

ÉTUDE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

*PRISE EN COMPTE ET INTÉGRATION
DANS LES DÉMARCHES BDM ET QDM*

Emily DEYDIER - mai 2018

Ce document synthétise l'ensemble des notions acquises ou encore incertaines aujourd'hui au sujet du changement climatique, dans le but de produire de nouveaux critères pertinents, qui prennent en compte le changement climatique, dans nos Démarches Bâtiments et Quartiers Durables Méditerranées.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	4
1. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL.....	7
1. GÉNÉRALITÉS.....	7
2. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN EUROPE.....	11
3. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN FRANCE.....	15
4. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LE SECTEUR DU BÂTIMENT.....	22
2. GÉNÉRALITÉS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN RÉGION PACA.....	25
1. LE CLIMAT MÉDITERRANÉEN.....	25
2. LES ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR.....	28
3. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES DIFFÉRENTES ZONES CLIMATIQUES...	36
1. DÉFINITION DU PAYSAGE DE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR.....	36
2. LE LITTORAL.....	39
3. LE MILIEU ALPIN.....	41
4. LE MILIEU FORESTIER.....	43
5. LES ZONES HUMIDES.....	46
4. LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN PACA.....	47
1. SUR LA SÉCHERESSE.....	47
2. SUR L'EAU.....	48
3. SUR LES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DES USAGERS.....	52
4. SUR LE TOURISME.....	56
5. SUR LA SANTÉ.....	57
6. SUR L'AGRICULTURE ET LA FORÊT.....	58
5. PISTES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	62
1. ADAPTATION AUX MODIFICATIONS LIÉES À LA RESSOURCE EN EAU.....	63
2. ADAPTATION DU LITTORAL.....	68
3. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	69
4. ADAPTATION ET COÛTS.....	70
6. OUVERTURE : DES EXEMPLES, IDÉES ET SOLUTIONS ISSUES DE SCIENTIFIQUES & PAYS ÉTRANGERS, APPLICABLE EN RÉGION PACA.....	71
1. INSPIRATIONS ISSUES DE TEDTALKS.....	71
2. INSPIRATIONS D'AUTRES PAYS.....	75
7. ZOOM SUR L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN (ICU).....	81
1. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LE MILIEU URBAIN.....	81
2. L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN.....	84
8. INTÉGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES DÉMARCHES BDM ET QDM : PROPOSITION DE CRITÈRES.....	89
CONCLUSION.....	92
LES ZOOMS DES CAHIERS DU GREC PACA.....	93
LEXIQUE.....	96
RÉFÉRENCES.....	97

INTRODUCTION

Au sujet de ce document...

Ce document est une synthèse des lectures effectuées au cours de ma recherche sur le changement climatique. Ces lectures se sont essentiellement portées sur le rapport du GIEC et les cahiers du GREC-PACA. Ainsi, toutes les informations et affirmations de ce document proviennent de ces sources (rédaction très largement inspirées des rédactions citées précédemment).

Le but de ce document est de synthétiser toutes les informations disponibles aujourd'hui au sujet du changement climatique, que ce soit ses prévisions ou les solutions à apporter à celui-ci. Cela me permet d'avoir une connaissance large de ce sujet, bien que mon travail de recherche soit surtout axé sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA). Suite à ce document, je pourrais extraire des faits et des informations qui me seront utiles pour l'élaboration de critères à insérer dans les démarches Bâtiments et Quartiers Durables Méditerranée (BDM et QDM) concernant l'adaptation au changement climatique dans la conception, la réalisation, et le fonctionnement des bâtiments et des quartiers. Ce document sera accessible et disponible pour tout le réseau d'adhérents qui compose EnvirobatBDM. Bien sûr, il faudra consulter les cahiers et rapports listés en référence pour plus de détails et de précisions. Ceci n'est qu'un résumé subjectif de mes lectures, et de ce qui me semble pertinent pour répondre à la problématique qui m'est posée.

Suite à la rédaction de ce document, un groupe de travail a été réuni le 25 juin 2018 pour réfléchir à ces enjeux et apporter des réponses contextuelles à la problématique que j'avance. De **nouveaux critères BDM et QDM** ont été proposés au public ce jour-là. Ils ont fait l'objet de discussions et de reformulations, et reste à l'équipe d'EnvirobatBDM de **choisir les critères à intégrer prioritairement dans les grilles d'évaluation BDM et QDM**.

Introduction générale...

Selon un article paru dans le NouvelObs (citant comme source le Global Footprint Network National Footprint Accounts 2017), il faudrait aujourd'hui 3 planètes Terre pour subvenir à nos besoins si la population mondiale vivait comme la population française (consommations énergétiques, alimentaires, etc.).

Comme nous le verrons par la suite, **le GIEC présente plusieurs scénarios de changement climatique, pour couvrir des prévisions pessimistes, médianes, ou optimistes: le scénario minimal (+ 1,1°C), le scénario intermédiaire (+ 2,8°C), le scénario maximal (+ 6,4°C). Le fait qu'il y a différents scénarios de prévision du changement climatique aujourd'hui est lié au fait qu'il y a des incertitudes concernant ce changement climatique**. Ces incertitudes sont de trois ordres: l'incertitude sur l'évolution des émissions et des concentrations de GES au niveau mondial (qui est en fait une incertitude socio-économique et politique), l'incertitude sur les réponses du climat face à ces évolutions (l'adaptation climatique), et l'incertitude concernant les impacts des changements climatiques sur les systèmes naturels et socio-économiques du fait des méconnaissances de la vulnérabilité des territoires et des réponses de systèmes (l'incertitude de l'adaptation au changement climatique).

On comprend donc que **l'énorme enjeu de l'adaptation au changement climatique aujourd'hui repose sur le choix du scénario**. En effet, en se situant dans le scénario médian de prévision, on prend le risque de retarder ou de repousser trop longtemps des mesures nécessaires pour faire face aux impacts d'un scénario pessimiste. Au

contraire, en se situant dans le scénario pessimiste, on prend le risque de surinvestir dans des actions d'adaptations et donc gaspiller des ressources. L'exemple du BTP est très parlant dans ce dernier cas car un surinvestissement se traduirait par une grande perte économique, ce qui n'est pas envisageable.

Ainsi, l'adaptation nous oblige à nous questionner sur notre mode de vie au sens large: **faut-il sans cesse raisonner en termes de ressource mobilisable en fonction des besoins, ou bien repenser les besoins en fonction de la ressource disponible ?**

Quelques éléments de vocabulaire

On peut donner ci-dessous les termes employés lorsque l'on parle de changement climatique.

Tableau 1: Les termes principaux du changement climatique

Changement climatique	Variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres. On notera que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article premier, définit les changements climatiques comme des « changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ». La CCNUCC établit ainsi une distinction entre les changements climatiques attribuables aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat imputable à des causes naturelles.
Danger	Éventualité d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturel ou anthropique, ou d'une incidence physique, susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou autres effets sur la santé, ainsi que des dégâts et des pertes matérielles touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture des services, les écosystèmes et les ressources environnementales. Dans le présent rapport, ce terme se rapporte en général aux phénomènes et tendances physiques dangereux associés au climat ou à leurs impacts physiques.
Exposition	Présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un contexte susceptibles de subir des dommages.
Vulnérabilité	Propension ou prédisposition à subir des dommages. La vulnérabilité englobe divers concepts ou éléments, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter.
Incidences	Effets sur les systèmes naturels et humains. Dans le présent rapport, le terme est employé principalement pour désigner les effets, sur les systèmes naturels et humains, des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et des changements climatiques. Il s'agit en général des effets sur la vie des personnes, les modes de subsistance, la santé, les écosystèmes, le patrimoine économique, social et culturel, les services et les infrastructures, découlant de leurs interactions avec les changements climatiques ou les phénomènes climatiques dangereux qui se produisent au cours d'une période donnée, et de la vulnérabilité de la société ou du système exposé. Dans ce sens, on emploie aussi les termes conséquences ou impacts. Les incidences des changements climatiques sur les systèmes géophysiques, notamment les inondations, les sécheresses et l'élévation du niveau de la mer, constituent un sous-ensemble d'incidences appelées impacts physiques.
Risque	Conséquences éventuelles et incertaines d'un événement sur quelque chose ayant une valeur, compte dûment tenu de la diversité des valeurs. Le risque est souvent représenté comme la probabilité d'occurrence de tendances ou d'événements dangereux que viennent amplifier les conséquences de tels phénomènes lorsqu'ils se produisent. Le risque découle des interactions de la vulnérabilité, de l'exposition et des aléas. Dans le présent rapport, le terme risque sert principalement à désigner les risques liés au changement climatique.
Adaptation	Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Dans les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences.
Transformation	Changement des attributs fondamentaux des systèmes naturels ou humains. Dans le présent résumé, la transformation peut refléter le renforcement, la modification ou l'ajustement de paradigmes, d'objectifs ou de valeurs en vue de promouvoir une adaptation propice au développement durable, y compris la lutte contre la pauvreté.
Résilience	Capacité des systèmes sociaux, économiques ou écologiques à faire face aux événements dangereux, tendances ou perturbations, à y réagir et à se réorganiser de façon à conserver leurs fonctions essentielles, leur identité et leur structure, tout en maintenant leurs facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.

Source: GIEC, 2013: Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.

CHAPITRE 1

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL

1. GÉNÉRALITÉS

a/ Les incidences observées, vulnérabilités et adaptation

On peut aujourd'hui énumérer une liste de phénomènes conséquents du changement climatique. Ce sont des faits déjà présents et impactants.

1. Le changement climatique influence les systèmes naturels et humains depuis maintenant plusieurs décennies, à l'échelle du globe.
2. Dans beaucoup de régions, la fonte des glaces ou la modification des précipitations perturbent les systèmes hydrologiques et influent sur le ruissellement et donc les ressources en eau.
3. On observe chez de nombreuses espèces des modifications et évolution de leur comportement (migration, répartition, activités saisonnières, etc.). Dans les cas les plus graves, il y a extinction d'espèces, et modification des écosystèmes.
4. Le changement climatique a une incidence plus négative que positive sur le rendement des cultures (de blé et de maïs notamment).
5. Il y a aujourd'hui une hausse de la mortalité due à la chaleur (et, à moindre mesure, une baisse de celle-ci due au froid), mais l'influence du changement climatique sur les maladies humaines est encore faible (cette affirmation ne concerne évidemment pas les impacts de la pollution - de l'air notamment).
6. Les populations marginalisées (sur le plan social, économique, politique, etc.) sont plus vulnérables au changement climatique (beaucoup de facteurs entrent en compte). En outre, il y a des différences et inégalités de vulnérabilité.
7. Les incidents extrêmes observés récemment (sécheresse, vagues de chaleur, inondations, incendies, cyclones) sont la preuve de la grande vulnérabilité de certains écosystèmes et/ou systèmes humains, et de notre manque de préparation au changement climatique à venir.
8. Les populations pauvres sont les plus exposées aux conséquences néfastes du changement climatique (raréfaction des denrées alimentaires, des accès à l'eau potable, etc.).
9. Les conflits violents augmentent la vulnérabilité au changement climatique. Ils mettent en péril l'adaptation qui est aujourd'hui urgente et prioritaire.

b/ Les expériences relatives à l'adaptation

De la même façon, on peut élever une liste de prises de conscience et amorces d'adaptation au changement climatique, observables aujourd'hui.

1. Le concept d'adaptation commence à être pris en compte dans la planification mais son application reste encore limitée. Par exemple, des options techniques et technologiques sont mises en œuvre au sujet de la gestion des risques et la gestion de l'eau.
2. L'adaptation commence à être prise en compte au sein des collectivités régionales, mais aussi dans le secteur privé. Des plans et politiques d'adaptation sont élaborés par les administrations publiques qui tentent d'intégrer les enjeux du changement climatique dans le cadre du développement (au sens large). En Europe, par exemple, des plans d'adaptation ont été intégrés dans la gestion des zones côtières, de l'eau, dans la protection de l'environnement, dans l'aménagement du territoire, et dans la gestion des risques. **L'Europe est le continent le plus avancé en termes de transition écologique.**

c/ Les risques principaux liés au changement climatique

Bien entendu, l'enjeu pour l'homme est de répondre aux risques et conséquences éventuels du changement climatique dans le monde. Ceux jugés graves sont énumérés ci-après.

1. Les risques de décès, de maladies et de blessures dans les zones côtières basses et les petites îles, dus aux inondations, aux tempêtes et à l'élévation du niveau de la mer.
2. Le risque de détérioration grave de la santé des grandes populations urbaines dus aux inondations issues de l'intérieur des terres (populations urbaines plus vulnérables car imperméabilité du sol dans les zones urbaines).
3. Les risques concernant les systèmes, dus à des phénomènes météorologiques extrêmes, conduisant à la détérioration des réseaux d'infrastructures et des services essentiels tels que l'électricité, l'approvisionnement en eau, la santé et les services d'urgence.
4. Les risques de mortalité durant les périodes de forte chaleur, en particulier pour les populations urbaines vulnérables et les personnes travaillant à l'extérieur.
5. Les risques d'insécurité alimentaire et de rupture des systèmes alimentaires dus au réchauffement, aux sécheresses, aux inondations, aux précipitations extrêmes, et ce notamment pour les populations les plus pauvres (en région urbaine et rurale).
6. Les risques liés à l'accès à l'eau potable et à l'irrigation, à la diminution de la production agricole, et ce dans les régions rurales et particulièrement celles qui sont semi-arides.
7. Les risques de perte des écosystèmes marins et côtiers, qui au-delà de la perte de biodiversité, aura un impact sur les collectivités de pêcheurs les plus pauvres (notamment dans les zones tropicales).
8. Les risques de perte des écosystèmes terrestres et des eaux intérieures.



d/ Les risques sectoriels liés au changement climatique

On peut énumérer les risques liés au changement climatique encourus par chaque milieu et secteur.

Tableau 2: Liste des risques potentiels dus au changement climatique, par secteur.

Ressources en eau douce	<p>L'augmentation des GES augmentera les risques liés à la ressource en eau douce.</p> <p>Le changement climatique va conduire à un appauvrissement des ressources renouvelables en eaux de surface et souterraine dans les régions subtropicales, et augmentera la concurrence pour les ressources hydriques entre les secteurs.</p>
Écosystèmes terrestres et écosystèmes d'eau douce	<p>Une grande partie des espèces terrestres et dulcicoles* (les mots notés d'un astérisque sont définis dans le lexique en fin de document) sont menacées d'extinction à cause de la modification de l'habitat, la surexploitation, la pollution et le développement d'espèces envahissantes (facteurs de stress).</p> <p>Les scénarios (GIEC) à émissions modérées prévoient un risque élevé de bouleversement brutal et irréversible des écosystèmes terrestres et dulcicoles, à l'échelle de la région.</p>
Systèmes côtiers et zones de faible altitude	L'élévation du niveau de la mer aura pour conséquence la submersion, l'inondation et l'érosion des côtes dans les zones côtières et à faible altitude.
Systèmes marins	<p>La distribution des espèces marines sera modifiée à l'échelle mondiale et la biodiversité réduite. Cela engendrera une baisse de la productivité de la pêche et autres services écosystémiques.</p> <p>L'acidification de l'eau de mer aura des conséquences lourdes sur les écosystèmes marins, en particulier pour les écosystèmes polaires et coralliens.</p>
Sécurité alimentaire et systèmes de production alimentaire	<p>La hausse des températures de 2°C ou plus aura des conséquences négatives sur la production des principales cultures (blé, maïs, riz). Il est prévu -25 % de rendement comparé à la fin du 20^{em} siècle.</p> <p>Problèmes pour l'accès aux aliments, leur utilisation et la stabilité des prix.</p>
Zones urbaines	Beaucoup de risques liés au changement climatique concernent les zones urbaines. « Les mesures mises en œuvre pour renforcer la capacité d'adaptation et favoriser le développement durable peuvent accélérer l'adaptation réussie au changement climatique à l'échelle du globe ».
Zones rurales	Elles sont exposées au risque lié à l'approvisionnement en eau, à la sécurité alimentaire et aux revenus agricoles.
Secteurs économiques et services principaux	<p>Dans la plupart des secteurs économiques, les incidences devraient être moindres comparées à des facteurs tels que l'évolution démographique, la pyramide des âges, les revenus, la technologie, les prix relatifs, les modes de vie, la réglementation et la gouvernance.</p> <p>Les incidences économiques du changement climatique à l'échelle mondiale sont difficiles à estimer</p>
Santé humaine	D'ici 2050, le changement climatique aggraverait les problèmes de santé existants aujourd'hui. D'ici 2100, il devrait provoquer une détérioration de la santé dans de nombreuses régions, notamment dans les pays en développement à faible revenu (probabilité accrue de blessures dues aux vagues de chaleur et incendies, de sous-alimentation dans les régions pauvres, etc. solutions : mise en place de systèmes d'assainissement, distribution d'eau potable, vaccination, etc.)
Sécurité humaine	Le changement climatique devrait avoir pour conséquence un ralentissement économique, une entrave à la lutte contre la pauvreté, une hausse de l'insécurité alimentaire, l'augmentation des « poches de pauvreté » (comme dans les zones urbaines, inégalités croissantes dans les pays développés).

