 15 % aujourd'hui.

Le territoire dans son intégralité est soumis aux risques climatiques. Sa vulnérabilité est accentuée par l'étalement urbain, la dispersion géographique de la population locale, la présence généralisée d'activités économiques et industrielles, les nombreux aménagements urbains, la forte pollution de l'air, le réseau dense d'axes de communication, l'urbanisation sur le littoral, la fragilité des forêts méditerranéennes, etc.



<sup>1</sup> L'insolation est l'exposition d'un objet au rayonnement solaire direct. La durée d'insolation correspond à la somme des intervalles de temps durant lesquels un objet fixe est soumis à insolation au cours d'une période donnée (Météo-France).

## 2. Les avenir climatiques de la métropole

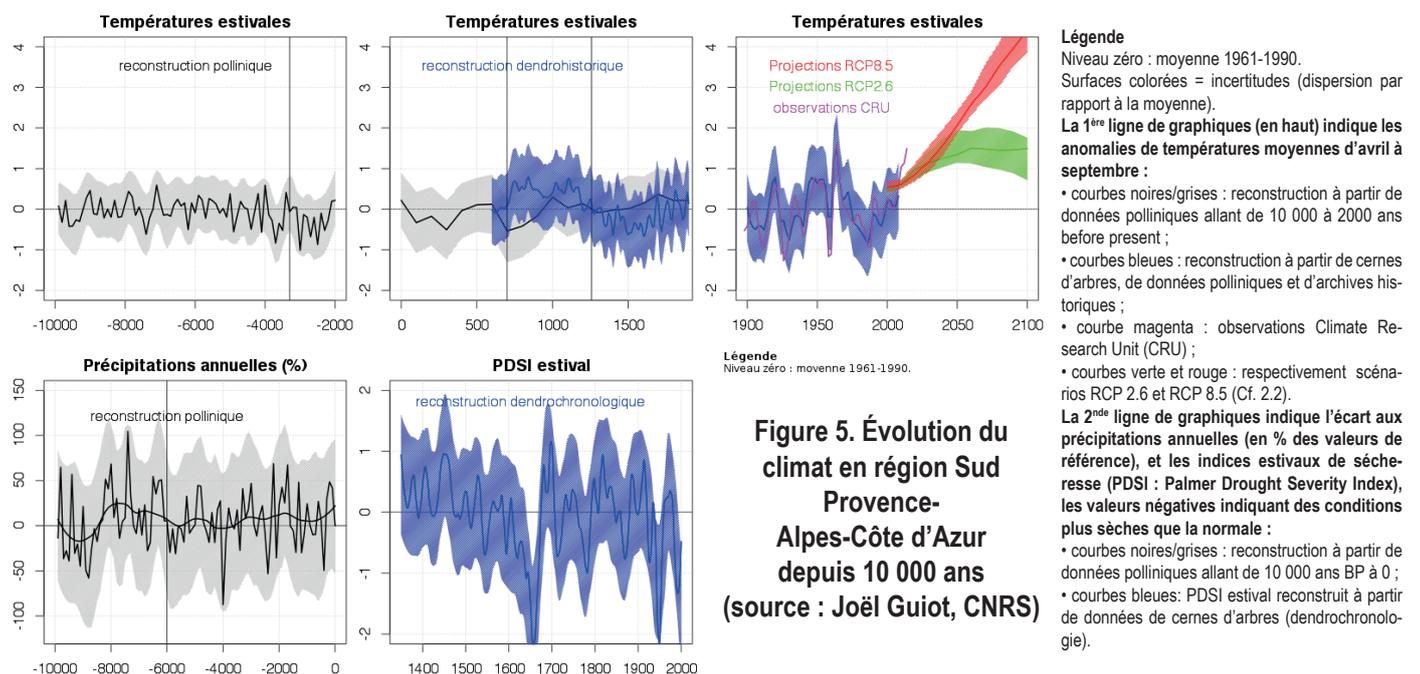
Le climat évolue, mais quelle sera l'ampleur du changement climatique ces prochaines décennies ? Les membres du GIEC et la communauté scientifique se mobilisent pour affiner les connaissances et apporter des réponses à la société qui a encore du mal à appréhender les enjeux multi-échelles et les risques associés. Différents scénarios socioéconomiques sont envisagés à des horizons futurs proches ou lointains. Des indicateurs sont proposés à l'échelle méditerranéenne et métropolitaine pour sensibiliser et informer les acteurs territoriaux.

### 2.1. Le contexte climatique mondial et méditerranéen

La température moyenne de l'air sur Terre serait de l'ordre de  $-18^{\circ}\text{C}$  sans l'effet de serre. Grâce à l'atmosphère, cette enveloppe de gaz très mince qui joue un rôle de « couverture chauffante » et la gravité qui la maintient autour de la Terre, la température moyenne se hisse à environ  $15^{\circ}\text{C}$  ce qui a favorisé le développement de la vie et la richesse de la biodiversité au fil des millénaires. Les activités anthropiques émettent depuis le début de l'ère industrielle de massives émissions de gaz à effet de serre qui perturbent la machine climatique. Les principaux gaz qui composent l'atmosphère sont le diazote (78 %) et le dioxygène (21 %), mais ce sont les gaz minoritaires qui contribuent à l'effet de serre. Ainsi, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) appelé aussi « gaz carbonique », l'ozone, le méthane ou encore les oxydes d'azote contribuent à retenir la chaleur dans les basses couches de l'atmosphère, notamment la troposphère épaisse d'environ 10 km dans les zones tempérées. Ils régulent ainsi le bilan thermique de la Terre. Mais la pollution issue des modes de consommation et de production des êtres humains renforce la présence de ces gaz minoritaires :  $\text{CO}_2$ , méthane, particules en suspension, aérosols, ozone troposphérique (dit « mauvais ozone », contrairement à l'ozone stratosphérique qui filtre les ultraviolets), oxydes d'azote, protoxyde d'azote, etc. se multiplient et bouleversent l'équilibre naturel. La concentration de ces gaz dans l'atmosphère a toujours varié, ce qui

explique partiellement les fluctuations climatiques au cours de l'histoire de la Terre, mais aujourd'hui, leurs quantités sont majorées par les activités humaines à travers le monde, et plus particulièrement celles émises par les pays développés et émergents (Chine, Brésil, Inde...). Ces 400 000 dernières années, les concentrations étaient comprises entre 180 et 300 parties par million (ppm). En 150 ans, les concentrations ont massivement augmenté. En 2017, elles atteignaient 405,5 ppm, soit une hausse de 46 % par rapport au début de l'ère industrielle. De leur côté, les concentrations de méthane ont été multipliées par 2,57. Cette évolution rapide bouleverse le climat et se traduit par une augmentation des températures et une multiplication des événements extrêmes (canicules, sécheresses, tempêtes...). Les hommes contribuent ainsi au réchauffement de l'atmosphère, ce qui a des incidences sur le climat de l'échelle globale à locale et provoque des réactions en chaîne. Les impacts du changement climatique sont particulièrement marqués dans les régions polaires et subpolaires. D'ici quelques années, la banquise en été devrait complètement disparaître par exemple.

Les régions méditerranéennes sont également très affectées et donc très exposées aux effets de l'évolution du climat : étés plus chauds et plus secs, fréquence des sécheresses plus élevée, diminution du manteau neigeux en



montagne, dates des vendanges plus précoces, modifications de la phénologie des arbres (changement du cycle annuel de la plante pérenne)... Ces 10 000 dernières années (Holocène), la température estivale a peu évolué (Figure 5), même si les paléoclimatologues mettent en évidence une certaine variabilité. La gamme de variation des températures estivales n'a ainsi

pas dépassé 1°C en valeur absolue sur tout l'Holocène. Les précipitations ont connu une variabilité plus grande. La relative stabilité des températures n'est plus. Le changement climatique qui s'est accéléré à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle se traduit par des tendances inquiétantes qui auront inmanquablement des effets sur le territoire métropolitain et la gestion des risques.

## Un témoin de la variation du climat dans les calanques marseillaises

La grotte Cosquer, du nom de son découvreur, classée monument historique depuis 1992, témoigne de la présence humaine et de l'évolution du climat du territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence. En effet, vers la fin de la dernière période glaciaire (entre -27 000 et -19 000 ans avant le présent), cette grotte, riche de peintures pariétales préhistoriques et de représentations d'animaux, était accessible à pied. Aujourd'hui, son entrée est plongée dans la mer Méditerranée à 37 mètres de profondeur. Cela s'explique par le niveau marin qui était environ 120 mètres plus bas qu'aujourd'hui. Le littoral des calanques était ainsi sensiblement différent.



### 2.2. Un climat futur entre dépendance et incertitudes

Pour déterminer le climat futur, les sorties des modèles climatiques régionaux, disponibles sur le portail DRIAS, ont été utilisées. Le programme Coordinated Regional Downscaling Experiment<sup>1</sup> (Cordex) propose une régionalisation des simulations climatiques et présente l'inter-comparaison des résultats. La branche européenne du projet international Cordex créé en 2009 s'appelle Euro-Cordex. Ce dernier vise « la coordination et la production de projections climatiques régionales pour l'ensemble des régions du globe ». Son double objectif est de fournir un cadre pour l'évaluation des modèles et des projections climatiques, et une interface pour les utilisateurs de simulations climatiques réalisant des études d'impact, d'adaptation au changement climatique ou d'atténuation des gaz à effet de serre. Euro-Cordex propose ainsi un ensemble de simulations climatiques mises à disposition des utilisateurs, offrant une approche multi-modèles.