Source : Emily Deydier, EnvironnementBDM et GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe).

e/ Les principes d'une adaptation efficace

1. **L'adaptation varie selon le lieu et le contexte** (il n'existe pas en ce sens d'approche universelle d'adaptation, applicable dans n'importe cas de figure, pour tout risque).
2. La planification de **mesures d'adaptation** et leur mise en œuvre peuvent être renforcées par des actions complémentaires **entreprises à tous les niveaux, des individus aux pouvoirs publics**.
3. La première étape d'adaptation est de réduire la vulnérabilité et l'exposition aux variations actuelles du climat.
4. La planification de mesures d'adaptation à tous les niveaux de gouvernance et leur mise en œuvre sont conditionnées par les valeurs et les objectifs de la société et par sa perception des risques. La reconnaissance de la diversité des intérêts en jeu, des circonstances, des contextes socioculturels et des attentes peut être utile au processus de prise de décisions.
5. L'aide à la décision est plus efficace lorsqu'elle tient compte du contexte, de la diversité des types et processus de décision et de la diversité des groupes concernés.
6. De nouveaux instruments économiques ou ceux existants peuvent promouvoir l'adaptation en encourageant les efforts d'anticipation et de réduction des incidences.
7. Il est possible que des obstacles puissent entraver la planification et la mise en œuvre des mesures d'adaptation.
8. Une mauvaise planification, une trop grande importance accordée aux résultats à court terme ou l'incapacité à anticiper correctement les conséquences peuvent nuire aux efforts d'adaptation.
9. Des données limitées laissent deviner un écart entre les besoins globaux d'adaptation et les fonds disponibles pour la réaliser.
10. Recourir à l'atténuation et l'adaptation d'une part, et à diverses mesures d'adaptation d'autre part, permet de procurer des avantages connexes importants, créer des synergies et engendrer des possibilités de compromis non négligeables. Les interactions peuvent s'observer aussi bien dans une même région qu'entre différentes régions. Citons par exemple : l'amélioration de l'efficacité énergétique et des sources d'énergie moins polluantes; la consommation réduite d'énergie et d'eau dans les zones urbaines grâce au reverdissement des villes et au recyclage de l'eau; des pratiques agricoles et forestières durables; la protection des écosystèmes.

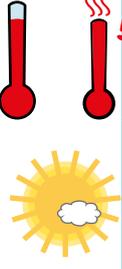


2. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN EUROPE

a/ Les risques principaux du changement climatique en Europe

En Europe occidentale, il y a une forte probabilité que les **périodes de sécheresse deviennent plus longues, et les vagues de chaleur estivales plus fréquentes**, plus longues et plus intenses durant les années qui viennent. **En hiver, les précipitations intenses pourraient potentiellement augmenter**, mais aucune tendance nette ne se profile concernant les précipitations en général.

Tableau 3: Les risques principaux et facteurs déterminants du changement climatique en Europe

Risques principaux	Problèmes et perspectives d'adaptation	Facteurs Climatiques	Échéancier	Risques et possibilités d'adaptation			
				Très faible	Modérés	Très élevés	
<p>Augmentation des pertes économiques et des incidences sur les populations dues aux inondations dans les bassins hydrographiques et le long des côtes aggravée par l'urbanisation, l'élévation du niveau de la mer, l'érosion des côtes et l'augmentation du débit des cours d'eau (degré de confiance élevé). [23.2-3,23.7]</p>	<p>L'adaptation peut permettre d'éviter la plupart des dommages anticipés (degré de confiance élevé).</p> <ul style="list-style-type: none"> Expérience importante acquise en matière de technologies robustes de protection contre les crues et de restauration des milieux humides Coûts élevés des mesures renforcées de protection contre les crues Obstacles possibles à la mise en œuvre: demande de terres en Europe et préoccupations liées à l'environnement et au paysage 		Moment présent	[Barres de risque: Modérés à Très élevés]			
			Court terme 2030-2040	[Barres de risque: Modérés à Très élevés]			
			Long terme 2080-2100	2°C	[Barres de risque: Modérés à Très élevés]		
				4°C	[Barres de risque: Très élevés]		
<p>Renforcement des restrictions visant l'utilisation de l'eau. Réduction sensible de la disponibilité de l'eau provenant des cours d'eau et de la nappe phréatique, combinée à une augmentation de la demande (pour l'irrigation, l'énergie et l'industrie, l'usage domestique, etc.) et à une réduction drainage et du ruissellement due à une évaporation accélérée, en particulier dans le sud de l'Europe (degré de confiance élevé). [23.4,23.7]</p>	<ul style="list-style-type: none"> Possibilités reconnues d'adaptation fondées sur l'adoption de technologies plus efficaces de gestion de l'eau et d'économie de la ressource (irrigation, espèces végétales, couverture des sols, industries, usages domestiques, etc.) Mise en œuvre de pratiques optimales et de mesures de bonne gouvernance dans le cadre des plans de gestion des bassins versants et de gestion intégrée de l'eau 		Moment présent	[Barres de risque: Modérés à Très élevés]			
			Court terme 2030-2040	[Barres de risque: Modérés à Très élevés]			
			Long terme 2080-2100	2°C	[Barres de risque: Modérés à Très élevés]		
				4°C	[Barres de risque: Très élevés]		

Risques principaux	Problèmes et perspectives d'adaptation	Facteurs Climatiques	Échéancier	Risques et possibilités d'adaptation			
				Très faible	Moderés	Très élevés	
Augmentation des pertes économiques et des incidences sur les populations dues aux vagues de chaleur extrême: incidences sur la santé et le bien-être, sur la productivité du travail, sur la production agricole et sur la qualité de l'air, et risque accru feux incontrôlés dans le sud de l'Europe et dans la région boréale russe (degré de confiance moyen). [23.3-7; tableau 23-1]	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de systèmes d'alerte • Adaptation des habitations, des lieux de travail, des infrastructures de transport et de l'infrastructure énergétique • Réduction des émissions pour améliorer la qualité de l'air • Amélioration de la gestion des feux incontrôlés • Mise au point de produits d'assurance contre les variations du rendement dues aux conditions météorologiques 		Moment présent				
			Court terme 2030-2040				
			Long terme 2080-2100	2°C			
				4°C			

Source: GIEC, 2014: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité - Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe).



b/ Les incidences liées au changement climatique en Europe

Tableau 4: Les incidences liées au changement climatique en Europe

<p>Neige et glace, cours d'eau et lacs, inondations et sécheresses</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recul des glaciers des Alpes, de la Scandinavie et de l'Islande (degré de confiance élevé, contribution majeure du changement climatique) ▪ Fréquence accrue des affaissements de versants rocheux dans l'ouest des Alpes (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) ▪ Variation de la fréquence des débits extrêmes des cours d'eau et des inondations (degré de confiance très faible, contribution mineure du changement climatique) [18.3, 23.2-3; tableaux 18-5 et 18-6; WT I RE5, 4.3]
<p>Écosystèmes terrestres</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reverdissement, émergence des feuilles et apparition des fruits plus précoces dans les forêts tempérées et boréales (degré de confiance élevé, contribution majeure du changement climatique) ▪ Propagation plus rapide des espèces végétales envahissantes en Europe, au-delà d'un seuil minimal d'invasion (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) ▪ Arrivée plus précoce des oiseaux migrateurs en Europe depuis 1970 (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) ▪ Déplacement vers le nord de la limite des arbres en Europe, au-delà des changements provoqués par l'utilisation des terres (degré de confiance faible, contribution majeure du changement climatique) ▪ Augmentation de la superficie des zones forestières brûlées au cours des récentes décennies au Portugal et en Grèce, au-delà des changements dus à l'utilisation des terres (degré de confiance élevé, contribution majeure du changement climatique) [4.3, 18.3; tableaux 18-7 et 23-6]
<p>Érosion côtière et écosystèmes marins</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déplacement vers le nord de l'aire de répartition d'espèces de zooplancton, de poissons, d'oiseaux de mer et d'invertébrés benthiques dans le nord-est de l'Atlantique (degré de confiance élevé, contribution majeure du changement climatique) ▪ Déplacement vers le nord et vers le fond de la répartition de nombreuses espèces de poissons dans les mers d'Europe (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) ▪ Évolution de la phénologie* du plancton dans le nord-est de l'Atlantique (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) ▪ Propagation des espèces d'eau chaude dans la Méditerranée, au-delà des changements dus aux espèces envahissantes et aux perturbations anthropiques (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) [6.3, 23.6, 30.5; tableaux 6-2 et 18-8; encadrés 6-1 et CC-MB]
<p>Production alimentaire et moyens de subsistance</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Passage d'une mortalité due au froid à une mortalité due à la chaleur en Angleterre et au pays de Galles, au-delà des changements dus à l'exposition et aux services de soins de santé (degré de confiance faible, contribution majeure du changement climatique) ▪ Incidences sur les moyens de subsistance des Sâmes, peuple du Nord de l'Europe, au-delà des effets des changements économiques et sociopolitiques (degré de confiance moyen, contribution majeure du changement climatique) ▪ Stagnation des rendements en blé dans certains pays au cours des dernières décennies, malgré les progrès technologiques (degré de confiance moyen, contribution mineure du changement climatique) ▪ Incidences positives sur le rendement de certaines cultures, principalement en Europe du Nord, au-delà des changements dus aux progrès technologiques (degré de confiance moyen, contribution mineure du changement climatique) ▪ Propagation du virus de la fièvre catarrhale du mouton et des tiques dans certaines régions d'Europe (degré de confiance moyen, contribution mineure du changement climatique) [18.4, 23.4-5; tableau 18-9; figure 7-2]

Source: GIEC, 2014: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe).

c/ Le cas de l'eau

Le réchauffement des eaux européennes va entraîner un déplacement vers le nord ou en profondeur des populations, avec des variations d'abondance plus marquées à proximité de la « limite froide » ou de la « limite chaude » des aires de répartition. Ces tendances sont déjà observables, notamment dans le cas du plancton, véritable « moteur » de la pompe biologique et source de 99% de matière organique utilisée dans les chaînes trophiques* marines.

Concernant les espèces envahissantes, leur prolifération induit un déséquilibre des écosystèmes mais elle peut aussi avoir des répercussions sur le tourisme et parfois la santé humaine. C'est le cas par exemple de l'algue *Ostreopsis* qui prolifère en méditerranée depuis environ 20 ans. Cette microalgue affecte l'attractivité des paysages littoraux et occasionne divers problèmes sanitaires par inhalation, ingestion ou simple contact cutané. De plus, l'accumulation constatée de ces algues dans les tubes digestifs des poissons, les mollusques ou les crustacés entraîne un risque d'intoxication alimentaire grave en cas de consommation par l'homme. Les craintes portent notamment sur la consommation d'oursins et la consommation de petits poissons non éviscérés.



Image 1: algue *Ostreopsis*

Source : <http://moniquecisello.canalblog.com/archives/2008/09/01/10424327.html>

Lieu de dynamiques complexes, le littoral se caractérise par la mobilité naturelle du trait de côte sous l'effet notamment de l'érosion éolienne, des courants ou de l'accrétion sédimentaire.

On peut fixer les traits de côte par l'emploi :

- De structures rigides (digues ou enrochement par exemple)
- De techniques alternatives souples, agissant avec les phénomènes naturels laissant une part de résilience au littoral (importation de sable pour recharger les plages par exemple)

De manière plus large, il y a différentes stratégies possibles, selon les enjeux :

- Le « laisser faire » (suivi de l'évolution naturelle sans action de gestion).
- L'adaptation (intervention limitée, accompagnant les processus naturels).
- La fixation et la protection du trait de côte (avec structures rigides ou souples, pour des zones à enjeux importants).
- Le « repli stratégique » (retrait des constructions existantes derrière une nouvelle ligne de défense, naturelle ou aménagée, pour zones à faibles enjeux ou lorsque c'est la seule option garantissant le niveau de sécurité souhaité).

3. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN FRANCE

a/ Les indicateurs du changement climatique en France

Les informations précédentes concernant la situation en Europe sont bien entendu valables dans cette section. Des informations plus précises et spécifiques à la France sont énoncées ici.

Par exemple, il n'y a pas de tendance nette quant à la fréquence et l'intensité des tempêtes en France métropolitaine.

Tableau 5: Les indicateurs du changement climatique en France.

IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	Indicateurs	Constats	Chiffres (moyennes)
Atmosphère, températures et précipitations (comparaison avec les années 50)	Température de l'air en métropole	Réchauffement	+0,3°C par décennie
	Nombre de journées estivales	Hausse	4 à 5 jours de plus par décennie
	Nombre de jours de gel	Baisse	1 à 3 jours de moins par décennie
	Température de l'air dans les départements français d'Amérique (Guyanne/Martinique)	Réchauffement	+0,24°C/+0,28°C par décennie (accélération ces dernières décennies avec +0,34°C/0,33°C)
	Pluies diluviennes dans le sud-est méditerranéen	Pas de tendance sur l'évolution de leur occurrence	-
Montagne et glaciers (comparaison avec les années 1900)	Bilan de masse du Glacier d'Ossoue (massif du Vignemale, Pyrénées françaises)	Diminution du glacier	55 % de perte de surface, 60 % de perte d'épaisseur
	Bilan de masse des glaciers tempérés des Alpes françaises	Diminution des glaciers	De -30 m d'eau à -60 m d'eau (masse cumulée)
	Hiver au Col de la Porte	Diminution du manteau neigeux	-39 cm de neige
	Stock nival en France au 1 ^{er} mai	Diminution du manteau neigeux	-12 % de neige
Littoral et milieu marin	Niveau moyen global des océans altimétrie satellitale	Augmentation du niveau de la mer dans le monde	+4,3 cm ces 10 dernières années
	Température de la surface de la mer pour les outre-mer	Réchauffement (beaucoup plus important autour de la métropole, dans l'océan Indien, le Pacifique tropical sud-ouest et en mer des Antilles)	+0,3°C
	Salinité de la surface de la mer	Baisse de la salinité	-0,13 pps en 50 ans dans le Pacifique tropical sud-ouest et Pacifique sud
Eau et biodiversité (comparaison avec les années 60/70)	Front d'expansion de la chenille processionnaire du pin (des 10 dernières années)	Progression vers le nord	+4 km/an
	Indice de sécheresse annuelle en métropole (sécheresse agricole)	Augmentation de la surface touchée par la sécheresse	5 %
	Évolution des populations de certains oiseaux en France	Augmentation des effectifs d'oies cendrées hivernantes	de 0 à 20 000
	Températures moyennes du lac Léman (de 5 m à 309 m)	Augmentation	Eaux de surface (5 m), +1,5°C

Agriculture et forêt (ces 20/30 dernières années)	Floraison des vignes en Champagne	Plus précoce	2 semaines plus tôt
	Floraison des vignes à Saint-émilion (Gironde)	Plus précoce	10 jours plus tôt
	Développement de la vigne en Alsace	Plus précoce	de 15 à 20 jours
	Date du semis des blés et maïs	Plus précoce	de 10 à 20 jours
	Floraison des arbres fruitiers	Plus précoce	-
	Floraison des vignes en Cotes du Rhône méridionales	Plus précoce	20 jours plus tôt
Santé et société	Exposition des populations aux risques climatiques (inondations, avalanches, tempêtes et cyclones, feux de forêt, mouvements de terrain)	Augmentation très importante du nombre de communes fortement exposées aux risques climatiques, diminution de la part des non-exposées	Le moitié est exposée au moins moyennement aux risques climatiques; +175 % de fortement exposées, -65 % de non exposées
	Feux de forêt météorologiques	Augmentation des surfaces en France concernées par des conditions météo propices	De 20 % en 1965 à 30-35 % aujourd'hui
	Indice de rigueur climatique	Diminution	Environ 20 % par rapport à 1976
	Indicateur pollen de bouleau	Augmentation de la quantité	

Source : ONERC : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc#e3>



b/ Évolutions prévues des températures en France suite au changement climatique

Météo-France met à disposition deux plateformes de prévisions météorologiques en lien avec le changement climatique. L'une est ClimatHD (Climat d'Hier et de Demain), qui présente des diagnostics du climat, et l'autre est Drias, qui partage différentes simulations climatiques (voir références pour l'accès aux sites internet).

Sont présentées dans cette partie plusieurs références à ces sources d'informations sur le changement climatique en France. À savoir que les scénarios RCP (scénarios du GIEC) sont només de la sorte: 2.6 pour le plus optimiste, 4.5 pour un scénario médian et 8.5 pour le scénario le plus pessimiste.

 *Image 2: Anomalie du cumul de précipitations: écart entre la période considérée et la période de référence (en mm).*

Ces cartes présentent en bleu les zones où l'écart est positif, il y aura donc plus de précipitations dans ces zones; à contrario, les zones rouges sont les zones où les précipitations vont diminuer ($[\text{mm pour la période considérée}] - [\text{mm pour la période de référence}] = [\text{écart}]$). On comprend donc grâce à ces cartes qu'il y aura en moyenne moins de précipitations dans le sud de la France principalement et par exemple plus de précipitations au centre et au nord de la France dans le cas du scénario le plus optimiste, à l'horizon 2100. Dans le scénario le plus pessimiste, la France entière verra ses précipitations réduites.

 *Image 3: Anomalie de température moyenne quotidienne: écart entre la période considérée et la période de référence (en °C).*

On constate sur ces cartes que dans quelque scénario que ce soit, à tous les horizons (court, moyen et long terme), la température va augmenter (en rouge l'écart - température de la période considérée moins celle de la période de référence - est positif).

 *Image 4: Nombre de jours de gel en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.*

On constate sur ce graphique que le nombre de jours de gel sera réduit à 10-20 jours par an approximativement d'ici 2100.

 *Image 5: Nombre de journées chaudes en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.*

Ici, on constate que le nombre de journées chaudes va augmenter au maximum de 65 jours, en comparaison avec l'année 2005, atteignant 105 jours au total.



c/ Le cas du littoral

Avec la remontée du niveau moyen de la mer (NMM), les digues côtières seront exposées à des vagues dont la hauteur sera plus grande que la valeur de dimensionnement. Si une hausse d'un mètre du NMM doit se produire, les ouvrages côtiers devront être rehaussés en première approche de deux à trois mètres pour conserver la même performance en termes de franchissement. En outre, ils subiront une augmentation des dommages non négligeables et la masse des blocs de la carapace devra souvent être doublée. Schématiquement, avec l'augmentation progressive des dommages, le gestionnaire adoptera un des scénarios suivants selon la sévérité des changements :

1. Réparer l'ouvrage à l'identique
2. Renforcer l'ouvrage
3. Changer les dimensions de l'ouvrage
4. Le démolir et lancer un repli stratégique.

Trois axes se dégagent pour renforcer les structures : limiter le franchissement (par exemple en modifiant le mur de couronnement), améliorer la stabilité de la carapace (en ajoutant une couche d'encrochements supplémentaire ou en adoucissant la pente) et réduire les sollicitations extérieures, c'est à dire la houle (en implantant un ouvrage détaché ou en assurant un rechargement de sable). Il s'avère que l'ajout d'un becquet est une solution très efficace pour les ouvrages imperméables. Cette solution doit souvent être complétée par une couche supplémentaire d'encrochements pour les ouvrages perméables. Le bassin de déversement est aussi une solution prometteuse.

Illustration/exemple

L'approche coût bénéfice appliquée à la ville du Havre a montré que la solution du renforcement ne deviendra économiquement justifiée sur le quartier Malraux que si la montée du NMM atteint 1 m. Le redimensionnement ou le repli stratégique quant à eux ne peuvent être envisagés que pour des niveaux plus importants (au-delà de 2 m).

L'alternative du « repli stratégique » est mise en place lorsque les solutions telles que l'adaptation des infrastructures existantes, les protections douces ou la réhabilitation du cordon dunaire ne sont plus suffisantes. Il y a deux types de repli stratégique :

- Véritable recul d'activités ou d'habitations humaines derrière une nouvelle ligne de protection (opéré que dans des cas exceptionnels, lorsqu'il n'y a aucune autre alternative de protection)
- La dépodérisation programmée (c'est le retour de la mer dans des zones inhabitées préalablement gagnées par l'homme)



Cas pratique : « Vers une dépoldérisation de l'estuaire de la Gironde ».

Vers une dépoldérisation de l'estuaire de la Gironde



© P. Boët

Info Média N°100, Janvier 2012

Depuis le Moyen-Âge, l'homme, dans un paradigme prométhéen, a tenté de gagner du terrain sur la mer pour y développer des activités : maraîchage, élevage, pisciculture, etc. Dans ce but, des levées de terre ou polders ont été construits empêchant ainsi les remontées d'eau salée sur ces nouveaux

espaces conquis.

Aujourd'hui, dans le contexte de changement climatique et d'élévation du niveau de la mer, un mouvement de rétrocession des polders à la mer a vu le jour en Europe occidentale : la dépoldérisation. Les chercheurs d'Irstea répondent aux questions fondamentales posées par ce retour des terres à la mer sur les plans de lutte contre les inondations mais aussi sur les plans écologique, économique, paysager.

➤ Accepter de vivre avec la mer

"Nous avons commencé à étudier les conséquences d'un rendu des terres à la mer avant la tempête Xynthia en 2010 et nous envisagions déjà l'intérêt écologique de dépoldériser une partie de l'estuaire de la Gironde. Les décideurs, les aménageurs, les habitants, les agriculteurs ne nous comprenaient pas. Après la tempête, les discussions, les éventuels compromis devenaient d'un seul coup plus envisageables..." constate Philippe Boët, du centre Irstea de Bordeaux. En effet, pour faire face aux prévisions du Giec qui annoncent une montée des eaux d'un mètre d'ici 2100, une idée originale - le réaligement d'une digue ou managed realignment - qui émerge d'abord au Royaume-Uni et en Hollande puis dans toute l'Europe consiste à augmenter l'efficacité et la pérennité des digues en les faisant précéder d'un pré salé qui joue le rôle d'espace tampon où la houle s'atténue progressivement. Or, pour recréer ces prés salés sur les côtes à polders où ils ont été largement endigués ou érodés cette politique préconise justement de dépoldériser. En France, le polder de Mortagne-sur-Gironde qui servait autrefois à la céréaliculture ou encore l'île Nouvelle ont été achetés par le Conservatoire du Littoral après la tempête de 1999, alors qu'ils étaient en partie envahis par la mer. Le Conservatoire a décidé de ne pas obstruer les brèches et de laisser faire les marées. L'équipe de Philippe Boët s'intéresse à ces deux zones "laissées à la mer". À travers le projet MarGo, les scientifiques de l'institut associés à leurs partenaires se sont aperçus que la dépoldérisation avait de nombreux avantages sur le plan écologique, paysager et économique. Une aubaine pour les acteurs locaux.

Article 1: Vers une dépoldérisation de l'estuaire de la Gironde

Lire l'article entier sur

<http://www.irstea.fr/nos-editions/info-media/vers-une-depolderisation-de-lestuaire-de-la-gironde>

À savoir que les marais salés obtenus permettent d'amortir la houle.

Une volonté d'évaluer les services rendus par les écosystèmes est apparue avec la notion de fonctionnement écologique, issue de la mise en évidence du fonctionnement des écosystèmes. Il y a une idée de services rendus par les écosystèmes et de bénéfices retirés par la société.

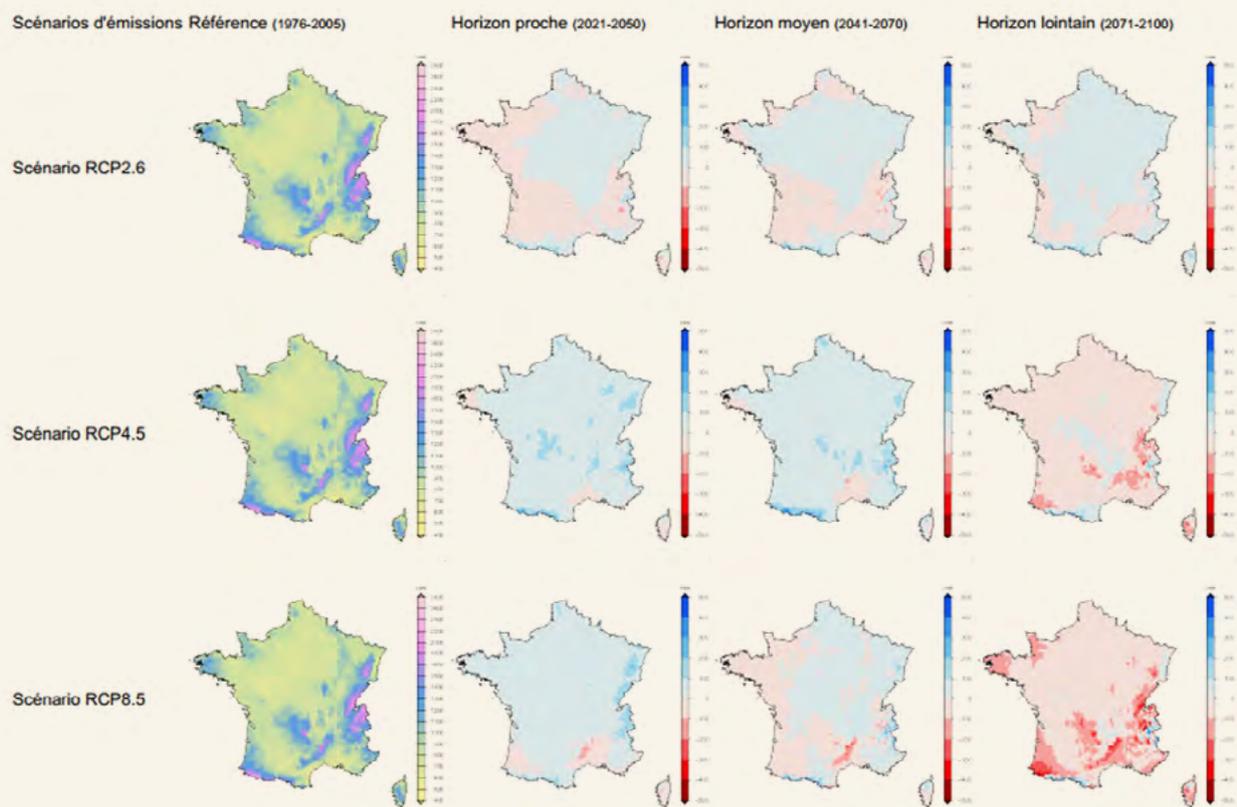


Image 2 : Anomalie du cumul de précipitations : écart entre la période considérée et la période de référence (en mm).

Source : Météo-France/CNRM2014 : modèle Aladin de Météo-France (image issue du site internet Drias).

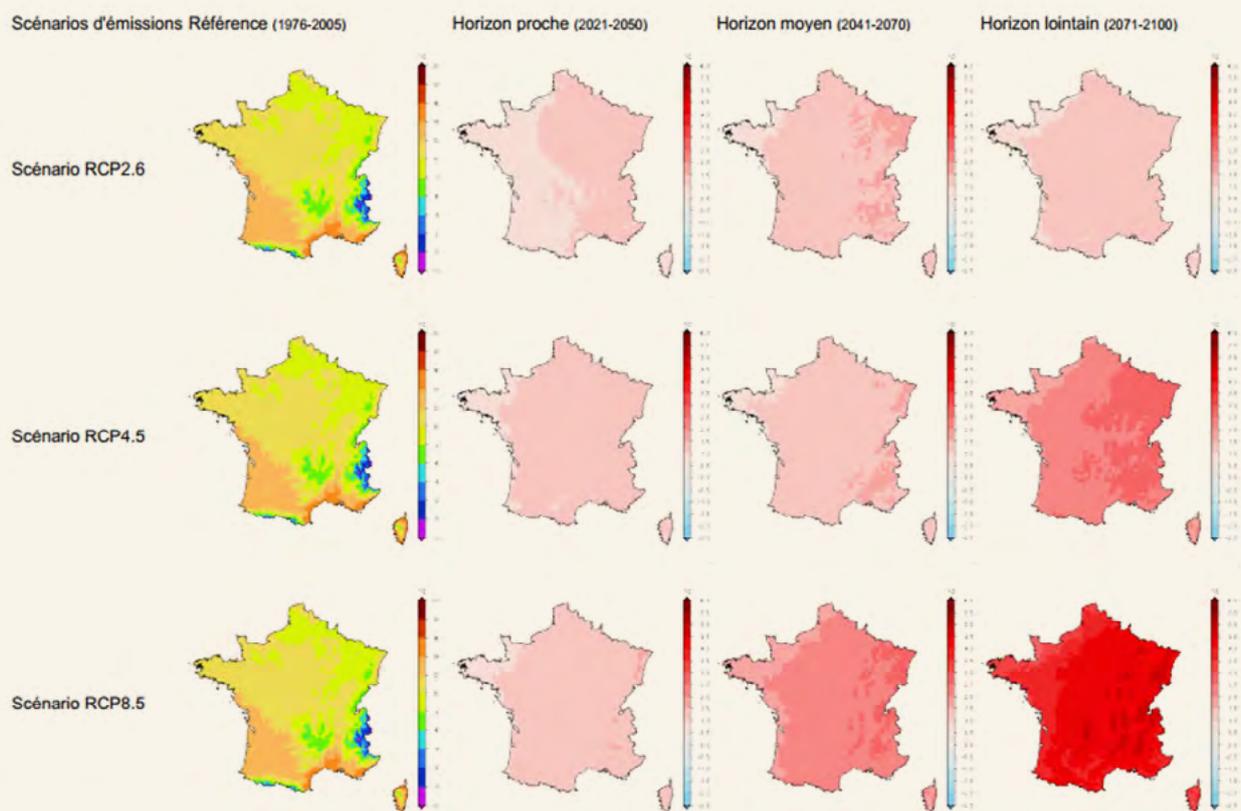


Image 3 : Anomalie de température moyenne quotidienne : écart entre la période considérée et celle de référence (en °C).

Source : Météo-France/CNRM2014 : modèle Aladin de Météo-France (image issue du site internet Drias).

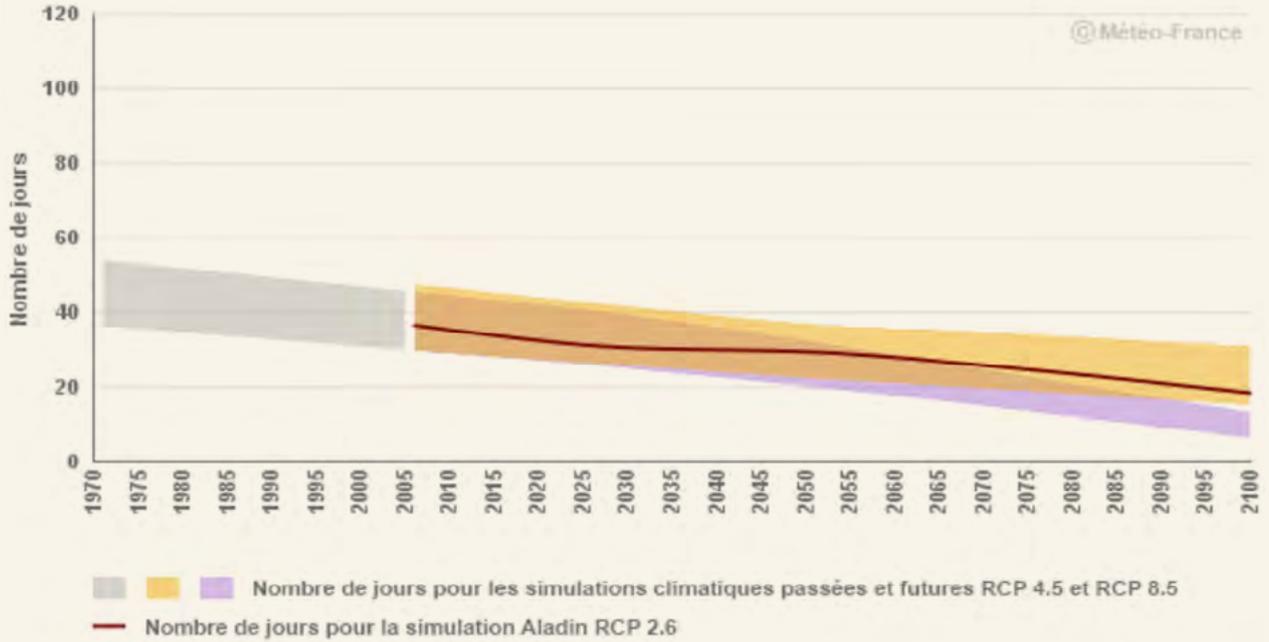


Image 4: Nombre de jours de gel en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.