Quel est l'intérêt de l'approche multi-modèles ? Elle permet notamment de prendre en compte les incertitudes scientifiques et techniques liées aux connaissances et donc au fonctionnement interne des modèles climatiques, aux futurs choix socioéconomiques des sociétés (scénarios d'émissions), à la variabilité naturelle du climat, mais aussi à l'incertitude spécifique des méthodes permettant d'estimer les variables climatiques à l'échelle régionale. Le portail DRIAS propose ainsi des simulations climatiques Euro-Cordex provenant de 10 modèles pour le scénario socioéconomique RCP 4.5 (le 2<sup>ème</sup> plus optimiste) et 11 modèles pour le scénario RCP 8.5 (pessimiste). Les résultats des scénarios

2.6 et 6.0 sont exclus. Ces scénarios dépendent des quantités d'émissions de gaz à effet de serre en fonction des politiques d'atténuation nationales. Compte tenu des engagements actuels des États et de la mise en œuvre effective des politiques d'atténuation des GES à l'échelle mondiale, le scénario socioéconomique RCP 2.6 ne peut pas être respecté, alors que la communauté scientifique souligne qu'il est encore envisageable. Le scénario RCP 4.5 implique un contrôle des émissions et leur stabilisation à partir de 2070 : à la fin du siècle, les concentrations de CO<sub>2</sub> seraient plus de deux fois supérieures à celles de l'ère préindustrielle. Le scénario RCP 8.5 correspond à l'évolution des émissions actuelles si rien n'est fait pour les réduire jusqu'en 2100. La non-action sous-entend une absence d'intervention des pouvoirs publics. En 2100, les concentrations de CO<sub>2</sub> seraient alors trois à quatre fois supérieures à celles de l'ère préindustrielle.

Les résultats mettent en évidence une hausse significative des températures moyennes de l'air et des fourchettes d'incertitudes, définies par les quartiles 25 %, 50 % et 75 %<sup>2</sup>, relativement limitées. À l'échelle du territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence, la température moyenne annuelle augmenterait (Figure 6), par exemple, de +2°C (médiane, RCP 8.5) à l'horizon 2041-2070 (horizon moyen), par rapport à la période de référence (1976-2005), soit près de +3°C par rapport à la période préindustrielle. Cette hausse pourrait atteindre +3,6°C (médiane) à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle si aucune politique de réduction de gaz à effet de serre n'est mise en œuvre.

<sup>1</sup> [www.cordex.org](http://www.cordex.org)

<sup>2</sup> Les quartiles sont des paramètres de distribution statistique : le quartile 25 % indique qu'un quart des modèles donne une valeur inférieure à la borne ; le quartile 50 % est la médiane de l'ensemble des résultats ; le quartile 75 % indique qu'un quart des modèles donne une valeur supérieure à la borne.

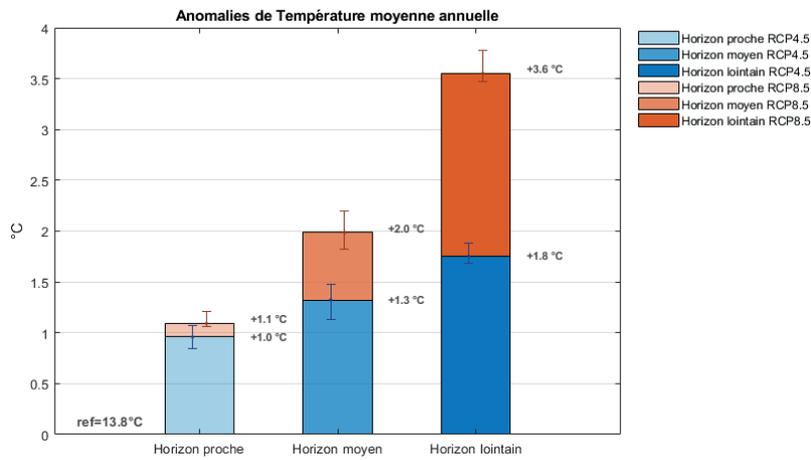


Figure 6. Anomalies de la température moyenne annuelle par rapport à la période de référence (1976-2005) aux horizons proche (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100) pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 (source : TEC)

Ces anomalies peuvent également s'illustrer sous forme de cartes à haute résolution spatiale (Figure 7) :

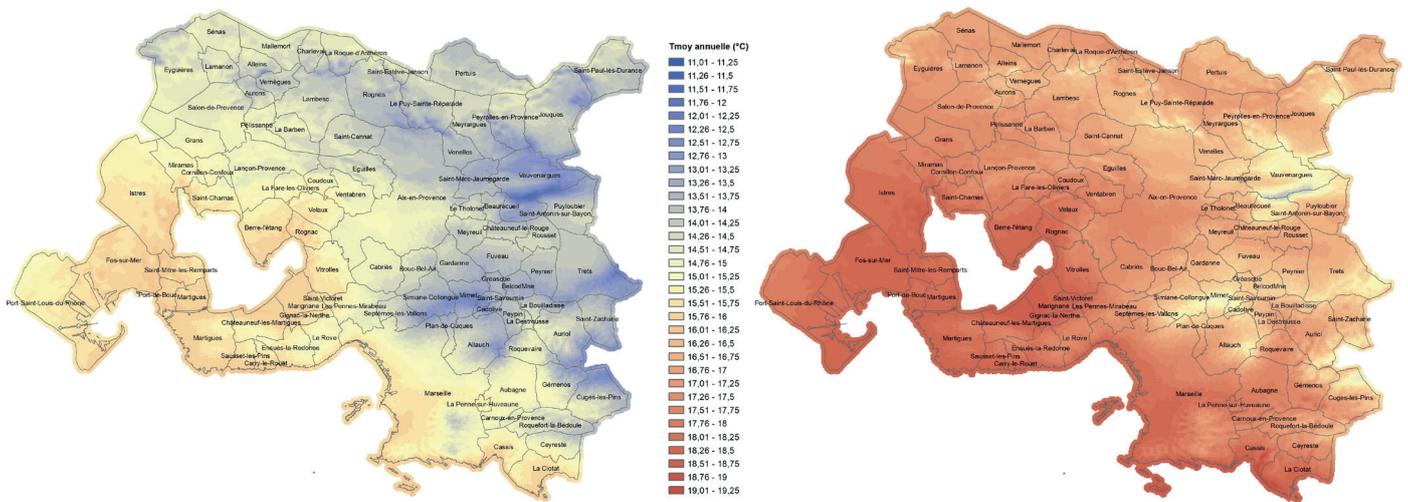


Figure 7. Évolution de la température moyenne annuelle de l'air (en °C) sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence entre la période 1996-2015 (à gauche) et l'horizon moyen (2046-2065, à droite), RCP 8.5 (source : GeographR)

Mais ces tendances annuelles de la température moyenne de l'air masque les disparités saisonnières (Figure 8) qui indiquent que les anomalies en été seraient plus prononcées, ce qui augure des étés avec des températures maximales élevées, des

périodes de canicule, une multiplication probable des nuits tropicales... Vers 2100, selon le scénario pessimiste (RCP 8.5), la hausse atteindrait +4,7°C, voire davantage.

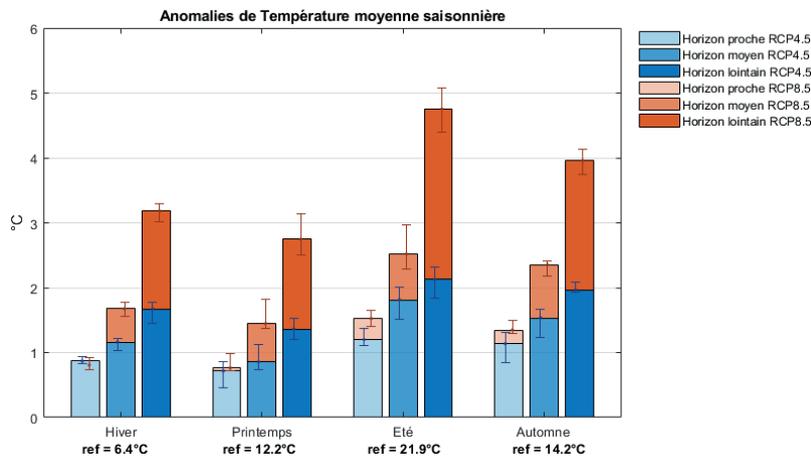


Figure 8. Anomalies de la température moyenne saisonnière par rapport à la période de référence (1976-2005) aux horizons proche (2021-2050), moyen (2041-2070) et lointain (2071-2100) pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 (source : TEC)

L'été 2003 caniculaire pourrait devenir un été « normal », voire frais dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, ce qui montre l'ampleur du changement climatique et soulève des inquiétudes légitimes tant au niveau environnemental que social, avec des risques sanitaires renforcés.

### Nombre de nuits tropicales en été à Aix-en-Provence entre 1976-2005 et 2041-2070 : 18 à 28 jours supplémentaires (médiane) selon les scénarios socioéconomiques

À Vauvenargues, le nombre de jours de gel diminuerait de 15 jours entre aujourd'hui et l'horizon 2055, et le nombre de journées chaudes (température maximale supérieure à 25°C) passerait de 117 jours à 153 jours. Le nombre de journées où la température dépasserait 30°C doublerait (101 jours).