Source : site internet Drias

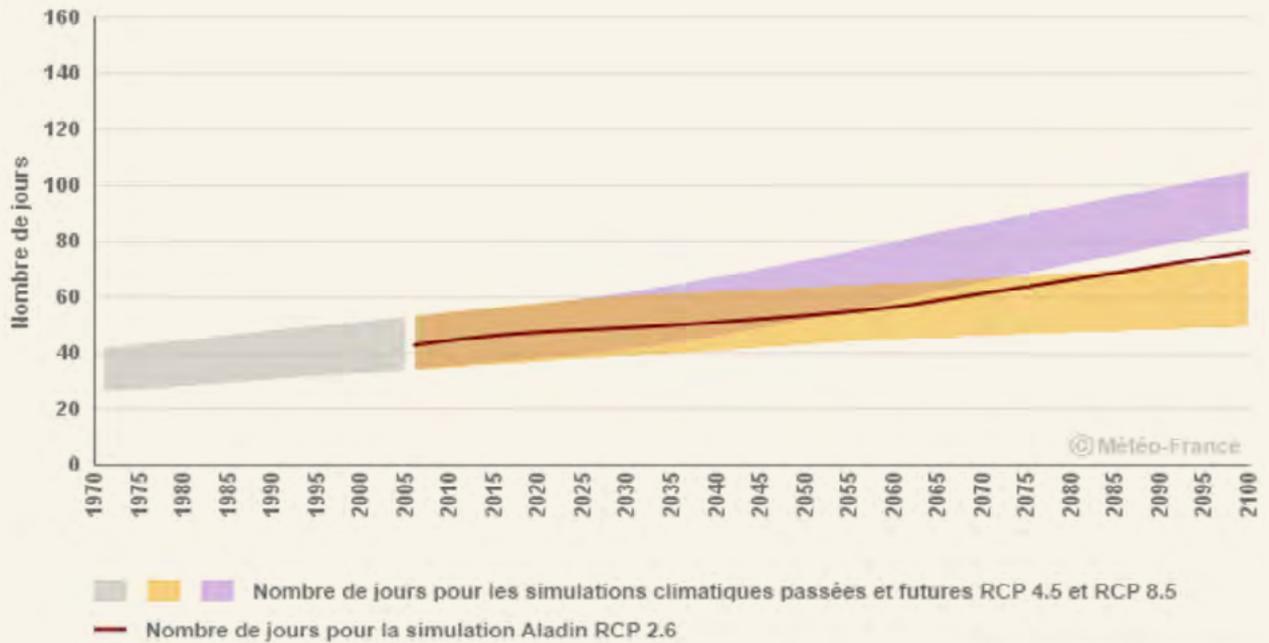


Image 5: Nombre de journées chaudes en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.

Source : site internet Drias

4. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LE SECTEUR DU BÂTIMENT

Le secteur résidentiel et tertiaire est le 3^{em} à contribuer de façon soutenue aux émissions de GES et à la modification du climat. Cela est dû à la production des différents composants de l'habitat (ciment, acier, plastique, etc.) consomme beaucoup d'énergie. L'habitat lui-même (chauffage, climatisation, éclairage, produits ménagers, etc.) et les échanges avec l'habitat (transport, déchets, etc.) consomment beaucoup. En somme, les processus, encore peu étudiés, et leur maîtrise sont particulièrement complexes.

a/ Les consommations énergétiques dans le secteur du bâtiment

Constats fait sur la consommation d'énergie finale

1. En 2010, le secteur est responsable de 32 % de la consommation d'énergie. Il est aussi responsable d'émissions directes et indirectes s'élevant à 8,8 GtCO₂. D'ici 2050, la demande d'énergie devrait à peu près doubler et les émissions de CO₂ devraient augmenter de 50 à 150 %.
2. La stabilisation et la réduction de la consommation mondiale d'énergie dans le secteur du bâtiment est théoriquement possible d'ici 2050 grâce aux progrès effectués dans les technologies, les politiques et les savoir-faire. En effet, les bâtiments neufs consomment très peu (grâce aux réglementations) et la réhabilitation des bâtiments plus anciens est en cours (aussi grâce à des réglementations et plans mise en place).
3. Le mode de vie, la culture et le comportement ont une influence considérable sur la consommation énergétique des bâtiments. En effet, les changements de mode de vie et de comportement dans les pays développés pourraient réduire la demande d'énergie jusqu'à 20 % à court terme et jusqu'à 50 % d'ici 2050, par rapport aux niveaux actuels.
4. La plupart des mesures d'atténuation du secteur s'accompagnent de co-avantages divers et considérables en plus des économies sur les coûts énergétiques.
5. L'adoption par le marché de solutions d'un bon rapport coût-efficacité est limitée, à cause notamment de l'opposition entre incitations (entre locataires et constructeurs, par exemple), de la fragmentation des marchés et de l'accès insuffisant à l'information et au financement.
6. L'élaboration et la mise en œuvre de politiques prônant le rendement énergétique a subi des progrès considérables. S'ils sont bien conçus et mis en œuvre, les codes de la construction et les normes touchant les équipements figurent parmi les instruments les plus efficaces sur le plan écologique et les plus rentables en matière de réduction des émissions.



Constats fait sur les consommations énergétiques de chantier

Pendant le chantier, l'enjeu s'articule autour de la totalité d'énergie primaire d'origine fossile investie dans la production et l'acheminement des matériaux de construction. La solution est de privilégier les matériaux « biosourcés » ou à faible énergie grise.

Chiffre clé : 8.5 millions de tonnes de déchets inertes et du BTP (stockés dans des installations de stockages de déchets inertes ISDI, qui sont au nombre d'une cinquantaine), pour la région PACA seule.



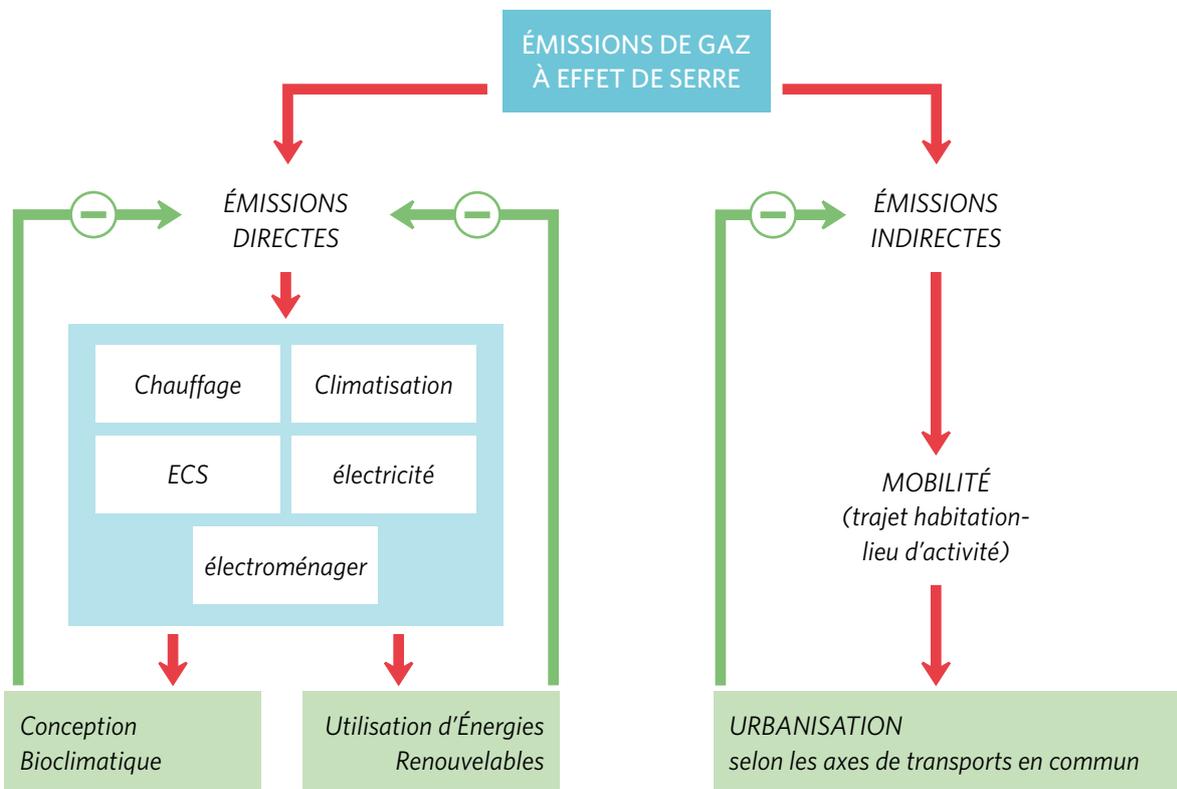
b/ La production de Gaz à Effet de Serre dans le secteur du bâtiment

Pendant la durée de vie d'un bâtiment, la production de GES est due à :

- L'énergie primaire consacrée au chauffage et refroidissement, à l'eau chaude sanitaire (ECS), à l'éclairage et l'électroménager (émissions directes). Pour réduire ces émissions, il faut opter pour une conception bioclimatique du bâtiment et l'utilisation d'énergies renouvelables (EnR).
- L'énergie primaire consacrée à la mobilité induite de la distance entre l'habitation et les zones d'activité (émissions indirectes ou induites). Pour réduire ces émissions, il faut opter pour une urbanisation selon les axes de transports en commun.

Pour réduire ces émissions, il faut adapter le bâti aux évolutions climatiques, ce qui impose des ruptures dans l'organisation de l'espace, la conception des bâtiments et des procédés constructifs. Les mutations doivent être techniques, organisationnelles, socio-économiques et viser un changement culturel (changement des comportements « acquis »), aussi bien de la part des usagers que des producteurs et des gestionnaires.

Schéma 1: Types d'émissions, leur provenance et solutions pour leur diminution



Source : Emily Deydier, EnvirobatBDM

c/ L'amélioration de l'efficacité énergétique pour réduire les émissions de Gaz à effet de Serre

L'amélioration de l'efficacité énergétique est favorable à l'air et au climat, car de l'isolation des logements permet de moins chauffer et rafraîchir, ce qui permet de réduire les consommations énergétiques et donc de réduire l'émission de CO₂ et de polluants dans l'air. Il faut néanmoins une bonne ventilation pour éviter de trop fortes concentrations intérieures de polluants, car les matériaux, les meubles, les revêtements intérieurs (peintures, etc.), les produits d'entretien, entraînent une pollution intérieure supplémentaire. La qualité des moyens utilisés et de la ventilation vont donc de paire et est primordiale.

CHAPITRE 2

GÉNÉRALITÉS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN RÉGION PACA

1. LE CLIMAT MÉDITERRANÉEN

a/ Généralités

Le climat méditerranéen se caractérise par la sécheresse et la chaleur estivale d'une part, et des températures hivernales relativement douces d'autre part. Concernant les précipitations, elles dépassent 500 mm par an, en moyenne, mais varient fortement d'une année à l'autre.

Au sujet du vent, voir l'illustration ci-dessous.

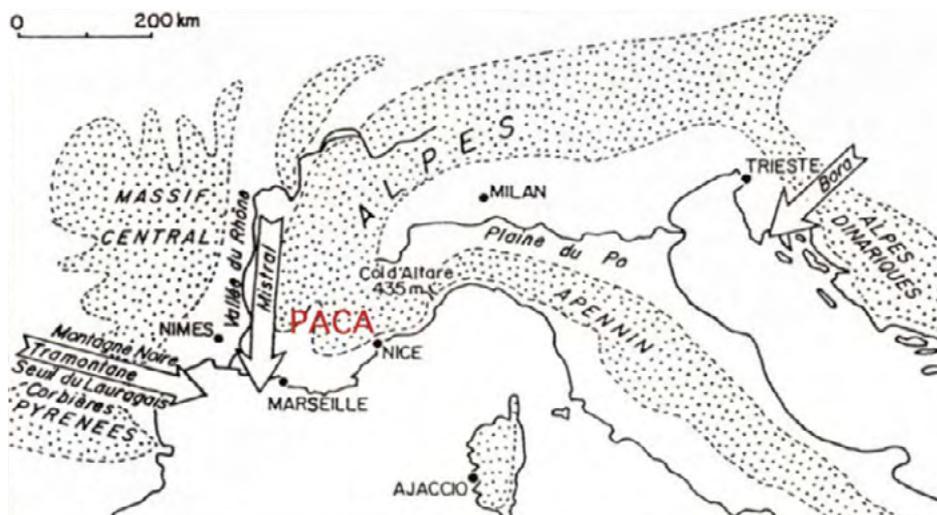


Image 6 : Situation de la région PACA sur la bordure méditerranéenne nord

Source : Pierre Carrega, UMR Espace

Ce schéma montre les montagnes qui entourent et protègent la région mais qui créent aussi des couloirs de vent. D'où la caractéristique spécifique d'une région avec une forte présence de vent.

La mer méditerranée est une grande réserve d'eau chaude/tiède qui fournit de la chaleur en hiver mais aussi une humidité dans l'air par vapeur d'eau (d'où les pluies sont issues). Les pluies sont, en hiver, de fréquence modérée, il y a aussi présence d'un vent fort, de soleil, de chaleur et de sécheresse en cette saison. Il y a aussi des averses orageuses qui s'étendent de l'automne au printemps, parfois excessives, capables d'ap-

porter la quantité moyenne de pluie d'un mois en quelques heures. Le vent d'est est le vent responsable des dégradations du temps et des précipitations.

En PACA, il y a aussi présence de brises thermiques, qui ont pour conséquences une ventilation faible (favorisant la pollution de l'air) et un renversement de la direction du vent durant la journée (ce qui contribue au recyclage des polluants).

Il y a, en somme, une topographie très marquée dans la région PACA, ce qui influence le climat local.

Les risques naturels impliquant le climat en région PACA sont les risques liés à la sécheresse (incendies de forêts) ou à la pluie (inondations, glissements de terrain). Ces risques sont ceux à prendre en compte dans la construction et l'aménagement du territoire, donc intéressant pour nous, d'autant plus s'ils vont s'intensifier avec le changement climatique.

Le risque d'inondations est directement lié au type d'occupation du sol, rendant les zones urbaines, dont les sols sont en quasi-totalité imperméables, plus vulnérables. La question du mode d'occupation du sol est primordiale dans la gestion des risques liés aux inondations.

Réussir à minimiser les conséquences d'un aléa consiste donc à apprendre à lutter contre lui, à l'empêcher de prendre de l'ampleur ou de se développer, à s'en protéger, ou encore à annoncer sa venue. C'est dans cette optique que sont établis les Plans Prévention des Risques (PPR).



b/ Le climat d'hier et d'aujourd'hui

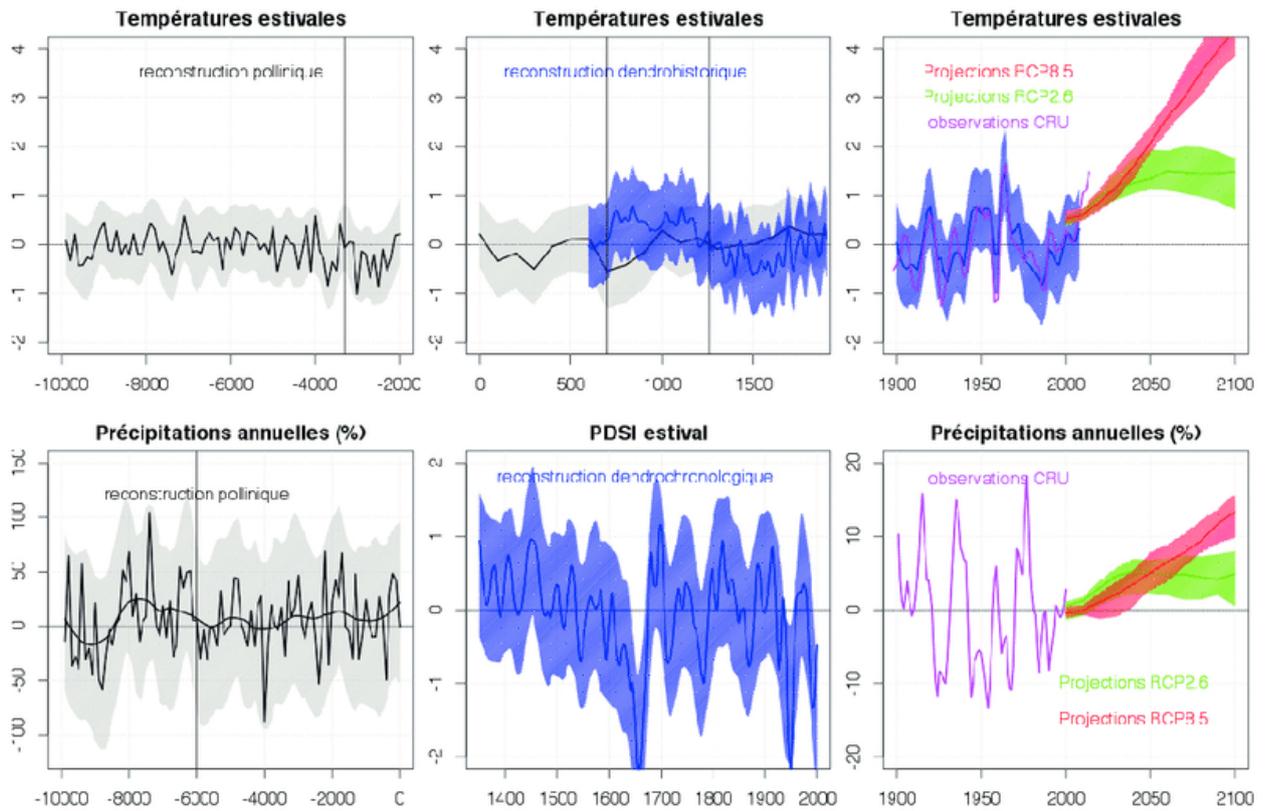


Image 7: Évolution du climat en région PACA depuis 1 000 ans

Source: Joël Guiot, CNRS

2. LES ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

La région s'articulant autour de la Méditerranée est reconnue comme étant un « point chaud » du changement climatique par les chercheurs. C'est une région particulièrement sensible aux modifications du climat.

La région PACA est la troisième région émettrice de GES en France, 79 % de ces émissions étant dues à la consommation énergétique.

a/ Évolution du climat: le climat de demain

D'ici 2050, le réchauffement climatique devrait être inférieur à 2°C avec une potentielle augmentation des vagues de chaleur jusqu'à 5 jours. D'ici 2100, les prévisions sont divergentes, mais le réchauffement devrait atteindre jusqu'à +5°C en été dans le Sud-est, avec une augmentation des vagues de chaleur de plus de 20 jours. Les précipitations augmenteront probablement en hiver et diminueront en été.

En effet, les températures moyennes devraient être supérieures de 1.9°C à 4.6°C (selon la zone géographique et les scénarios adoptés) d'ici la fin du 21^{em} siècle (par rapport à la période de référence 1976-2005). Ainsi, les hivers seraient plus doux avec un nombre de jours de gel de 40 à 50j contre à une centaine aujourd'hui. Le manteau neigeux diminuera jusqu'à environ 1500 m d'altitudes. Les étés seront plus chaud (avec une augmentation de 1.2°C à 5.7°C). Les canicules seront plus fréquentes et « banales » dans la seconde moitié du 21^{em} siècle. Quant aux précipitations, les prévisions diffèrent et il est difficile de savoir si elles vont augmenter ou diminuer, se raréfier ou non.

Ce qui est sur, c'est que les précipitations vont se raréfier en été en PACA. Ajouté à l'augmentation de la température, cela va accroître la sécheresse des sols en été et aura donc des conséquences notables sur la gestion des ressources en eau et la sensibilité des forêts aux incendies, sachant que la région est déjà très vulnérable sur ces aspects.

Illustrations des propos précédents (avec pour période de référence: 1976-2005):

 *Image 8: Température moyenne annuelle en Provence-Alpes-Côte d'Azur selon les différents scénarios.*

Cette courbe montre que les températures moyennes annuelles pourront augmenter de 1.5°C dans le cas le plus optimiste, +2.7°C environ dans le cas le plus pessimiste, d'ici 2050.

Quant aux écarts de températures l'été, ils pourront atteindre quasiment 2°C dans le cas le plus optimiste, +3.5°C dans le cas pessimiste en 2050 (selon lecture graphique approximative du graphique suivant).

 *Image 9: Température moyenne estivale en Provence-Alpes-Côte d'Azur selon les différents scénarios.*

Quant aux précipitations, on peut constater grâce aux graphiques suivants qu'elles n'évolueront pas en moyenne annuelle mais diminueront en été, comme affirmé précédemment.

 *Image 10: Cumul annuel de précipitations en Provence-Alpes-Côte d'Azur.*

 *Image 11: Cumul estival de précipitations en Provence-Alpes-Côte d'Azur.*

Afin d'illustrer et de percevoir cette modification du climat, certaines villes de la région ont été comparées à d'autres villes, d'Italie et d'Afrique du Nord par exemple. Voici ci-après les analogies.

Le climat de Marseille en 2100 serait le même que celui de Pouilles aujourd'hui (sud-est de l'Italie).

Tableau 6: Tableau climatique de Bari dans les Pouilles, Italie

	Janv.	Févr.	Mars	Avri.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Octo.	Nove.	Déce.
Température moyenne(°C)	8,8	9,4	11	13,8	17,8	21,8	24,1	24,1	21,1	17,2	13,5	10,3
Température minimale moyenne (°C)	5,4	5,8	7,1	9,5	13,3	17,1	19,4	19,4	16,6	13,1	9,6	6,8
Température maximale (°C)	12,3	13,1	15	18,1	22,3	26,5	28,9	28,9	25,7	21,3	17,4	13,9
Précipitations (mm)	57	56	52	41	38	25	22	28	51	67	69	61

Source : site internet « Où et Quand partir » ; <https://www.ou-et-quand.net>

Tableau 7: Tableau climatique de Marseille en région Paca, France

	Janv.	Févr.	Mars	Avri.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Octo.	Nove.	Déce.
Température moyenne(°C)	6,3	7,3	10,1	12,7	16,6	20,4	23,1	22,6	19,3	15,2	10,3	7
Température minimale moyenne (°C)	2,3	2,9	5,6	8	11,8	15,2	17,7	17,4	14,5	10,8	6,2	3,3
Température maximale (°C)	10,3	11,8	14,6	17,4	21,5	25,7	28,6	27,8	24,2	19,6	14,4	10,8
Précipitations (mm)	49	54	46	50	41	29	13	30	62	84	68	62

Source : site internet « Où et Quand partir » ; <https://www.ou-et-quand.net>

Si les précipitations n'étaient pas prises en compte, le climat de Marseille se rapprocherait plutôt de celui du nord de l'Afrique (mais région trop sèche si prise en compte des précipitations, dont on ne connaît pas/peu l'évolution).

En 2050, tous les scénarios du GIEC restent compatibles avec le seuil de 2°C, sauf Marseille et Avignon, qui pour le scénario le plus pessimiste auront un climat suffisamment chaud pour faire l'analogie avec le sud de l'Italie (Naples). En 2100, le risque de passer à un climat type sud de l'Italie ou nord de la Tunisie pour les villes de Marseille, Nice et Avignon est élevé (pour les scénarios pessimistes et même pour un scénario moyen pour la ville de Nice).

Seul le scénario le plus optimiste ne prévoit pas de modification de ces climats.

On peut affirmer que, d'après les projections climatiques, un épisode caniculaire tel que celui de 2003 serait considéré comme commun, voir comparable à un été frais d'ici 2100 car la température estivale devrait augmenter de 7°C dans le cas du scénario le plus pessimiste. Pour donner une idée, le climat annuel de Digne-les-Bains (préalpes), ressemblerait à celui de Bordeaux ou Split en Dalmatie selon les scénarios.

L'évolution du climat aura différents impacts, notamment sur la ressource en eau, l'agriculture, la biodiversité, la forêt, mais aussi le confort thermique dans les logements, et par conséquent, sur la demande énergétique (climatiseurs) ainsi que sur la santé des populations, comme nous le verrons dans un second temps.

b/ Augmentation du niveau de la mer

D'après le rapport du GIEC, le niveau de la mer devrait augmenter de 26 à 82 cm d'ici 2100. Cette hausse est principalement due à la dilatation des océans, elle-même due à l'augmentation de la température de l'eau. La fonte des glaces (des glaciers de montagne, mais surtout des calottes du Groenland et de l'Antarctique) est le second contributeur de cette hausse (mais l'influence de ce facteur sur la hausse du niveau de la mer semble augmenter). De plus, ces estimations ne prennent pas en compte l'impact éventuel d'une accélération de la fonte des calottes en liaison avec les changements de la dynamique de la glace. Donc la hausse du niveau de la mer pourrait être encore plus forte.

Bien entendu, cette estimation est une moyenne sur le globe, mais la hausse du niveau de la mer ne sera pas la même dans chaque région de la planète. En Méditerranée, cette hausse est estimée à 80 cm d'ici 2100 (tranche haute, donc, des estimations mondiales). De plus, la hausse de la salinité de la Méditerranée aura une influence sur les échanges entre l'Atlantique et la Méditerranée au niveau du détroit de Gibraltar.

Nous verrons aussi dans un second temps que l'augmentation du niveau de la mer aura un impact sur la qualité des eaux souterraines.



c/ Acidification des océans

En plus de l'augmentation du niveau de la mer, le changement climatique engendre des modifications des caractéristiques physico-chimiques des eaux marines. Le paramètre impacté par cela est la température de l'eau (notamment due au fait que les océans ont stocké plus de 90 % de la chaleur supplémentaire reçue par la planète depuis les années 1950). Par exemple, il est estimé que la température de l'eau a augmenté de 0.17°C entre 1969 et 2010.

Ce réchauffement s'accompagne de nombreuses évolutions des équilibres chimiques: la concentration en oxygène des eaux marines diminue mais la concentration en CO₂ accroît significativement car les océans absorbent entre 25 et 30 % du CO₂ émis par l'activité humaine. L'augmentation de CO₂, elle, implique une acidification des eaux superficielles marines avec diminution du pH moyen d'environ 0.1 depuis 1800.

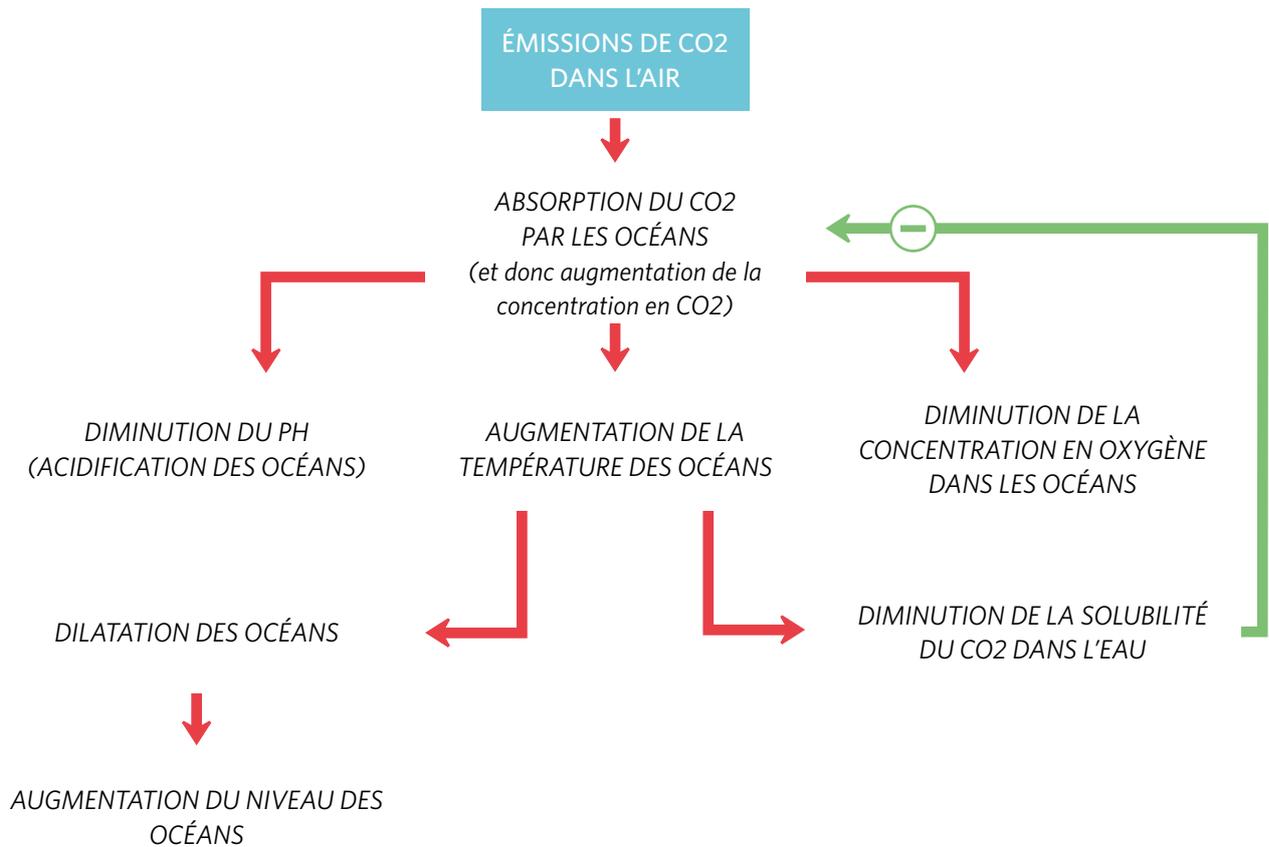
Or, l'élévation de la température diminue la solubilité du CO₂ dans l'eau. Donc le CO₂ est moins éliminé. De plus, l'augmentation de la pression partielle du CO₂ atmosphérique diminue la concentration en ions carbonate des eaux superficielles. Ces deux derniers phénomènes sont des phénomènes de rétroactions qui à terme vont être responsable de la diminution de la capacité de l'eau de mer à piéger le CO₂.

Ainsi, pour résumer, les modifications physico-chimiques des eaux marines sont:

- L'augmentation de la température (qui implique une mauvaise solubilité du CO₂ dans l'eau)
- La diminution de la quantité d'oxygène
- L'augmentation du taux de CO₂
- L'acidification des eaux superficielles
- La diminution de la concentration de CO₃ (ions carbonates; due à l'augmentation du CO₂ dans l'air)
- Qui ont pour conséquence la diminution de la capacité de l'eau de mer à éliminer le CO₂



Schéma 2: Synthèse des conséquences du changement climatique sur les systèmes marins



Source : Emily Deydier, EnvirobatBDM

Ces phénomènes génèrent des impacts sur les aires de répartition des espèces, mais aussi sur le fonctionnement des réseaux trophiques (par exemple, des altérations des relations prédateurs-proies). Car le réchauffement a pour effet de réduire l'apport de nutriments aux eaux superficielles, ce qui limite la production primaire et favorise l'extension de « déserts océaniques ». De plus, l'apparition d'espèces envahissantes peut être favorisée par le changement climatique. Enfin, la diminution de la concentration en oxygène rend sa répartition plus faible et peut aggraver de ce fait l'eutrophisation (accumulation de nutriments) des eaux côtières, tout comme l'acidification des océans qui pourrait ralentir la croissance des organismes calcificateurs (mollusques, coraux...).

D'autres pressions sont bien évidemment la surpêche, les rejets industriels et agricoles, la dégradation des habitats, l'urbanisme et l'artificialisation du littoral.

Tout ceci constitue un faisceau complexe de perturbations agissant conjointement sur les écosystèmes marins et littoraux. Ce qui rend généralement très difficile l'attribution d'un changement observé à l'une ou l'autre des pressions s'exerçant sur le milieu. La réflexion sur le changement climatique doit considérer cette problématique de l'attribution.

d/ Conséquences sociales

Un dialogue entre scientifiques et gestionnaires est nécessaire afin que s'opère la traduction des tendances globales en projections locales, permettant l'élaboration des mesures de gestion et des solutions techniques les plus adaptées à chaque cas de figure.

La hausse annoncée du niveau de la mer et les conséquences des événements extrêmes bouleversent les habitudes des gestionnaires qui doivent désormais s'adapter au risque de submersion et anticiper la perte d'écosystèmes ou leur modification. Le devenir des infrastructures côtières en cas d'événements extrêmes ou d'élévation du niveau de la mer interpelle également. Il faut donc prendre en compte tout ceci dans le choix de l'implantation d'un projet (ne pas se placer trop près du littoral). Néanmoins, la prise en compte des impacts du changement climatique dans la prise de décision (territoriale par exemple, ou de gestion de l'eau) semble encore limitée. Il faut donc adapter les outils d'anticipations du changement climatique et diffuser les informations concernant ce dernier.

Pour les collectivités locales, la préservation du littoral est un enjeu économique majeur (notamment dans le commerce et le tourisme).



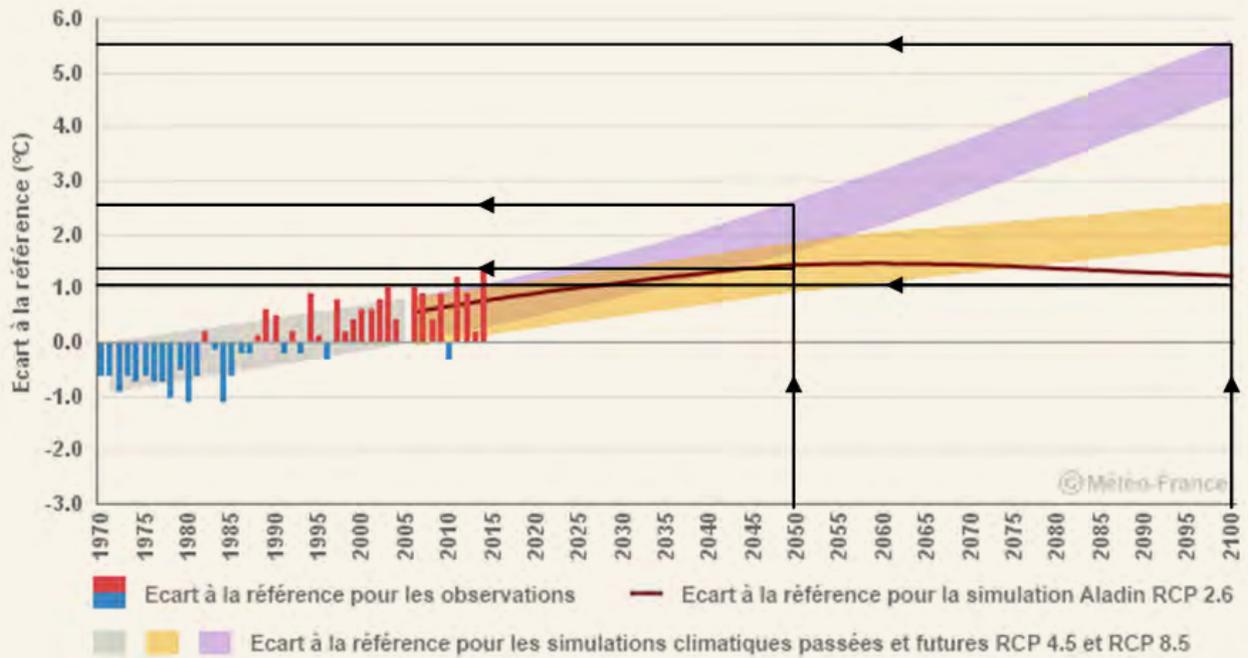


Image 8 : Température moyenne annuelle en Provence-Alpes-Côte d'Azur selon les différents scénarios.