### À Vauvenargues, entre aujourd'hui et 2055, le nombre de journées très chaudes (> 35°C) serait multiplié par 2,5 selon le scénario RCP 4.5 et par 5 selon le RCP 8.5

Sur les précipitations, le signal est moins net que pour les températures à l'échelle métropolitaine. Les résultats des modèles climatiques régionaux sont très variables, d'où une grande incertitude et une absence de tendance. Seul le cumul de précipitations en hiver tend vers une hausse à l'horizon 2085. Ce constat confirme les tendances régionales : les cumuls de précipitations seraient stables ou en légère baisse selon le scénario socioéconomique. Les cumuls seraient légèrement supérieurs en hiver par rapport à aujourd'hui et inversement en été. Ainsi, sur la période estivale, avec les températures élevées, la sécheresse risque de s'accroître à l'avenir. Mais à l'échelle locale, les résultats médians sont plus nuancés :

■ à Aix-en-Provence, entre 1996-2015 et 2046-2065, par exemple, les précipitations évolueraient de manière contrastée en fonction des horizons futurs et des RCP. Sur les cumuls annuels, la tendance serait sensiblement à la baisse (-60 mm entre aujourd'hui et 2055). De manière générale, les précipitations diminueraient en hiver et en été. Durant la période estivale, les stocks d'eau déficitaires associés aux fortes températures de l'air renforceraient le stress hydrique des plantes (cultures, forêts...). Les précipitations automnales resteraient les plus abondantes et auraient même tendance à augmenter. Le cumul des précipitations le plus élevé au pas journalier augmenterait de près de 25 mm, ce qui provoquerait un accroissement des événements extrêmes ces prochaines décennies. Ces moyennes ne doivent pas masquer la variabilité interannuelle du climat avec des années humides et des années caractérisées par une forte sécheresse éventuellement accentuée par de longues périodes de canicule ;

■ à Vauvenargues, les précipitations vont aussi évoluer de manière contrastée en fonction des horizons futurs et des RCP. Globalement, tous horizons et RCP confondus, les cumuls de précipitations annuels diminueraient. D'après le scénario pessimiste (RCP 8.5), les cumuls annuels se réduiraient de près de 55 mm. À l'horizon 2046-2065, les précipitations automnales augmenteraient de manière sensible (+23 %). En été, les précipitations resteraient relativement stables. Le mois de juillet deviendrait toutefois le mois estival le plus humide (40 mm en moyenne contre 26 mm aujourd'hui) à l'horizon 2046-2065. Comme à Aix-en-Provence, un accroissement des événements extrêmes ces prochaines décennies est à craindre. La variabilité interannuelle du climat jouera également un rôle prépondérant.

Au niveau du Grand site Sainte-Victoire, les incertitudes liées aux précipitations sont également grandes avec des valeurs interquartiles éloignées (Figure 9). En octobre, par exemple, les cumuls de précipitations augmenteraient entre 2,5 à 34 % en fonction des résultats considérés.

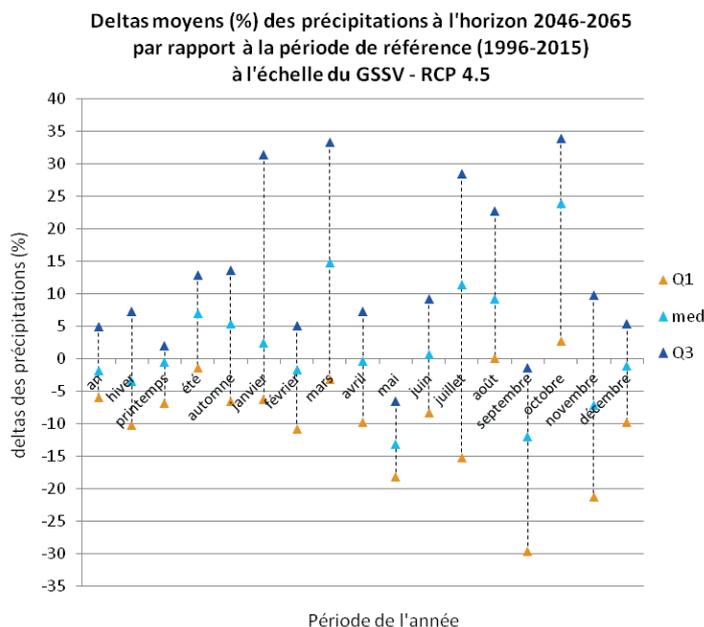


Figure 9. L'évolution des cumuls de précipitations (Q1 : quartile 25 % ; Q2 : médiane ; Q3 : quartile 75 %) sur le Grand site Sainte-Victoire entre la période de référence 1996-2015 et 2046-2065 selon le RCP 4.5 (source : GeographR)

Concernant l'augmentation des épisodes de pluies intenses, sur le territoire métropolitain, les résultats ne mettent pas en évidence de tendances à la hausse ou à la baisse. Par ailleurs, l'augmentation du nombre annuel de jours de pé-

riode de sécheresse risque d'affecter le territoire métropolitain, et plus particulièrement l'agriculture, la forêt et les ressources en eau (Figure 10). La période estivale sera plus touchée.

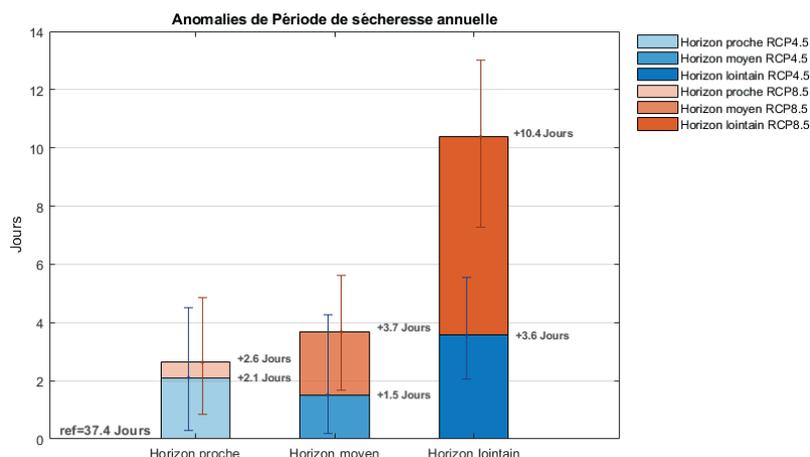
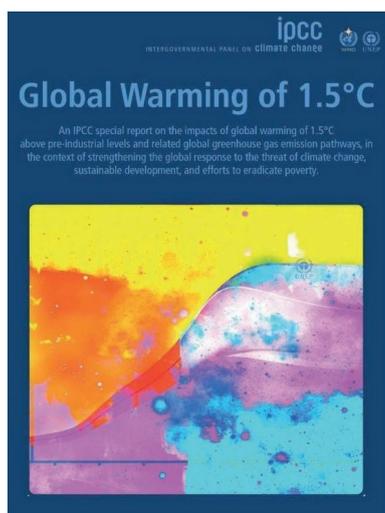


Figure 10. Anomalies du nombre annuel de jours de période de sécheresse par rapport à la période de référence (1976-2005) sur le territoire métropolitain pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 (source : TEC)

### 2.3. Comment limiter le réchauffement global à +1,5°C ?



Le GIEC a publié le 8 octobre 2018 un rapport spécial pour déterminer s'il est encore possible de ne pas dépasser un réchauffement de +1,5°C (SR 1.5) à l'échelle globale par rapport à l'ère préindustrielle. Près de quatre-vingt-dix auteurs ont analysé 6000 publications pour étudier les impacts du réchauffement climatique global à +1,5°C, mais aussi les trajectoires d'émissions de

gaz à effet de serre à suivre pour rester en deçà de ce seuil. La volonté est d'évaluer les avantages par rapport à une hausse de +2°C. Ce rapport émane d'une commande formulée lors de la COP 21 à l'issue de laquelle les États se sont engagés à réduire les émissions de gaz à effet de serre pour limiter les impacts du changement climatique. Si les engagements pris sont respectés par l'ensemble des pays signataires, le réchauffement atteindrait environ 3°C en 2100.

Selon le SR1.5, au rythme actuel des émissions des GES, le seuil de +1,5°C serait atteint entre 2030 et 2052, soit un horizon moyen proche de 2040, sachant que la répartition spatiale de ce réchauffement est inégal. Le bassin méditerranéen est par exemple plus affecté que d'autres régions.

Les avantages de contenir la hausse de la température à +1,5°C sont multiples et fondamentaux (liste non exhaustive) :

- événements extrêmes (canicules, précipitations intenses,

inondations, sécheresses, tempêtes...) moins fréquents ;

- meilleure préservation des ressources en eau ;
- gain de biodiversité terrestre avec une perte divisée par deux ;
- services écosystémiques plus efficaces (séquestration du carbone dans les sols et la biomasse par exemple) ;
- introduction d'espèces invasives plus limitée ;
- risque incendie réduit ;
- meilleure résilience des zones humides ;
- plus grande surface de pergélisol conservée ;
- acidification des océans et des mers moins marquée contribuant au maintien des écosystèmes marins et à la protection de l'enveloppe calcaire (coquillages, coccolithes, coraux) des espèces marines ;
- élévation du niveau marin moindre (10 cm en moins), soit près de 10 millions de personnes moins exposées ;
- ressources halieutiques moins fragilisées ;
- îlots de chaleur urbains plus modérés améliorant le confort des habitants et réduisant les dépenses d'énergie (climatisation) ;
- baisse de rendement agricole moins sévère, notamment pour le maïs, le blé et le riz, diminuant le risque d'insécurité alimentaire...