Source : site Drias, Météo-France, modifié par Emily Deydier, EnvirobotBDM.

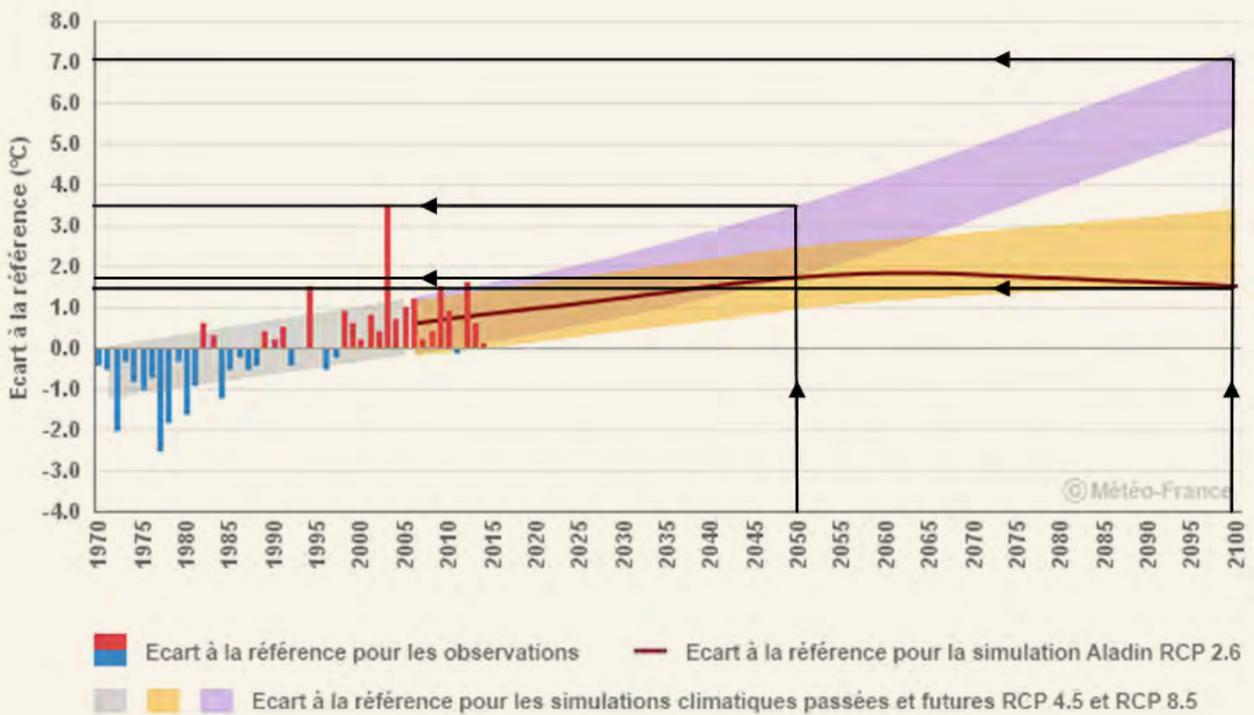


Image 9 : Température moyenne estivale en Provence-Alpes-Côte d'Azur selon les différents scénarios.

Source : site Drias, Météo-France, modifié par Emily Deydier, EnvirobotBDM.

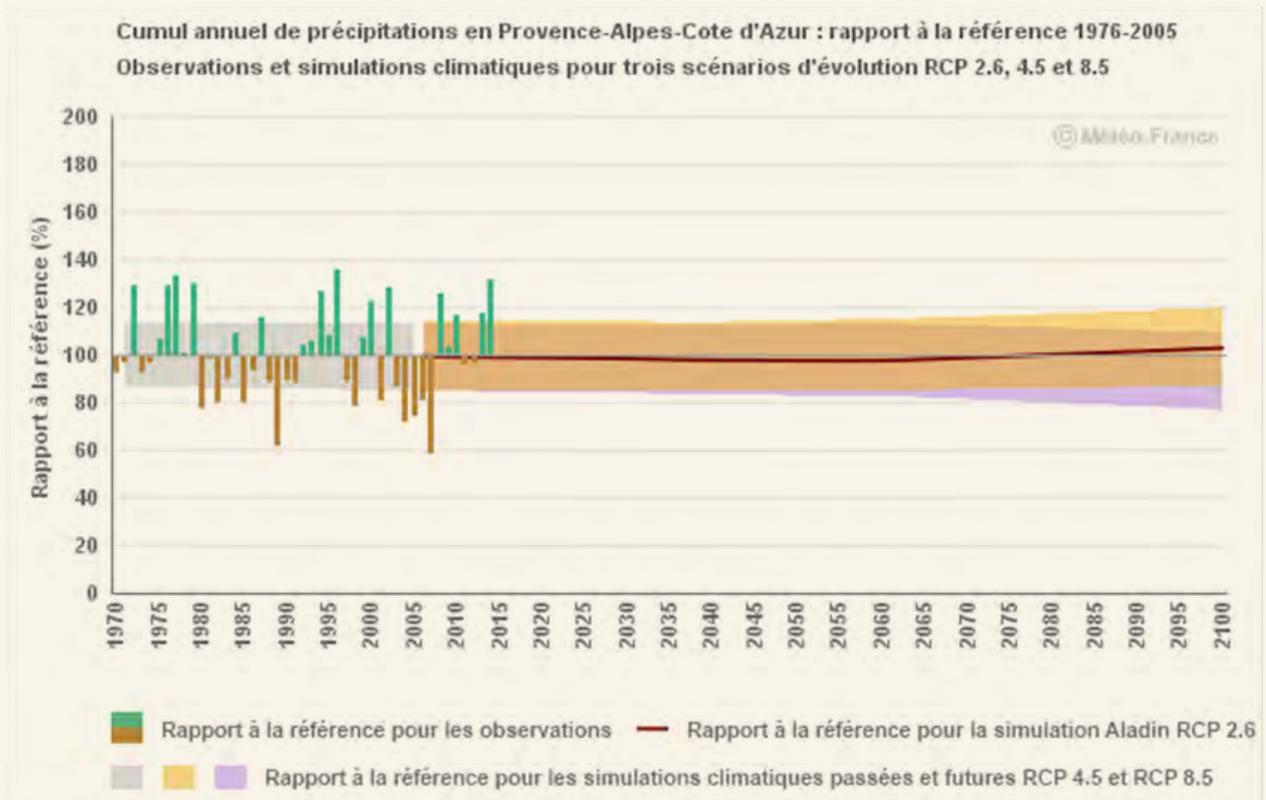


Image 10 : Cumul annuel de précipitations en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Source : site Drias, Météo-France, modifié par Emily Deydier, EnvirobotBDM.

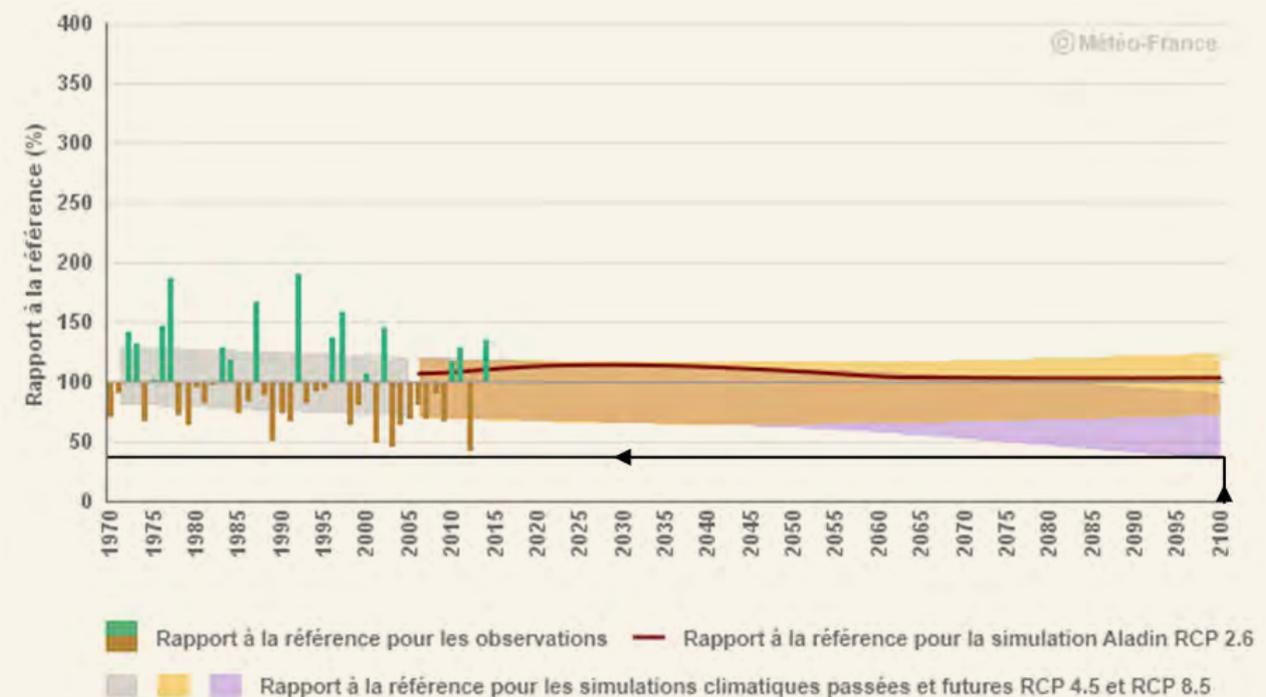


Image 11 : Cumul estival de précipitations en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Source : site Drias, Météo-France, modifié par Emily Deydier, EnvirobotBDM.

CHAPITRE 3

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES DIFFÉRENTES ZONES CLIMATIQUES

1. DÉFINITION DU PAYSAGE DE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Selon le Plan Climat élaboré par la région PACA, il y a 17 grands ensembles paysagers en région PACA (voir carte ci-dessous).



Image 12 : Carte de la région PACA selon les ensembles paysagers qui la constituent

Source : <http://oreca.regionpaca.fr>

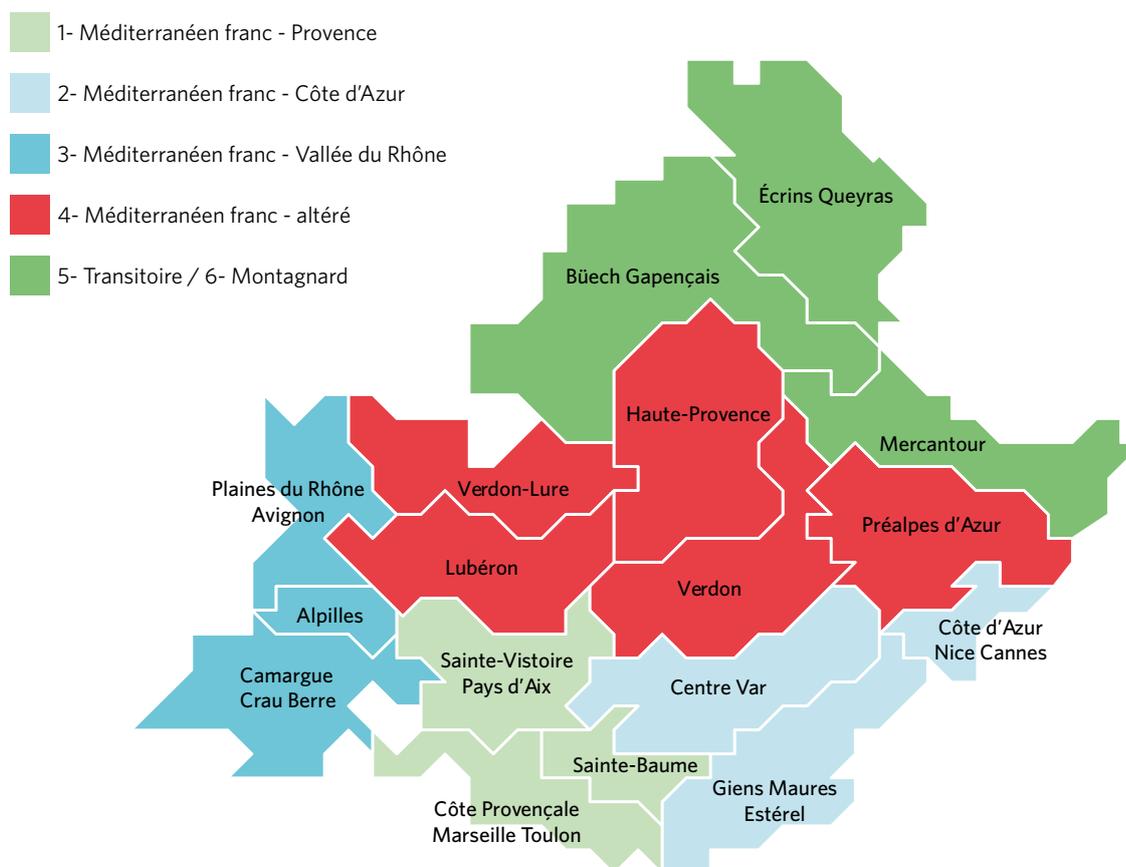
On peut voir la caractérisation de ces zones, dans la liste suivante :

Tableau 8: Caractéristiques des différents ensembles paysagers de la région PACA (code couleur pour la carte qui suit).

Camargue Crau Berre	Homogénéité du relief (plat), zones humides, côtes sableuses, enjeux de biodiversité
Côte provençale Marseille Toulon	Premier pôle urbain de la région, littoral rythmé d'éléments paysagers naturels (massifs calcaires) forts : la Nerthe, les Calanques, le Mont Faron, etc.
Giens Maures Estérel	Giens Maures Estérel : Côte rocheuses « déchirée », sauvage, peu urbanisée (en comparaison avec la Côte d'Azur). Groupement Maures-Estérel physiquement ceinturé par la dépression permienne.
Côte d'Azur Nice Cannes	Deuxième ensemble urbain de Provence-Alpes-Côte d'Azur à très forte connotation touristique.
Alpilles	Unité intrinsèquement institutionnalisée par la Directive Paysagère des Alpilles.
Sainte-Victoire Pays D'Aix	Unité intrinsèquement institutionnalisée par l'Opération Grand Site de France, élargie à la zone d'influence de la structure paysagère dominante de la montagne Sainte-Victoire, visible depuis les alentours très éloignés.
Sainte-Baume	Le Massif le plus haut de « Basse Provence », séparant d'un point de vue géographique, les autres ensembles les uns des autres. Un pivot entre côte ouest et Est. Caractère particulier de dureté : hauteur, compacité, aspect désertique, accès peu aisé, peu d'habitants.
Centre Var	Couloir vert et d'échanges entre les reliefs marquants au Nord et au Sud.
Plaines du Rhône Avignon Arles	Le Rhône, les plaines agricoles, une continuité/homogénéité historique du troisième pôle urbain Arles/Avignon/Carpentras.
Luberon	Les institutions du Parc Régional et de la réserve de biosphère, l'image par excellence de la Provence à travers le monde.
Verdon	Un Parc Naturel Régional à l'image très forte d'un point de vue touristique.
Préalpes d'Azur et niçoises	Entre Verdon, Mercantour et côte d'Azur, il s'agit des piémonts alpins. Un projet de Parc Naturel Régional et l'arrière-pays niçois.
Ventoux Lure	Regroupement de deux montagnes emblématiques qui se font face.
Haute-Provence	Historiquement, « Basse Alpes » qui devient Alpes-de-Haute-Provence, nous conservons « Haute-Provence », d'un point de vue climatique/en regard du découpage Géorégion « Les Hautes vallées de Provence ». C'est aussi l'appellation de la Réserve géologique.
Mercantour	Forte dominante naturelle.
Buëch Gapençais	Pour une homogénéité des pays de grandes vallées, aux portes ouest et sud des hautes montagnes.
Écrins Queyras	Les Alpes du sud.

Source : <http://oreca.regionpaca.fr>

Du point de vue climatique, le Plan Climat découpe la région selon six zones :



En reprenant le découpage des grands ensembles paysagers, les zones climatiques de la région Provence-Alpes Côte d'Azur sont donc réparties comme ceci. Le GEP « Écrins-Queyras », « Büech-Gapençais » et « Mercantour » présentent un climat transitoire dans les basses-montagnes et vallées et un climat montagnard plus en altitude.

Image 13: Représentation de la région PACA selon six zones climatiques

Source : <http://oreca.regionpaca.fr>

On peut comparer ce zonage à celui fait dans le Beluga, plateforme de travail pour la démarche BDM.

Tableau 9: comparaison des zonages d'EnvirobotBDM et de la région PACA.

ZONAGE BELUGA	ZONAGE RÉGION PACA
Moyenne montagne	Transitoire
Haute montagne	Montagnard
Littoral méditerranéen	Méditerranéen franc (les trois confondus)
Arrière-pays méditerranéen	Méditerranéen altéré

Source : Emily Deydier, EnvirobotBDM.

Peut-être serait-il pertinent de détailler le zonage « littoral méditerranéen » dans la démarche BDM ? Car en effet, la Vallée du Rhône ne possède pas le même climat que les zones en bordure de Méditerranée, et les enjeux sont différents (forte influence du tourisme en Côte d'Azur, ou zone humide en Camargue par exemples).

2. LE LITTORAL

Il y a de forts enjeux autour du littoral méditerranéen car c'est l'une des zones les plus densément peuplées et les plus fortement urbanisées de la planète. De plus, la région méditerranéenne est reconnue comme une des régions du monde les plus sensibles au changement climatique (« hot spot »).

Le cycle de l'eau méditerranéen est en évolution depuis une cinquantaine d'année notamment, avec une augmentation de la température de l'eau, une diminution des apports des fleuves et des précipitations et une augmentation de l'évaporation. Bien que la mer Méditerranée ne représente que 1.5% de la surface de la Terre, elle présente de réels enjeux pouvant impliquer des scénarios catastrophiques :

- sismicité,
- démographie très forte et en perpétuelle augmentation,
- réchauffement climatique,
- modification du cycle de l'eau,
- dégradation et fragmentation des habitats,
- atteintes à la biodiversité,
- répartition inégale des ressources,
- rapports nord/sud pouvant devenir conflictuels,
- migration,
- urbanisation côtière et « littoralisation » rapides.

Les risques sont liés :

- aux variations climatiques elles-mêmes (sécheresse, incendies, érosion du littoral, etc.)
- à l'industrialisation, à l'urbanisation et aux transports (pollution de l'air, de l'eau, des sols, des ressources)
- aux impacts des usages et pratiques sur la quantité et la qualité des ressources et sur la biodiversité

Les deux actions à mener pour lutter contre ces risques et enjeux sont **l'atténuation** du changement climatique et **l'adaptation** au changement climatique.

En PACA, le littoral présente des linéaires rocheux (ex : Calanques), des plages sableuses (ex : Hyères), des zones humides (ex : Camargue), et des secteurs artificialisés (ex : zones urbaines).



En fonction du contexte, ces zones peuvent être stables, en progression, ou en recul.

Info: la métropole de Marseille est la seule en France à posséder des parcs nationaux, à l'intérieur de la ville (parc national de Port-Cros et celui des Calanques).

Éléments de conclusion

- La hausse du niveau de la mer est due principalement à la dilatation des océans (due à l'augmentation de la température de l'eau). Elle est observée en Méditerranée depuis des décennies. Ainsi, ce n'est pas un risque ou enjeu de demain, mais bien actuel. L'effet de dilatation thermique engendrera à lui seul une augmentation du niveau de la mer Méditerranée de 45 à 60 cm d'ici 2100 (ajouter à cela l'effet de la fonte des calottes glacières, cela donne les 80 cm prévus dans un autre cahier). Ce dernier (la fonte des calottes) est assez incertain, ce qui signifie que la hausse de l'ordre de plusieurs mètres n'est pas à exclure.
- L'acidification de la mer due à l'absorption du quart des émissions de CO₂ dans l'atmosphère par les océans. Celle-ci a augmenté d'environ 30 % depuis la révolution industrielle et pourrait tripler d'ici 2100 (en fonction de l'évolution des émissions de CO₂).

On observe des phénomènes de mortalité à grande échelle sur les fonds durs de la Méditerranée liés à la hausse de la température de la mer. Certaines espèces souffrent plus de la hausse de température, d'autres de l'acidification. Ces menaces des espèces ont aussi des conséquences économiques et sociétales, car des emplois articulés autour de la pêche ou le tourisme par exemple, se voient menacés.

Les impacts de l'acidification sont variables car dépendent de l'adaptation ou la tolérance des espèces marines. L'impact du réchauffement de la mer a des conséquences plus lourdes et beaucoup plus rapides que l'acidification (voir par exemple ce qu'il se passe en Australie/coraux, à cause de la vague de chaleur de 2016). Par exemple, une hausse de 3°C de la température maximale estivale de la Méditerranée engendrera la mort de 100 % des moules méditerranéennes.

Les surcôtes pourraient augmenter et engendrer des problèmes d'inondation en empêchant les fleuves côtiers de se déverser normalement dans la mer (à cause de la réduction de la pente d'écoulement).

Ainsi, le changement climatique aura un impact déterminant sur la formation de la houle et des phénomènes de submersion. La hausse du niveau de la mer et la fréquence des phénomènes extrêmes sont donc à surveiller.

L'érosion

Il y a globalement deux types de plages en PACA :

- Les plages exposées à la houle du delta du Rhône (Camargue), qui connaissent une érosion importante (-2 m par an) due à un déplacement latéral des sables.
- Les plages protégées de la houle par la roche (situées à l'est de Fos), qui connaissent une érosion plus faible, de l'ordre de 10 à 30 cm par an.

Ces deux types de plages vont donc réagir différemment au changement climatique et notamment aux submersions marines et au recul du trait de côte.

Ainsi, les plages de Camargue ont suffisamment d'espace pour reculer, et reculera probablement de dizaines voire centaines de mètres, naturellement, mais à contrario, les autres plages (rocheuses) disposent d'une zone de repli infime ou inexistante et leur recul sera en fait une disparition, si la situation topographique et urbaine actuelle perdure.

3. LE MILIEU ALPIN

a/ La végétation

Végétation et adaptation

Les plantes alpines se caractérisent par des adaptations à des conditions écologiques drastiques (gel, sécheresse, radiation solaire élevée, etc.). Elles ont donc la capacité d'absorber, jusqu'à un certain seuil, les conséquences des changements climatiques sur leurs habitats. Toutefois, ces mêmes changements, en modifiant le milieu alpin, permettent à des espèces alors inadaptées de le coloniser partiellement. Une nouvelle compétition entre espèces pour les ressources émerge alors.

Un autre phénomène important est le décalage de la phénologie* car le changement climatique va potentiellement élargir la période favorable à la croissance et à la floraison, bien que le risque d'exposition des plantes à des périodes de gel ou sécheresse soit accru.

La disparition de végétaux alpins est-elle programmée ? Plusieurs éléments fondamentaux amènent à une réponse prudente :

On peut estimer que la disparition des espèces végétales alpines n'est pas certaines car :

- Les espèces peuvent s'adapter, soit grâce à leur diversité génétique, soit par leur plasticité (sans changement génétique).
- Ce qui est perdu d'un côté (colonisation « vers le haut ») peut être gagné d'un autre (disponibilité d'espaces post-glaciers).
- Savoir si les espèces auront le temps de s'adapter est difficile, néanmoins, l'évolution réserve parfois des surprises avec des adaptations contemporaines très rapides.
- Les espèces ont une capacité de dispersion : pour survivre face aux changements climatiques, de nombreuses espèces alpines vont devoir migrer vers des espaces plus favorables.

Au final, pour l'ensemble des scénarios climatiques, et malgré les capacités d'adaptation et vitesse de dispersion des espèces évoquées, on estime que la biodiversité alpine va subir un appauvrissement biologique important en réponse au changement climatique.

Grâce à une simulation de l'évolution de l'espace urbain pour les périodes jusqu'à 2050 et 2100 on peut identifier les territoires qui seront potentiellement construits. Il résulte que, si les tendances de développement se confirment, l'artificialisation du territoire affectera près de 10 % de la biodiversité des Alpes-Maritimes d'ici 2100. Si on ajoute à cela l'impact du climat sur les unités paysagères des Alpes-Maritimes, c'est près de 30 % de la biodiversité qui pourrait être affectée d'ici 2100. De tels résultats peuvent (et doivent) ainsi servir de base de réflexion pour la mise en œuvre de moyens de protection de la nature, tels que les Trames vertes et bleues, et pour la définition des stratégies d'adaptation au changement climatique.

Végétation et migration

La hausse de la colonne de mercure pousse de nombreuses espèces animales et végétales à gagner en altitudes ou latitudes plus élevées, où elles bénéficient de conditions plus favorables à leur développement. En moyenne, sur la décennie 1957-1966, les domaines de haute relativement altitude ont accueilli un peu plus d'une espèce végétale supplémentaire. Sur la période 2007-2016, le gain a été de 5,4 espèces, soit un taux cinq fois supérieur. Des recherches montrent que ces migrations des plantes vers

des altitudes supérieures sont liées au réchauffement climatique, auquel les milieux montagnards sont particulièrement sensibles. La colonisation des hauts-reliefs par des plantes des niveaux inférieurs, à une cadence qui devrait s'intensifier au même titre que le réchauffement, risque de mettre à mal les espèces natives des sommets. D'autant que les nouvelles venues, généralement plus vigoureuses, sont mieux armées pour s'imposer, avec une taille souvent plus grande et une surface foliaire plus importante, qui favorise la photosynthèse et la croissance. En somme, on assiste à une augmentation de la biodiversité en montagne car les espèces migrent vers le haut mais cela aura pour conséquence la disparition des espèces natives car leur milieu naturel se verra modifier et des espèces nouvelles plus imposantes et résistantes (concurrence).

b/ L'enneigement

En montagne, il est prévu d'ici 2030 une baisse d'au moins 50 % du manteau neigeux aux altitudes inférieures à 1500 mètres, et près de 20 % pour les hautes altitudes.



4. LE MILIEU FORESTIER

a/ Risques liés à l'augmentation de la sécheresse

La principale conséquence du changement climatique sur le milieu forestier est l'augmentation de la sécheresse. L'augmentation de la température et la diminution des précipitations influera sur l'évapotranspiration, qui se verra augmenter. Les incendies deviendront plus fréquents et plus intenses dans la région, notamment dans les zones montagneuses (dans lesquelles les incendies sont aujourd'hui peu fréquents). Grâce à des méthodes de simulation numérique, on peut évaluer le changement de régime des incendies (lié au changement climatique) et leurs impacts sur la mortalité des forêts (qui ont subi ces incendies). Les résultats montrent que certaines espèces seront plus impactées que d'autres (des variétés de pins et de chêne, le hêtre) dans des régions où les incendies seront plus violents à cause du changement climatique et dans des zones avec d'autres espèces fortement inflammables – car les espèces feuillues vont être remplacées par les résineuses, les résineuses par les garrigues et la roche sera découverte. La sécheresse sera fortement responsable de ces incendies, et sera de plus responsable de la diminution de la résistance des écosystèmes à ces incendies (la qualité du sol diminuera avec la sécheresse, la biodiversité aussi). Le vent dans notre région aura aussi un rôle majeur à jouer dans la propagation des incendies, comme nous le savons déjà.

Les risques liés aux incendies sont :

- La destruction des écosystèmes
- Des problèmes d'érosion,
- Des problèmes de désertification
- Des risques liés à la qualité de l'air et d'émissions de CO₂
- Une menace pour l'activité humaine (des biens, des logements, etc.)

Ceci présente un réel enjeu car la surface brûlée en Europe du sud pourrait être multipliée par 3 ou 5 d'ici 2100.

Le changement climatique et le changement d'occupation et d'usage du sol (liés à l'activité humaine) auront pour conséquence sur les incendies :

- L'augmentation de leur fréquence et de leur intensité
- L'augmentation de leur présence dans les secteurs montagneux de l'arrière-pays (l'augmentation de la sécheresse implique l'augmentation d'espèces mortes et donc inflammables)
- Une saison de feux plus précoce (printemps) ou plus tardive (automne) selon les zones
- Des saisons plus difficiles lors d'épisodes caniculaires ou de forte sécheresse
- L'augmentation des grands incendies malgré l'efficacité de la lutte
- L'augmentation de la vulnérabilité humaine et naturelle face à ces incendies

Ainsi, il faudrait donc, pour répondre à ces enjeux :

- Soutenir financièrement les filières bois afin de préserver le potentiel économique des forêts.
- Promouvoir l'éco-certification, développer et promouvoir des gammes de produits à partir d'essences locales
- Promouvoir et valoriser les bois locaux (filières courtes, projets locaux)

Ces critères sont d'ailleurs présents dans la grille BDM.

Pour aller plus loin, il faudrait établir ou compléter un état des lieux des risques liés à la forêt (incendies, préservation...).

b/ Conséquences sur les végétaux

Au sujet des végétaux, plusieurs phénomènes sont observés suite au changement climatique :

- L'augmentation du CO₂ va stimuler la photosynthèse ce qui permettra d'augmenter la production de biomasse jusqu'à 20 % pour certaines espèces
- La durée des cycles de culture va se voir diminuée ou augmentée selon les espèces
- L'augmentation de la température est favorable pour la plupart des espèces, à condition de ne pas dépasser un seuil « optimum »
- La pluviométrie est déterminante, et l'augmentation de la sécheresse risque d'avoir de lourdes conséquences sur les espèces végétales

Les Armines-Mines Paristech ont publié un rapport intitulé « Conséquences des scénarios de changements climatiques sur la vulnérabilité des interfaces forêt / habitat en région méditerranéenne face aux incendies » en 2010. Les deux axes de travail ont été d'une part, l'analyse de l'impact du changement climatique sur le climat méditerranéen et sur la végétation dans la région PACA, et l'analyse de l'augmentation de la vulnérabilité des zones urbanisées à proximité des zones naturelles, d'autre part.



La méthode utilisée était la suivante :

Phase 1: Analyse de l'impact du changement climatique sur le climat méditerranéen et sur la végétation de la zone PACA

- **Activité 1:**Étalonnage climatique des plantes
- **Activité 2:** Modélisation des paramètres climatiques actuels, et selon les scénarios de changement climatiques
- **Activité 3:** Modélisation de la répartition de la végétation selon les différents scénarios de changements climatiques
- **Activité 4:** Identification des nouveaux territoires soumis au risque d'incendie de forêt

Phase 2: Analyse prospective de l'évolution de la vulnérabilité des zones urbanisées aux risques d'incendie de forêt

- **Activité 1:** Projection de l'évolution de l'urbanisation des territoires PACA
- **Activité 2:** Cartographie des interfaces habitat-forêt, zones à risque d'incendies
- **Activité 3:** Identification des vulnérabilités
- **Activité 4:** Analyse de l'impact économique des changements
- **Activité 5:** Ateliers de travail sur les conséquences du changement climatique en termes de politique locale

Pour voir cette étude en détail, se reporter à la référence internet numéro 9 à la fin du document.

5. LES ZONES HUMIDES

Les impacts du changement climatique sur les zones humides paraissent pour l'instant plus faibles que ceux des activités humaines. Cela n'est pas valable en Camargue (et sur les zones littorales en général) car l'élévation du niveau de la mer a un impact important sur la zone (difficulté de drainage). Les impacts du changement climatique sur ces zones humides vont accroître à moyen et long terme, surtout sur les espèces peu mobiles (mollusques, plantes, etc.) car leur écosystème se verra fortement transformé sans qu'elles puissent migrer.

En effet, en Camargue, le littoral subit un déplacement rapide de son trait de côte dû à une réduction des apports de sédiments par le Rhône. L'érosion du littoral s'y traduit par un recul des plages et dunes, par l'ouverture de brèches dans le premier cordon dunaire, et par la destruction de certains ouvrages de protection. On constate une submersion des plages chaque hiver, et d'importantes intrusions marines dans les terres en 1982 et 1997. Pour répondre à ces enjeux, un repli stratégique a été mis en place afin de réhabiliter le cordon dunaire. Cette solution concilie la protection des enjeux humains et la restauration de la dynamique naturelle des systèmes. L'adaptation en zone littorale présente un réel enjeu car elle se trouve à la croisée des risques écologiques et côtiers, de l'urbanisme, du tourisme et de l'acceptation sociale.

Les zones humides telles que les littorales et les zones riveraines peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation des inondations et de l'érosion (qui se verront aggravées par le changement climatique), or le fait d'avoir recours à des aménagements lourds (en particulier les digues) palie à cette capacité naturelle de ces zones. Ainsi, il faut avoir recours à des aménagements plus adaptés, qui répondent à ces futurs enjeux.