Un demi-degré en moins (entre 1,5 et 2°C) n'est donc pas anodin et procure des bienfaits significatifs. Pour éviter de dépasser ce seuil de +1,5°C, les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) doivent diminuer de 45 % en 2030 par rapport à 2010 et la neutralité carbone vers 2050, soit un « solde net de zéro entre ce qui est émis dans l'atmosphère et ce que la Terre peut capter et stocker ». Le défi est donc immense et collectif à l'échelle mondiale. Des changements radicaux sont nécessaires pour parvenir à ces exigences : baisser fortement les émissions dans tous les secteurs économiques (par exemple, -70 à -90% des émissions industrielles à l'horizon en 2050 par rapport à 2010), changer les comportements des hommes et leur mode de consommation, privilégier la conservation de la biodiversité et des écosystèmes, restaurer les sols, augmenter le stockage de carbone dans les sols et les biomasses, multiplier les puits de carbone, innover et investir massivement dans les technologies

vertes, développer l'économie circulaire, économiser l'énergie, développer le mix énergétique et plus particulièrement les énergies renouvelables dont la puissance doit être supérieure à celle des énergies fossiles, favoriser de nouvelles pratiques agricoles plus résilientes... Ces mesures demandent une mutation profonde de la société. Elles contribueraient à limiter les effets du changement climatique et amélioreraient la qualité de vie des êtres vivants.

La responsabilité de tous les territoires est engagée pour atteindre cet objectif très ambitieux. La transition verte se jouera à tous les niveaux et chaque action locale renforcera la dynamique en faveur de la lutte contre le changement climatique. En déployant des actions d'envergure et en faisant preuve d'exemplarité, la Métropole Aix-Marseille-Provence peut jouer un rôle important.

**Un demi-degré en moins n'est pas anodin : services écosystémiques plus efficaces, événements extrêmes moins fréquents, élévation du niveau marin moindre, îlots de chaleur urbains plus modérés, baisse de rendement agricole moins sévère...**



©Caroline Chevalier

**« au rythme actuel des émissions des GES, le seuil de +1,5°C serait atteint entre 2030 et 2052, soit un horizon moyen proche de 2040, sachant que la répartition spatiale de ce réchauffement est inégal. Le bassin méditerranéen est par exemple plus affecté que d'autres régions »**

### 3. Impacts du changement climatique et pistes d'adaptation/atténuation

Le bouleversement du climat n'est pas sans conséquence sur le territoire métropolitain. Il renforce les risques sociétaux (économie, santé...) et environnementaux, et en engendre de nouveaux. La rapidité de l'évolution du climat pose la question de la mise en œuvre d'actions favorisant l'adaptation au changement et l'atténuation des gaz à effet de serre à court, moyen et long terme, portées par l'État, les collectivités territoriales, les acteurs économiques et sociaux, les citoyens...

#### 3.1. Les infrastructures de transport(s) ne sont pas à l'abri

D'après le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), les réseaux de transports terrestres (routes, autoroutes, métros, tramways, voies ferrées, etc.) à Marseille, sur le secteur délimité par la rocade L2 au nord et à l'est, l'autoroute A50 au sud et la côte à l'ouest, sont vulnérables face aux extrêmes climatiques, et plus particulièrement aux fortes chaleurs et inondations. Les températures élevées conduisent par exemple à une diminution de la résistance des enrobés sur les routes et les autoroutes. Les rails des voies ferrées souffrent également en se dilatant et s'allongeant. Comme les épisodes de chaleur seront plus fréquents, plus longs et intenses dans un avenir proche, les risques auxquels seront confrontés les infrastructures de transports terrestres se multiplieront. Les enjeux sont d'autant plus grands que les conséquences peuvent être économiques (dégradations du matériel), sécuritaires (risques d'accident), mais aussi fonctionnelles avec un impact non négligeable sur la qualité et la fluidité de la circulation.

L'A50 dans le secteur de l'Huveaune est par exemple fortement exposé au risque inondation susceptible de provoquer des dégâts sur l'infrastructure et ses fonctionnalités. Lors de la crue de l'Huveaune, les 16 et 17 janvier 1978, plus d'un mètre d'eau

avait recouvert l'autoroute. Lors de cet événement, *Le Provençal*, le quotidien régional de l'époque, titrait (photo ci-dessous) : « *Ce fleuve : l'autoroute Marseille-Aubagne* ».

Les incendies de forêt et les vents violents menacent aussi indirectement les réseaux de transport terrestres de la ville de Marseille et par extension celles du territoire métropolitain qui présentent des secteurs à hauts risques.



L'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures de transport face aux extrêmes climatiques est encore principalement réalisée à dire d'experts et s'appuie notamment sur les retours d'expériences. Dans le cadre du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), le Cerema a développé une méthodologie basée sur un croisement entre les vulnérabilités (physiques et fonctionnelles) des réseaux de transport au regard de l'évolution du climat de la ville de Marseille. Cette dernière est détermi-

minée à l'aide des projections climatiques mises à disposition sur le portail DRIAS et les données sur les infrastructures sont fournies par les gestionnaires des différents réseaux concernés. Pour faire évoluer les référentiels techniques pour la conception des infrastructures en tenant compte du changement climatique, le PNACC prévoit également une réflexion sur l'évolution des normes techniques.



### 3.2. Une aggravation des phénomènes d'îlots de chaleur urbains et de la pollution de l'air

Les villes méditerranéennes, par leur configuration spatiale et géographique, et leur croissance, sont émettrices de gaz à effet de serre et sont considérées comme des milieux particulièrement vulnérables. Les épisodes de forte chaleur représentent l'un des aléas auxquels ces villes sont exposées. L'augmentation progressive des températures de l'air durant la période estivale et la répétition des pics de chaleur aggraveront sensiblement les îlots de chaleur urbains dans les espaces urbanisés métropolitains qui sont principalement de type minéral. Le climat urbain est en effet caractérisé par des « températures plus élevées que dans les zones rurales environnantes (surtout en fin de journée et la nuit), des vents spécifiques, la présence de pollution urbaine, une insolation affectée par les ombres portées, des zones de fraîcheur, etc. » Plusieurs degrés peuvent séparer le cœur des villes des espaces ruraux situés en périphérie. Il n'est pas rare

de constater des écarts de 3 à 4°C durant la nuit. Ils peuvent même atteindre 7°C et plus lors des périodes de canicule. Selon Météo-France, l'îlot de chaleur urbain est notamment lié « à l'absence de végétation en ville. En journée, à la campagne, la végétation utilise de l'eau et de l'énergie solaire pour la photosynthèse. La végétation transpire, évaporant l'eau présente en profondeur dans le sol. Grâce à cette évapotranspiration, végétaux et sols n'accumulent pas l'énergie solaire reçue au cours de la journée. En ville, l'énergie solaire est au contraire emmagasinée dans les matériaux des bâtiments et le bitume des routes et des parkings, des surfaces imperméables empêchant l'évaporation de l'eau des sols. Lorsque la nuit arrive, cette énergie est restituée à l'atmosphère urbaine. La nuit, l'air au-dessus de la ville se refroidit donc moins vite qu'à la campagne ».



Avec le changement climatique, de l'inconfort thermique à la pollution de l'air, tout concourt au renforcement des caractères les plus néfastes du climat urbain. Dans les villes de la métropole, les activités anthropiques (transport, chauffage, climatisation...), la proximité des industries et des activités portuaires favorisent la pollution de l'air partiellement dépendante des conditions météorologiques et des différents types de temps : un anticyclone avec un vent faible ou nul favorisera les fortes concentrations de particules en suspension (PM) dans les basses couches de l'atmosphère. Leur nocivité est grave et connue depuis longtemps. Les plus fines particules s'infiltrent dans les voies respiratoires et atteignent même le système sanguin avec des conséquences sur le cerveau, les poumons, le sang, le cœur, le système vasculaire, le développement de l'enfant... Les pics de pollution sont particulièrement sévères lors de certains épisodes froids en hiver où la pollution est souvent généralisée ; sous l'effet

de polluants précurseurs, comme le dioxyde d'azote, les composés organiques volatils non méthaniques et le rayonnement ultraviolet, la pollution photochimique (ozone) s'aggrave. Selon AtmoSud, ce polluant provoque des problèmes respiratoires et peut entraîner une mortalité prématurée. De plus, l'ozone est un gaz à effet de serre contribuant au réchauffement de l'atmosphère. L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air indique que les zones les plus concernées au sein de la métropole sont : le pourtour de l'étang de Berre, le bassin d'Aix-en-Provence et le Luberon : « c'est dans ces zones que se forment la majorité de l'ozone localement, sous les vents des centres d'émissions de polluants de Marseille et de la zone industrielle de Fos-Berre ». Les pics de pollution dépassant des seuils réglementaires représentent un enjeu de santé publique à l'échelle métropolitaine. Plus grave encore est certainement la pollution chronique de fond qui est une menace tout au long de l'année.

Les îlots de chaleur urbains et la pollution de l'air s'influencent mutuellement. Le changement climatique risque d'amplifier les deux phénomènes. Les villes métropolitaines doivent se réinventer (développer les transports en commun, la mobilité douce et les espaces verts, améliorer l'isolation des bâtiments, la performance des chauffages, la qualité et l'albédo des matériaux, pri-

vilégier un urbanisme favorisant la ventilation des rues, éviter les rues canyons, encourager l'usage des véhicules non polluants et le covoiturage, changer les comportements des citoyens, réduire les distances domicile-travail, etc.), pour limiter les effets de ces fléaux responsables de nombreuses morts prématurées.

### 3.3. Des pistes d'adaptation pour préserver la viticulture locale

Le changement climatique a de multiples effets sur les vignobles : avancée des dates de vendanges de plus de trois semaines par rapport aux années 50, déficits hydriques accrus, augmentation du degré d'alcool et acidité plus faible des vins, rayonnement incident plus fort, évolution des profils aromatiques, recrudescence des attaques de champignons et d'insectes ravageurs... Pour les vignobles méditerranéens, comme ceux de la Métropole Aix-Marseille-Provence, l'évolution du climat est problématique dans la mesure où il accentue les fortes températures estivales, les épisodes de canicule et sécheresse (stress hydrique), le manque de froid qui perturbe la phénologie de la vigne, le risque de gel tardif après une longue période de redoux qui favorise le débourrement... Les vignobles métropolitains qui présentent des caractères spécifiques (climat, sol, variétés, cépages, savoir-faire) subissent outre la forte variabilité interannuelle du climat méditerranéen, des conditions climatiques sévères qui auront tendance à s'aggraver ces prochaines décennies. Selon l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), en l'absence d'adaptation, le rendement des vignes en régions méditerranéennes diminuerait de -15 à -35 %.

Pour faire face au défi climatique, selon une étude technique portant sur l'évolution du climat dans le Grand site Sainte-Victoire et l'adaptation des vignobles (Cf. Sources), des « stratégies d'adaptation efficaces sont à mettre en œuvre et devront même laisser la place à des mutations profondes des pratiques agricoles d'ici la fin du siècle si les pays et les sociétés ne diminuent pas les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ». Avec une hausse supérieure à 1,7°C durant la période estivale à l'horizon 2055 (médiane des modèles Euro-Cordex), selon le scénario socioéconomique RCP 4.5 (Cf. §2.2), les périodes de chaleur intense seront plus fréquentes et les événements extrêmes se multiplieront. Les vignobles et les cultures en général sont ainsi appelés à souffrir, ce qui aura des « répercussions agricoles, environnementales et économiques avec une compétitivité accrue entre les vignobles et donc les vins ».

Pour limiter les impacts du changement climatique sur les vignobles, des actions d'adaptation locales doivent être mises en place. Pour répondre aux besoins des viticulteurs et des professionnels du vin, le projet Laccave « vise à étudier les impacts du changement climatique sur la vigne et le vin » et définit des stratégies d'adaptation sur l'ensemble des régions viticoles françaises. L'approche est multiple dans la mesure où elle se penche sur la plante, la parcelle, l'exploitation et le vignoble à l'échelle régionale. Une série de recommandations et de solutions est préconisée :

- raisonner la localisation des vignes en fonction du cépage et



des techniques œnologiques, mais aussi des goûts des consommateurs et de la législation vitivinicole ;

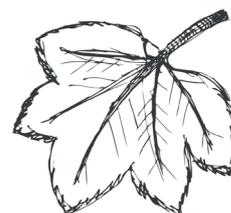
- maintenir la période de maturité du raisin entre le 10 septembre et le 10 octobre. Pour assurer la qualité des vins, les viticulteurs doivent retarder la maturité du raisin. Les solutions d'adaptation se classent en deux catégories : modification des techniques viticoles et modification du matériel végétal ;
- diagnostiquer l'état hydrique de la vigne ;
- utiliser des techniques de conduite de la vigne adaptées au stress hydrique de la plante (conduite en gobelet qui préserve la qualité des vins par exemple) ;

- privilégier des sols ayant un fort potentiel en réserve utile pour maintenir les rendements même en cas de longs épisodes secs ;
- limiter l'exposition des grappes de raisin au rayonnement direct car ce dernier « augmente la teneur en composés phénoliques du raisin et modifie le profil aromatique des vins » ;
- sélectionner des cépages offrant des économies d'eau pendant la nuit. Il s'agit d'une « nouvelle stratégie de sélection pour la tolérance à la sécheresse chez la vigne » ;
- choisir des variétés résistantes<sup>1</sup> aux maladies cryptogamiques (mildiou ou l'oïdium par exemple) tout en réduisant l'utilisation des produits phytosanitaires, en particulier l'utilisation d'engrais azotés ;
- faire accepter aux consommateurs l'évolution du goût des vins en fonction des stratégies d'adaptation...

Il est également important de favoriser le dialogue entre tous les acteurs de la filière vitivinicole et les scientifiques (climatologues, agronomes, économistes, sociologues...), mais aussi les consommateurs, pour mieux définir les stratégies susceptibles de protéger et préserver les terroirs viticoles du territoire métropolitain, adapter les pratiques agronomiques locales, repenser la conduite du vignoble, maintenir et développer l'économie vitivinicole...

Parmi les pistes d'adaptation, selon Bernard Seguin<sup>2</sup>, coprésident du GREC-SUD, ex-directeur de recherche à l'Inra et ex-membre du GIEC, il faudra à court terme assurer un « taux de sucre et donc un degré d'alcool élevés, tout en s'autorisant un relèvement modéré du rendement, ce dernier ayant été affecté ces dernières années par les effets combinés de la canicule

et de la sécheresse. Dans cette optique, un recours modéré à l'irrigation de complément durant les périodes critiques serait techniquement justifié ». Il sera également utile d'éviter « l'effet des températures excessives sur la vendange (éventuellement de nuit et en évitant le transport à la cave en pleine chaleur). L'emploi de levures conduisant à un degré alcoolique moins élevé sera à envisager, tout comme les opérations de désalcoolisation partielle. Sur le long terme, il faudra agir sur le matériel végétal à partir de clones des cépages traditionnels, puis rechercher des cépages plus adaptés au climat futur, tout en évaluant les changements réglementaires qui s'imposeront dans ce cadre. En parallèle, il sera utile de considérer des évolutions dans la localisation du terroir, d'abord au niveau des parcelles (par exemple en délaissant les sols superficiels et secs, auparavant porteurs de qualité), puis en recherchant des conditions microclimatiques *a priori* moins favorables liées à l'exposition et la topographie. Ces dispositions devraient permettre une adaptation acceptable dans les limites d'un réchauffement de l'ordre de 1 à 2°C, ce qui correspond à l'échéance d'environ 2050. Plus largement, il faudra aussi envisager un déplacement du vignoble vers des altitudes plus élevées », même si le relief de la Métropole Aix-Marseille-Provence offre des espaces propices limités. Cette relocalisation sera « nécessaire si l'augmentation de la température de l'air approche 4 ou 5°C dans la seconde moitié du XXI<sup>ème</sup> siècle ».



<sup>1</sup> Les cépages sont à sélectionner en fonction des caractéristiques des terroirs viticoles : Sauvignon kretos, Sauvignon nepis, Merlot khorus, Cabernet cortis, Cabernet blanc, Cabernet noir...

<sup>2</sup> Extrait de l'entretien paru dans le rapport d'étude sur l'évolution du climat dans le Grand site Sainte-Victoire (Cf. Sources).

### 3.4. La forêt doit se réinventer

Les espaces forestiers couvrent 127 800 ha, soit 40 % du territoire métropolitain. Ces forêts sont principalement composées de pins d'Alep et dans une moindre mesure de chênes verts et chênes blancs. Les autres essences, comme les petits peuplements de pins sylvestres au nord du massif de l'Étoile ou les formations de tamaris en Camargue, sont très minoritaires. Depuis le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, la surface forestière n'a cessé d'augmenter sur le territoire métropolitain. Entre 1980 et 2015, la superficie forestière a augmenté de 1 et 2 % par an. Toutes les essences progressent et la part des feuillus et des conifères reste constante. Ce taux moyen est plus faible qu'à l'échelle régionale, mais plus élevé qu'à l'échelle nationale. Les forêts conquièrent principalement les terres délaissées par le pastoralisme et l'agriculture. Plus de 99 % des forêts sont situées à moins de 10 km d'une unité urbaine de plus de 50 000 habitants.

Les forêts sont reconnues pour leurs multiples services (appro-

visionnement en bois, régulation du cycle de l'eau, protection contre les inondations...) bénéfiques à la fois pour la biodiversité et les sociétés humaines. Leur fonction de puits de carbone qui contribue à l'atténuation des gaz à effet de serre est aujourd'hui essentielle. Un hectare de forêt peut représenter jusqu'à 200 tonnes de biomasse par hectare, soit jusqu'à 100 tonnes de carbone. Le stockage du carbone dans la biomasse végétale est possible grâce à la photosynthèse au cours de laquelle le CO<sub>2</sub> atmosphérique est fixé sous forme de molécules carbonées dans les différents organes des arbres (bois, feuilles, fruits, racines). Dans les forêts, ce carbone persiste longtemps dans le système sous forme de biomasse vivante ou morte (litière tombée au sol, bois mort au sol ou sur pied) et une part significative de ce carbone est également immobilisée dans les sols qui constituent à l'échelle mondiale un réservoir 3 à 4 fois plus important que la biomasse. La croissance du volume de bois sur pied, et donc des forêts qui protègent

et enrichissent les sols, sous condition de gestion et protection maîtrisées assurant une bonne santé aux arbres, contribue donc à accroître le stockage du carbone et compenser partiellement les émissions de gaz à effet de serre. Pour éviter les déperditions de carbone, il est aussi primordial de conserver le capital acquis. Si le bois est rapidement transformé en pâte à papier ou brûlé dans des centrales à bois, le stockage s'avère de courte durée. La filière bois d'œuvre, par exemple, doit être privilégiée.

Avec le changement climatique, les forêts montrent des signes de faiblesse, même si des facteurs favorisent leur croissance, comme par exemple l'augmentation de la température qui stimule l'efficacité de la photosynthèse et conduit à l'allongement de la durée de végétation. En effet, les arbres sont sensibles aux longues et intenses périodes de sécheresse qui auront tendance à se renforcer à l'avenir. Les simulations des modèles climatiques indiquent une diminution du nombre de jours de pluie d'avril à octobre. Les arbres souffriront inévitablement de ce manque d'eau. Lors des sécheresses exceptionnelles et successives (2006-2007, 2016-2017), des dépérissements ont été observés dans les forêts provençales. Le pin d'Alep et le chêne vert, deux espèces typiquement méditerranéennes, ont connu une forte baisse de leur productivité et leur mortalité a été nettement supérieure à la normale. Une meilleure santé et résilience des arbres, qui les rendent par ailleurs plus productifs, passent par une gestion durable des forêts. De nouvelles pratiques doivent être mises en place et le partage d'expériences et de connaissances entre la communauté scientifique et les gestionnaires forestiers doit être encouragé. Pour limiter la concurrence entre les arbres et le sous-bois due à la sécheresse, l'une des solutions est, par exemple, d'éclaircir les peuplements.

Les forêts sont aussi dépendantes du risque incendie qui, malgré l'efficacité de la surveillance des feux, s'amplifie lors des années chaudes (2003) et/ou très sèches (2016, 2017). Ces dernières favorisent en effet l'augmentation du volume de biomasse morte (aiguilles, feuilles, petites branches) et donc une accumulation de matériaux combustibles. Durant les années critiques, une recrudescence des grands incendies, ravageant d'importantes

surfaces et menaçant les espaces habités, est constatée. Ces grands feux ont leur propre dynamique et des comportements imprévisibles et dangereux qui peuvent remettre en cause la doctrine d'attaque et de lutte des sapeurs-pompiers. L'incendie de Rognac en août 2016 en est un bon exemple : il a parcouru dans l'axe du vent une longue distance, mais s'est aussi très vite développé sur sa largeur générant des sautes de feu sur les côtés. Il a finalement brûlé plus de 2500 d'hectares de Rognac aux portes de Marseille, en passant par Vitrolles, Saint-Victoret, Aix-en-Provence et Les Pennes-Mirabeau, contraint de nombreuses personnes à quitter temporairement ou définitivement leur habitation, provoqué 33 blessés et détruit 25 immeubles dont un groupe scolaire à Vitrolles et un lycée aux Pennes-Mirabeau. Les autoroutes menant dans le centre-ville de Marseille et l'aéroport de Marignane ont aussi été fermées pendant plusieurs heures. Ces incendies de grande envergure ne durent généralement qu'une ou deux journées en France, mais leurs impacts économiques, humains, médiatiques et psychologiques sont considérables. Ils risquent malheureusement d'augmenter ces prochaines décennies pour plusieurs raisons : tendance à la fermeture des paysages avec une forêt qui s'embroussaille ; renforcement et multiplication des périodes de sécheresse estivale avec une répétition d'étés similaires à 2003 ou 2016... La fréquence de retour des feux extrêmes serait de 4-5 ans à l'horizon 2050 au lieu de 10-15 ans aujourd'hui.



## Site expérimental d'étude de la forêt méditerranéenne sur le territoire métropolitain

Sur la commune de Roquefort-la-Bédoule est implanté le site de Font-Blanche géré par l'Inra, l'Irstea et l'IMBE. L'objectif des équipes scientifiques est de suivre les cycles du carbone et de l'eau dans une forêt mélangée de pins d'Alep et de chênes verts et ce, dans un contexte de changement climatique. Les missions consistent à :

- suivre sur le long terme les composantes des cycles du carbone et de l'eau grâce à des mesures au-dessus du couvert, au niveau des arbres et au niveau du sol ;
- étudier la réponse des arbres et du sol à une augmentation de la sécheresse par manipulations de la ressource en eau et exclusion des eaux de pluie et d'irrigation.

Le site permet également de mettre au point des outils de simulations visant à prédire la réponse de la forêt au changement climatique. Le site Font-Blanche s'intègre dans les différents dispositifs de recherche nationaux et européens, dont SOERE F-ORE-T, réseau français de référence dans le domaine de l'analyse des cycles du carbone, de l'eau et des éléments minéraux en forêt, ICOS, réseau européen dédié à l'observation et au suivi des flux de gaz à effet de serre, et ANAEE, infrastructure dédiée à l'étude des écosystèmes continentaux et de leur biodiversité.

### 3.5. Vers un accès plus restreint aux massifs forestiers métropolitains



Compte tenu des faibles précipitations et des températures élevées durant la période estivale, tous les massifs forestiers des Bouches-du-Rhône sont sensibles au risque incendie qui varie en fonction des conditions météorologiques, de l'état de sécheresse, du combustible disponible... Pour protéger les populations (promeneurs et habitants), la circulation et la présence des personnes sont réglementées par arrêté préfectoral avant le début de la période en théorie la plus critique (1<sup>er</sup> juin au 30 septembre en 2018), tout comme les manifestations publiques et la mise en œuvre des travaux (particuliers et entreprises) dans les zones situées à moins de 200 mètres des massifs. En limitant la fréquentation, les sites forestiers sont également moins exposés au déclenchement des feux, sachant que 90 % des éclo-sions sont accidentellement ou volontairement provoquées par l'homme et ses activités. Ainsi, l'accès aux espaces forestiers peut être interdit en cas de sécheresse sévère et/ou de vent, facteur aggravant de déclenchement et de développement des feux de forêts. La Métropole Aix-Marseille-Provence n'est malheureusement pas épargnée par les incendies en été (Cf. §3.4 et photo ci-dessus). Des feux relativement tardifs sont aussi susceptibles d'éclorre : ce fut le cas, le 14 septembre 2018, dans la calanque de Mounine, située entre Callelongue et Marseillevyre dans le Parc national des Calanques (près de 3 ha de broussailles et de jeunes pousses de pins brûlés). L'accès difficile aux flammes a nécessité l'utilisation de canadais et d'un bateau-pompe pour éteindre le feu depuis la mer. Le 1<sup>er</sup> octobre 2018, hors période réglementaire, en raison du vent tempétueux, la préfecture a

interdit l'accès aux massifs forestiers du département. Quatre niveaux sont définis pour caractériser l'intensité du risque (Figure 11). Le niveau rouge interdit la circulation et la présence des personnes toute la journée, y compris l'accès par la mer. À l'avenir, la hausse des températures, la répétition des périodes de canicule et de sécheresse, la baisse des précipitations, mais aussi la pression anthropique dans les espaces sensibles (mitage urbain dans les collines par exemple) accentueront le risque incendie dans tous les massifs forestiers métropolitains. La période de réglementation sera plus longue (mai à octobre par exemple), ce qui n'empêchera pas les départs de feux précoces ou tardifs. Les contraintes s'intensifieront et l'accès interdit au public sera plus fréquent tous scénarios socioéconomiques et horizons futurs confondus, avec des effets néfastes sur les loisirs des habitants et le tourisme. Ce risque incendie fluctuera en fonction de l'évolution des conditions climatiques, des événements météorologiques, de la quantité et du type de combustible qui dépendra de l'évolution des paysages et de la végétation qui persistera, de la gestion des territoires, des nouvelles mesures de prévention et de lutte des feux de forêts tant en espaces forestiers que périurbains.

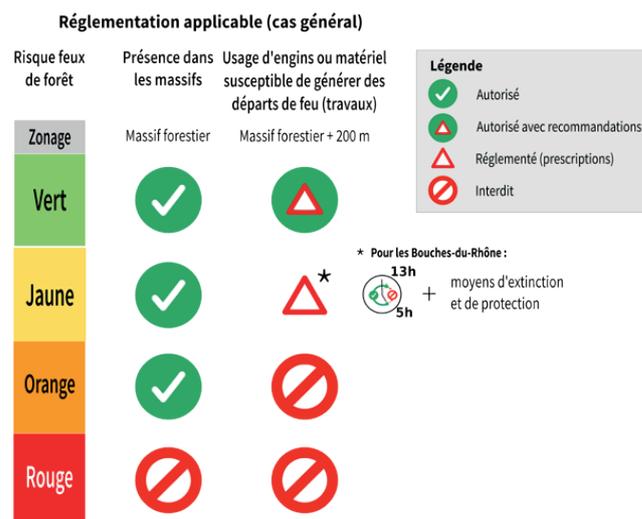


Figure 11. Quatre niveaux de couleurs (vert, jaune, orange, rouge) pour indiquer le niveau de risque incendie et réglementer l'accès aux massifs forestiers des Bouches-du-Rhône (source : [www.bouches-du-rhone.gouv.fr](http://www.bouches-du-rhone.gouv.fr))

### 3.6. Le littoral et le milieu marin sous tension

Les côtes du littoral métropolitain, majoritairement rocheuses et parsemées de petites plages, subissent une importante pression anthropique, mais bénéficient également des actions de protection du Parc national des Calanques, du Parc marin de la Côte bleue, du Parc régional de Camargue et du Conservatoire du littoral.

Globalement, les mers et océans limitent le réchauffement global et les changements climatiques induits, en absorbant 30 % du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) émis par les activités humaines et

en captant environ 90 % de la chaleur supplémentaire générée par le réchauffement de la planète. Cet effet tampon n'est pas sans conséquence sur le milieu marin. En effet, d'une part, le CO<sub>2</sub> absorbé se dissout dans l'eau, ce qui augmente son acidité. L'acidité des mers et océans s'est ainsi élevée de 30 % depuis 1880, dont 7 % ces dix dernières années. D'autre part, les eaux se réchauffent en surface et en profondeur, provoquant une dilatation des océans et donc une hausse du niveau de la mer accentuée par la fonte des calottes glaciaires. À Marseille, le niveau est monté de près de 20 cm au cours du XX<sup>ème</sup> siècle

et pourrait atteindre 85 cm à la fin du siècle avec des conséquences directes sur les zones urbanisées, les équipements portuaires, l'économie locale... Ce bouleversement serait aggravé par les déséquilibres des écosystèmes marins et la perte de biodiversité résultant de l'augmentation de l'acidité et de la température. Les ressources halieutiques locales seraient ainsi affaiblies.

La vitesse de l'élévation du niveau de mer qui a tendance à s'accroître se combinera à une augmentation très probable, en fréquence et en intensité, du nombre de tempêtes dans les prochaines décennies. Les risques sur le littoral sont multiples selon le type de côtes et les infrastructures :

■ **érosion des plages** : les effets du changement climatique ne se font pas encore ressentir au-delà de la variabilité naturelle et du déficit sédimentaire en lien avec les actions humaines sur les bassins-versants qui ne livrent plus suffisamment de sables aux plages, mais, dans un avenir proche, ils affecteront fortement les rivages déjà fragilisés. Comme la majorité des plages du littoral, situées à l'est de Fos-sur-Mer, sont de petites dimensions et disposent généralement d'une zone de repli réduite ou inexistante (topographie, contexte urbain...), leur disparition lente et progressive est inéluctable ;

■ **érosion des côtes rocheuses** : trois principales actions conditionnent l'érosion des côtes rocheuses, soit la morphologie des reliefs, les propriétés intrinsèques de la roche et l'action des forçages météo-climatiques (précipitations, embruns, action des vagues, gel-dégel, etc.). De tous les sites étudiés sur la façade méditerranéenne, les falaises de Carry-le-Rouet (photo ci-contre) sont les plus sensibles au phénomène d'érosion. Le constat a été dressé par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) qui a mené le projet baptisé Valse (Vulnérabilité et adaptation pour les sociétés face aux érosions de falaises côtières) et établi que le recul moyen des falaises s'élevait à 1,1 cm par an. Des effondrements de 500 m<sup>3</sup> sont ainsi survenus sur le territoire de la commune en février 2008, suivis par d'autres cette dernière décennie. Les forçages météo-climatiques seront renforcés par le changement climatique, avec notamment la fréquence plus élevée des tempêtes et des événements extrêmes, ce qui accélérera l'érosion. Les facteurs anthropiques jouent aussi un rôle essentiel. L'apport d'eau d'origine anthropique en surface ou à faible profondeur (arrosage, fuites de piscines ou

de canalisations), issu des habitations situées à proximité des falaises littorales, s'ajoute aux apports d'eau douce pluviale et aux écoulements qui tendent à déstabiliser les falaises pouvant conduire à un effondrement.

Les plages et les falaises ne sont pas les seules à subir les effets de l'élévation du niveau de la mer. Les grands comme les petits ports sont également directement concernés. Lors des surcotes liées aux tempêtes, les inondations plus fréquentes auront un impact sur les infrastructures et donc l'économie locale. Le problème touchera aussi les réseaux d'évacuation des eaux pluviales dont les pentes ont souvent été calculées sur la base du niveau de la mer du XX<sup>ème</sup> siècle. L'intrusion saline, liée à la hausse du niveau marin et la baisse de celui des nappes aquifères côtières, est un risque à souligner : l'eau de mer salée, d'une densité supérieure à celle de l'eau douce, pénètre dans les nappes et altère la qualité des eaux douces.

La fixation du rivage à sa position actuelle sera économiquement très lourde à supporter, voire impossible techniquement. L'adaptation est probablement l'option à privilégier. Les actions efficaces sont encore possibles, cependant les enjeux financiers sont colossaux et la volonté citoyenne et politique doit être à la hauteur. Les principes de la loi littoral, qui consistent à éviter de construire au plus près du rivage par exemple, sont tout à fait pertinents pour éviter les zones à risques, mais ils n'ont malheureusement pas été appliqués avec suffisamment de vigueur. Il serait intéressant d'encourager sur les côtes de la métropole des expérimentations originales visant la relocalisation afin de faire évoluer le débat et apporter des réponses concrètes sur son territoire caractérisé par sa multiplicité.



### 3.7. Quelles évolutions des écosystèmes marins ?

Le milieu marin et sa biodiversité sont influencés par l'évolution du climat, mais aussi par le stress d'origine anthropique (dégradation de la qualité de l'eau, surpêche, aménagements côtiers...).

Les impacts de l'acidification sont variables car les organismes marins ont des sensibilités différentes. Des organismes planctoniques sont par exemple les proies de certaines larves de poissons d'intérêt commercial : une diminution de leur abondance aurait des conséquences sur la pêche. La plupart des organismes qui ont un squelette (coraux) ou une coquille (huîtres, moules) calcaire sont plus sensibles que d'autres. Mais c'est

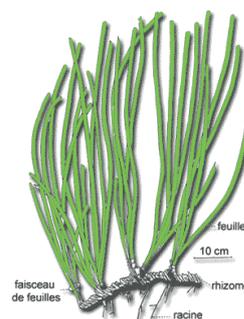
surtout l'augmentation de la température de l'eau ajoutée à l'acidité croissante qui aura les effets les plus dramatiques. C'est notamment le cas pour les gorgones, qui ont subi des épisodes de mortalité massive lors de pics de température et pour les mollusques bivalves d'intérêt aquacole.

L'introduction d'espèces exotiques est également problématique. Certaines d'entre elles provoquent déjà un attrait touristique comme l'apparition du barracuda autour de l'archipel de Riou, mais d'autres deviendraient invasives comme le poisson-lapin et le poisson-flûte qui sont des compétiteurs pour la ressource

et dont la présence est désormais avérée dans les eaux côtières métropolitaines. D'autres espèces toxiques comme le poisson-lion ou le poisson-pierre auraient des effets sur la santé des usagers (intoxications des pêcheurs ou des consommateurs, plongeurs blessés). Face à ces nouvelles espèces, les moyens d'actions sont limités, mais la surveillance et le suivi sont indispensables.

De son côté, la posidonie (dessin ci-contre, ©C.-F. Boudouresque / A. Meinesz), plante à fleurs endémique de la mer Méditerranée, est présente entre la surface et 20-40 m de profondeur, sur substrat meuble et plus rarement sur substrat rocheux. L'herbier de posidonie est à l'origine de services écosystémiques considérables, dont la valeur annuelle par hectare est parmi les plus élevées au monde, terre et mer confondues : frayère et nurserie pour des espèces d'intérêt commercial, fixation des sédiments et protection des plages contre l'érosion, source de matière organique pour les autres écosystèmes côtiers. En séquestrant à long terme du carbone dans la « matie » (rhizomes et racines vivants ou morts), il contribue également à atténuer les effets des rejets anthropiques de CO<sub>2</sub>. L'herbier de posidonie qui vit dans une large gamme de température (10°C en hiver, 28-30 °C en été) n'est pas, sur les côtes métropolitaines, directement menacé par l'augmentation de la température de l'eau. Il

serait peut être même favorisé par des températures hivernales plus élevées. En revanche, d'autres facteurs entraîneraient une réduction de la surface des herbiers. La montée du niveau marin (environ 3 mm/an), qui diminue le bilan lumineux en limite inférieure de l'herbier, reste aujourd'hui compatible avec la croissance verticale des posidonies, mais deviendrait un facteur limitant si elle s'accélérait. Un autre danger les guette : les poissons-lapins qui sont des herbivores voraces. Le réchauffement favorise leur progression vers l'ouest et le nord de la Méditerranée et leur développement menacerait les herbiers de posidonie de surpâturage. Mais les menaces les plus graves aujourd'hui restent les aménagements côtiers, les pollutions biologiques et chimiques, le mouillage et la surfréquentation. Pour préserver et maintenir les services écosystémiques des herbiers de posidonie et favoriser leur bonne santé, la pression anthropique doit diminuer.



## Le tourisme dans l'expectative



Le tourisme métropolitain dépend de son climat méditerranéen, chaud et ensoleillé, même si les raisons de découvrir le territoire sont variées (richesse du patrimoine historique, des terroirs agricoles, des événements culturels, des paysages...) et si les critères financiers prévalent lors de la réservation des séjours. Si le climat change à l'avenir, le territoire restera-t-il aussi attractif ? Plusieurs facteurs peuvent freiner les touristes à l'avenir : températures excessives en été, humidité croissante en bord de mer, nuits tropicales, développement des populations de moustiques vecteurs de maladies (chikungunya, dengue), aggravation de la pollution de l'air, accès restreint ou interdit aux massifs forestiers sur une

longue période de l'année, dont des lieux symboliques comme le Grand site Sainte-Victoire ou la Sainte-Beaume qui perdraient au moins partiellement leur identité paysagère sous les effets du changement climatique, conflits d'usage sur les ressources en eau, augmentation des grands incendies, sécheresses sévères, recul du trait de côte réduisant les surfaces de plages...

Les intersaisons seront peut-être les gagnantes de l'évolution du climat avec une fréquentation en hausse quand le climat deviendra plus doux. Cette évolution serait positive pour limiter la surfréquentation actuelle de certains sites, éviter la saturation des hébergements et réduire l'exposition des touristes à certains risques. Les conditions de baignade deviendraient aussi plus favorables de mai à octobre avec l'augmentation des températures, mais en contrepartie les écosystèmes terrestres sont par exemple susceptibles de s'appauvrir.

La gestion du territoire dans toute sa complexité (urbanisation, agriculture, mer, forêt...) et les images associées, qui seront probablement écornées par les changements, seront déterminantes pour continuer à attirer les touristes. La perception du territoire dépendra aussi du traitement des événements climatiques par les médias et de la communication. Les déterminants de l'imaginaire touristique sont trop complexes pour que l'on puisse réellement prévoir l'effet sur l'attractivité des destinations. Les stratégies, basées sur la qualité de l'offre, l'accessibilité et la valorisation du patrimoine resteront payantes.

# Conclusion

Les causes naturelles n'expliquent pas la rapidité de l'évolution du climat depuis le début de l'ère industrielle. Ce sont les activités anthropiques, et notamment les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, qui jouent un rôle majeur et accélèrent la vitesse du réchauffement planétaire. À l'échelle métropolitaine, ce bouleversement, accentué par le changement d'usage des terres (mutations des paysages, nouvelles affectations des sols, pollutions de l'eau, du sol et de l'air, etc.), aura des effets sur les espaces urbanisés et périurbains, les terres agricoles, les écosystèmes terrestres et marins, menaçant ainsi la nature et l'homme : îlots de chaleur urbains renforcés, perte de biodiversité, ressource en eau plus limitée pendant la saison estivale, évolution de la phénologie des plantes (dépérissement des forêts par exemple), précipitations intenses potentiellement plus marquées, ressources halieutiques fragilisées, érosion des côtes sableuses et rocheuses, fréquence plus élevée des grands incendies, infrastructures portuaires et routières mises à mal... La Métropole Aix-Marseille-Provence sera ainsi soumise à des risques grandissants auxquels les habitants et les autorités locales seront confrontés.

Pour protéger les populations et préserver ses écosystèmes, souvent déjà dégradés, l'établissement public de coopération intercommunale est contraint de mettre en

œuvre des pistes d'adaptation au changement climatique et d'atténuation des gaz à effet de serre. Des actions pour optimiser le transport en commun et le covoiturage afin de limiter la pollution de l'air, encourager les véhicules propres et la mobilité douce, éviter les rues canyons, orienter les industries lourdes vers des activités moins émettrices de gaz à effet de serre et de substances nocives n'altérant pas la santé des hommes, améliorer l'isolation, la qualité des bâtiments et la performance des chauffages, choisir des matériaux urbains ne favorisant pas le stockage de la chaleur, tendre vers un urbanisme responsable et durable, et des structures urbaines plus aérées, développer l'agriculture urbaine et la végétalisation en sélectionnant des variétés d'arbres adaptées au climat méditerranéen, capables de rafraîchir l'atmosphère (évapotranspiration) avec un minimum d'eau,



©Caroline Chevalier

réduire les distances entre le domicile, le travail, les loisirs, les établissements sanitaires et commerciaux, sensibiliser les professionnels et les citoyens aux bons comportements, maîtriser la croissance urbaine en préservant les terres agricoles, tout particulièrement les plus fertiles, et forestières pour augmenter la séquestration du carbone dans les sols, relocaliser les habitations sous la menace du recul du trait de côte, transformer les ports pour faire face à l'élévation du niveau de la mer, privilégier la production agricole locale et les circuits courts, stimuler l'économie circulaire, soutenir le développement des énergies renouvelables (solaire, éolien sur terre et en mer, filière bois...), poursuivre les efforts sur le recyclage des déchets, préserver les écosystèmes naturels qui rendent des services gratuits (herbiers de posidonie par exemple)... La liste est loin d'être exhaustive. Tout doit être pensé de manière globale dans une approche systémique et tous les acteurs du territoire doivent être invités à débattre autour de la table pour n'exclure personne. Le territoire de demain de la métropole doit être désirable pour donner envie aux citoyens de s'engager durablement dans la transition verte qui est porteuse d'emplois, mais peine à démarrer malgré les premières initiatives positives restant aujourd'hui largement insuffisantes.

Mais l'évolution du climat ne dépendra pas seulement des politiques d'adaptation et d'atténuation locales. L'État français doit prendre ses responsabilités et donner des lignes directrices fortes aux autorités régionales et territoriales. Tous les pays et leurs territoires doivent contribuer à l'effort collectif en fonction de leurs moyens et de leur potentiel. La Métropole Aix-Marseille-Provence ne doit pas rester isolée, mais au contraire s'ouvrir vers les grandes métropoles françaises, européennes et mondiales pour partager les expériences, les connaissances, les savoir-faire, identifier les pistes efficaces, faire preuve d'une solidarité exemplaire, innover en permanence en s'appuyant sur les connaissances scientifiques et techniques les plus récentes...

# Sources

Briche E., Bruyère S., Silvy Y., Dubois G., Russo L., *Cahier « Vulnérabilités »*, 2018, TEC, rapport réalisé dans le cadre du PCAEM (sur demande : Métropole Aix-Marseille-Provence). Lire entretiens avec Thomas Curt (Irstea), Jean-Pierre Féral (IMBE), Marie-Laure Lambert (LIEU), François Sabatier (CEREGE), Bertrand Vedovati (CEREMA Méditerranée).

Briche E., Bruyère S., Silvy Y., Dubois G., Russo L., *Cahier « Climat et aléas météorologiques »*, 2018, TEC, rapport réalisé dans le cadre du PCAEM (sur demande : Métropole Aix-Marseille-Provence).

Cahiers du GREC-SUD ([www.grec-sud.fr](http://www.grec-sud.fr)) édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR Climat) :

- *Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur*, 2016
- *Climat et ville : interactions et enjeux en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, 2017
- *La mer et le littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique*, 2017
- *Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, 2016
- *Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique*, 2015.

ClimatHD : [www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd](http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd)

Drias : [www.drias-climat.fr](http://www.drias-climat.fr)

Gauquelin T., W. Cramer W., *La forêt française et ses sols pour limiter les gaz à effet de serre*, 4 juin 2018 : <https://theconversation.com/la-foret-francaise-et-ses-sols-pour-limiter-les-gaz-a-effet-de-serre-96065>

Laccave : [www6.inra.fr/laccave](http://www6.inra.fr/laccave)

Marçot N., Dewez T., Giuliano J., Claeys C., Lebourg T., Godard V., Prémaillon M., Fissier L., Rouadjia A., Tepongning-Megnifo H., Mathon C., Stépanian A., 2016, *Projet VALSE : Vulnérabilité et adaptation pour les sociétés face aux érosions de falaises côtières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur*, rapport final n°BRGM/RP-64069-FR, 123 p.

Météo-France : [www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com)

Moussaoui M., Rossello P., 2017, *L'émergence de l'agriculture urbaine en milieu méditerranéen : entre potentiel et illusions (focus sur la métropole d'Aix-Marseille-Provence)* : [www.grec-sud.fr](http://www.grec-sud.fr)

Publiothèque de Météo-France : [publitheque.meteo.fr](http://publitheque.meteo.fr)

Rossello P., *Évolution du climat dans le Grand site Sainte-Victoire*, 2017, GeographR (sur demande : Métropole Aix-Marseille-Provence).

Rapport spécial sur le réchauffement planétaire de 1,5°C (SR1.5), synthèses, 2018 :

- IPCC : [www.ipcc.ch/report/sr15](http://www.ipcc.ch/report/sr15)
- ministère de la Transition écologique et solidaire : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr>
- OTMED Labex : <http://www.otmed.fr>



L'association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR Climat), qui entend contribuer à la prise de conscience des enjeux du changement climatique, mais aussi aider à la recherche de solutions innovantes, encourage la transition verte en coordonnant notamment le GREC-SUD.

[contacts@air-climat.org](mailto:contacts@air-climat.org)  
[www.air-climat.org](http://www.air-climat.org)  
[www.grec-sud.fr](http://www.grec-sud.fr)



9 782956 006077