Au sujet des zones humides littorales telles que la Camargue, elles permettent d'atténuer les effets de l'élévation du niveau de la mer en permettant le stockage temporaire de l'eau et en fournissant des sédiments, contribuant à réduire la pression de l'érosion sur les secteurs voisins du littoral. De plus, ces zones stockent du carbone organique, limitant ainsi l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère et l'augmentation de la température (les zones humides ont des températures moins élevées que les zones sèches). Les plages camarguaises ont de plus suffisamment de place pour reculer face à la hausse du niveau de la mer.

Il existe bien entendu de très nombreuses zones humides autres que la Camargue en PACA. Elles concernent en effet toutes les zones humides littorales et à l'intérieur des terres (lacs, rivières, fleuves, étangs, etc.).

👉 Retrouvez à la fin, le Zoom n°6 du cahier du GREC PACA sur le littoral.



CHAPITRE 4

LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN PACA

1. SUR LA SÉCHERESSE

La sécheresse sera un réel enjeu au cours du 21^{ème} siècle en région PACA. La hausse de la température va impliquer la hausse de l'évaporation et donc l'augmentation de la sécheresse dans cette zone dont le climat est déjà sec. En effet, un assèchement des sols est attendu pour toutes les saisons (allongement de la période de sols très secs et diminution de la période de recharge hivernale). Cette caractéristique présente notamment des enjeux d'exposition à des risques d'incendies plus fréquents (comme vu dans le chapitre correspondant), et à une raréfaction de la ressource en eau, autre problématique importante du changement climatique.

Le graphique suivant présente des courbes d'humidité du sol en deçà de la moyenne à la fin du 20^{ème} siècle, que ce soit à l'horizon 2050 ou celui de 2100. On se rapproche en 2100 des records de sécheresse relevés jusqu'aujourd'hui en été (courbes quasi confondues des mois de mars à septembre).

 *Image 14 : Cycle annuel d'humidité du sol : Moyenne 1961-1990, records et simulations climatiques pour deux horizons temporels (scénario d'évolution SRES A2).*

Bien entendu, la notion de sécheresse et la question de l'eau sont intimement liées, c'est pourquoi ce paragraphe et le suivant vont de paire.



2. SUR L'EAU

a/ La modification des besoins en eau

Parmi les 3.5 milliards de m³ d'eau prélevé par an (hors hydroélectricité), 21 % sont destinés à l'eau domestique.

Le changement climatique va modifier les besoins en eau de la région, notamment concernant la végétation, dont les cycles annuels de développement vont être modifiés et dont la demande évaporative va augmenter.

Mais :

Intuitivement, on aurait tendance à penser qu'avec l'augmentation de la température due au changement climatique, les plantes auraient besoin de plus d'eau. Mais ce n'est pas si évident, car la consommation en eau d'une plante dépend de l'étendue de sa surface évaporante (surface de ses feuilles principalement). Il faut aussi prendre en compte la demande climatique, qui est la quantité d'eau perdue par la plante par évapotranspiration, quand elle ne subit pas de stress hydrique. Ainsi, la demande climatique, ou l'évapotranspiration augmentent lorsque, le rayonnement, le vent, l'hygrométrie de l'air ou la température augmentent (ce qui signifie que la demande climatique va augmenter avec le changement climatique, car la température va augmenter). Il faut aussi prendre en compte l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère car la photosynthèse d'une plante se fait grâce à un flux rentrant de CO₂ et la transpiration grâce à un flux sortant de vapeur d'eau (proportionnellement inversées). Ainsi, l'augmentation du CO₂ implique la diminution de la transpiration, et de ce fait la diminution du pouvoir rafraîchissant de la plante, primordiale dans la lutte contre l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU). En résumé, l'augmentation de la température implique une plus forte demande climatique des végétaux, mais l'augmentation du taux de CO₂ dans l'air implique une plus faible transpiration de la part des plantes. En somme, les végétaux auront tout de même besoin de plus d'eau dans le futur, bien que leur développement soit modifié, impliquant souvent des cycles de développement plus courts, et donc moins consommateurs d'eau (besoin de plus d'eau mais moins longtemps). Ceci est vrai pour les plantes annuelles; les plantes pérennes verront leur besoin en eau augmenter tout court. La demande climatique a augmenté de 10 % au cours de ces dix dernières années, et devrait augmenter de 10 % de plus d'ici 2050.

Il faut savoir que la très forte concentration des populations sur les zones littorales amplifie l'effet du changement climatique dans le pourtour méditerranéen.

Cela peut être difficile à défendre auprès des acteurs économiques, mais préserver ces écosystèmes avec de l'eau de bonne qualité permet d'avoir dès aujourd'hui des résultats bénéfiques pour le territoire et ses occupants (qualité de l'air, lutte contre l'ICU, etc.).



b/ La modification des apports en eau

De manière générale, il y a différentes évolutions possibles de la ressource en eau dans un contexte de changement climatique, qui sont :

- Des modifications du cycle hydrologique dû à l'augmentation de la concentration en GES
- Le pourtour méditerranéen sera une des régions les plus vulnérables au changement climatique (« hot spot »), cela aura des conséquences notables sur l'activité humaine (tourisme, etc.)
- La baisse globale de la ressource en eau (surtout en été)
- L'intensification des contrastes saisonniers
- La modification des régimes des rivières de montagne en conséquence de la réduction du manteau neigeux et une fonte plus précoce

Tout ceci aura pour conséquence la diminution du débit moyen annuel, qui est estimée entre -10 % et -30 % d'ici 2050.

Évolution des précipitations

Le changement climatique va aussi modifier les apports en eau, avec une évolution des précipitations.

Ainsi, les projections d'ici 2050 sont :

- Une diminution des stocks de neige et une fonte de celle-ci plus avancée dans l'année, réduisant les apports et débits au printemps.
- Une diminution de la ressource en eau en été.
- Une diminution de la demande globale en eau à l'échelle du territoire, grâce à des programmes d'économie d'eau.
- Des précipitations intenses plus intenses (surtout en mi-saison, mais les prévisions restent incertaines)

En été, la réduction du débit va entraîner des modifications majeures dans le fonctionnement des cours d'eau, le pire étant lorsqu'il y a assec des cours d'eau. Ces assec pourraient être plus intenses et plus longs. De plus, la diminution du débit signifiant la diminution de la vitesse de l'eau, l'oxygénation de l'eau sera plus faible (car le brassage sera diminué), le dépôt sera favorisé devant le transport (et donc augmentation de la sédimentation), les polluants seront moins dilués, et les risques d'eutrophisation du milieu seront augmentés.

Modification de la quantité d'eaux souterraines

Dans le bassin méditerranéen comme ailleurs, les ressources en eau souterraine sont affectées par les modifications du régime de précipitations (en quantité ou en intensité) qui influencent directement les flux de recharge des eaux souterraines. L'augmentation de la sécheresse va aussi influencer la quantité d'eau disponible car elle va engendrer une augmentation de l'évapotranspiration.

De plus, les aquifères présentes dans la région PACA sont aujourd'hui très exploitées pour répondre aux besoins locaux.

Or, le changement climatique aura un impact sur le niveau d'eau stocké dans les aquifères, notamment sur le prélèvement et la recharge. L'impact n'est pas significatif d'après les projections de 2050 mais le sera en 2100. Néanmoins, les estimations sont difficiles car les baisses de niveau des aquifères peuvent être compensées d'une année à l'autre grâce aux précipitations, comme expliqué précédemment. Par conséquent, la variabilité climatique et la capacité de résilience des aquifères doivent être

analysées sur des périodes de temps longues pour déterminer la vulnérabilité quantitative des aquifères.

À savoir aussi que les besoins en irrigation augmenteraient entre 0 et 12 % d'ici 2050 (selon une étude sur la plaine de la Crau).

Modification de la qualité des eaux souterraines

Après la quantité d'eaux souterraines, on peut parler de la dégradation de la qualité de ces eaux. En effet, une menace pèse sur celle-ci du fait du changement climatique. L'augmentation du niveau de la mer, l'amplitude des marées et la diminution du flux d'eau à l'exutoire de l'aquifère engendrent une augmentation du biseau salé* qui peut atteindre le niveau des aquifères côtières. Ce phénomène rendrait la ressource concernée inutilisable. Il est déjà constaté dans la basse vallée du Rhône et pourrait/ devrait s'accroître.

Les conséquences de la diminution du manteau neigeux

La diminution du manteau neigeux, comme évoquée dans un chapitre précédent, aura un impact notable sur la ressource en eau en PACA car une partie de cette ressource provient de la fonte des neiges au printemps. En effet, 15.5 milliards de mètres cubes d'eau douce proviennent des glaciers alpins et le recul de ces glaciers aura un impact lourd sur l'approvisionnement en eau des cours d'eau (d'après l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse).



c/ L'augmentation de la température d'eau douce

La température est l'un des paramètres physiques les plus importants pour la survie des espèces d'eau douce. Or, de nombreuses études montrent que la température des cours et plans d'eau va augmenter dans le monde entier. Elle est due au changement climatique mais aussi à l'utilisation de l'eau pour le refroidissement des centrales nucléaires et thermiques à flamme et aux rejets liés à l'urbanisation. Pour ce qui est de l'influence du changement climatique sur ces températures, il aura pour effet de diminuer le niveau des plans d'eau méditerranéens et d'en détériorer la qualité. À savoir que plus le volume d'eau est faible, plus sa température va augmenter. L'augmentation de la profondeur et la réduction de la largeur des cours d'eau limitent l'échauffement car la surface au miroir est réduite et l'émission de rayonnements infrarouges aussi. En région PACA, la température des cours d'eau devrait augmenter de 2°C à 3°C d'ici 2100. Près d'un quart de cette augmentation sera due à la réduction des débits.

Ceci présente un enjeu car les écosystèmes aquatiques sont vulnérables face aux changements climatiques, notamment à l'échauffement de l'air et à la modification de la pluviométrie. L'augmentation de la température de l'eau (due à celle de l'air) a pour conséquences la réduction de la proportion d'oxygène présente dans l'eau (nécessaire pour la respiration des organismes aquatiques) et l'augmentation de l'évaporation. De plus, la température de l'eau étant un facteur majeur dans le fonctionnement des milieux aquatiques, des espèces d'eau froide pourraient disparaître (ou du moins leur zone de répartition serait modifiée), laissant place aux espèces les moins sensibles aux températures et moins exigeantes en oxygène. La modification de la pluviométrie, se caractérisera par de longues périodes sans pluie (diminuant la quantité d'eau et l'écoulement), et des périodes de pluies intenses (crues rapides et dévastatrices).



3. SUR LES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DES USAGERS

Dans cette partie, on appelle consommations énergétiques les consommations liées au chauffage et à la climatisation. Nous proposons ici des solutions pour réduire ces consommations, liées à différents phénomènes, énumérés ci-dessous.

a/ Les consommations liées à la conception des bâtiments

Le changement climatique en PACA va impliquer une consommation plus forte en climatisation qu'en chauffage (accentué par l'effet d'îlot de chaleur urbain, ICU). La conception bioclimatique doit donc servir à diminuer les températures moyennes dans les bâtiments, notamment avec des protections solaires, l'inertie, l'isolation thermique, la ventilation nocturne, etc.

b/ Les consommations d'énergies non renouvelables

Le changement climatique va avoir des conséquences sur la production électrique avec notamment l'augmentation de +1°C de l'eau qui entraînera une perte de 0.5% de production pour une centrale nucléaire (due au pouvoir rafraîchissant de l'eau plus faible), allant jusqu'à 2% lors de vagues de chaleur ou sécheresses. Ainsi, une réduction de la capacité de fonctionnement des centrales thermiques et nucléaires est attendue (sans modifier drastiquement leur fonctionnement). Cela posera notamment problème lors des périodes de chaleur extrême, car la demande en électricité augmente (pour la climatisation) et la capacité de production diminue.

Ainsi, le développement de la production d'ENR est un réel enjeu.

Fort heureusement, l'avantage de la région PACA est que l'on a accès à beaucoup d'EnR : c'est une région ensoleillée, venteuse, avec des accès à l'eau douce ou l'eau de mer. L'éolien (à terre ou en mer), le photovoltaïque et l'hydroélectricité (barrages) y sont donc développés et doivent l'être davantage.

La production régionale d'électricité est à plus de 60% d'origine hydraulique. Néanmoins, ce chiffre pourrait baisser si la pluviométrie diminue en conséquence du changement climatique.

La production régionale d'énergie solaire est, elle, très faible : le photovoltaïque et le solaire thermique représentent ensemble moins de 5% de la production régionale d'énergie (chiffres datant de 2013), mais en forte croissance.

Il est encore difficile d'imaginer que les ENR puissent à elles seules produire toute l'énergie consommée en France, mais certains scénarios démontrent que c'est possible à l'horizon 2050.



c/ La surconsommation

Le changement de température va modifier nos consommations de chauffage en hiver, et nos consommations de climatisation en été. En effet, le confort thermique sera plus grand en hiver (températures plus douces, avec moins de journées de gel notamment), et plus faible en été (dû à de fortes chaleurs et épisodes caniculaires).

Les courbes suivantes justifient ceci en présentant les prévisions de consommations d'aujourd'hui à 2100.

 *Image 15: Degrés-jour annuels de chauffage en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.*

On constate grâce à ce graphique que les consommations en chauffage vont passer de 2500°C environ en 1970 à moins de 1500°C en 2100, selon le scénario pessimiste (environ 2000°C pour les autres). Cela représente une baisse de 40 % des besoins en chauffage.

 *Image 16: Degrés-jour annuels de climatisation en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.*

Ce graphique montre que les besoins en climatisation vont passer d'environ 130°C en 1970 à plus de 750°C dans le cas du scénario le plus pessimiste. Cela représente un besoin six fois supérieur que le besoin en 1970, approximativement.

Ainsi, un des enjeux majeurs aujourd'hui est de réduire nos consommations en énergies (notamment non renouvelables).



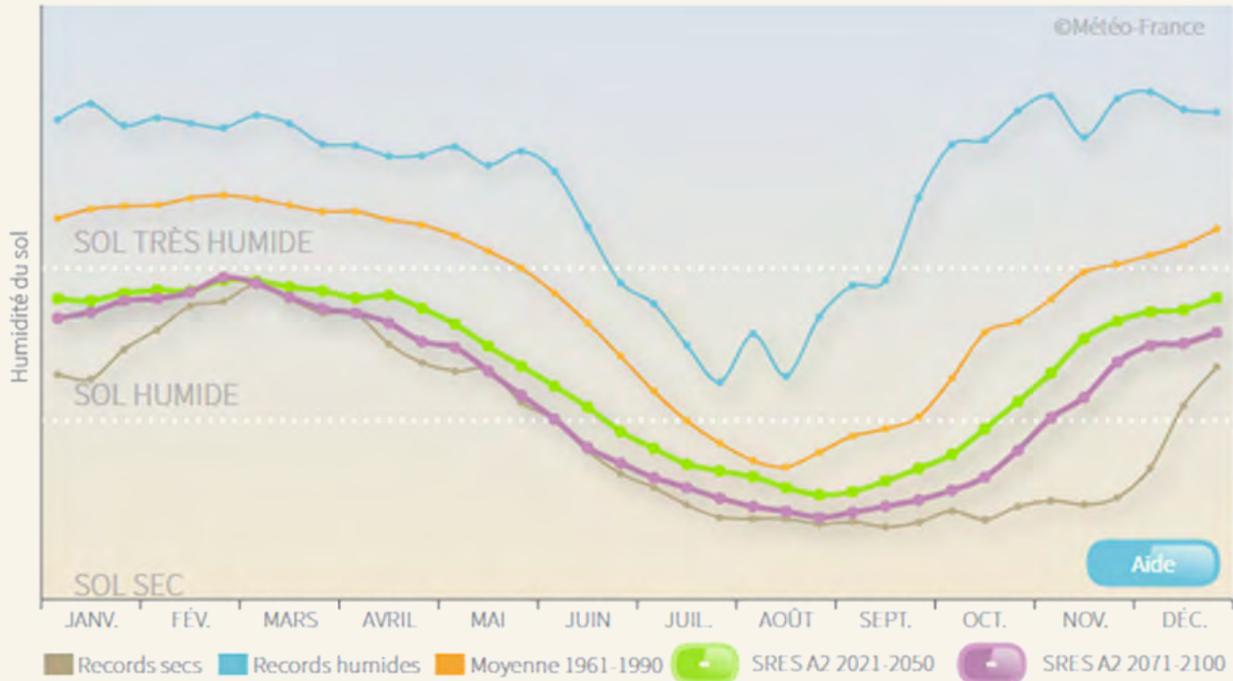


Image 14: Cycle annuel d'humidité du sol: Moyenne 1961-1990, records et simulations climatiques pour deux horizons temporels (scénario d'évolution SRES A2).

Source: Climat HD, Météo-France.

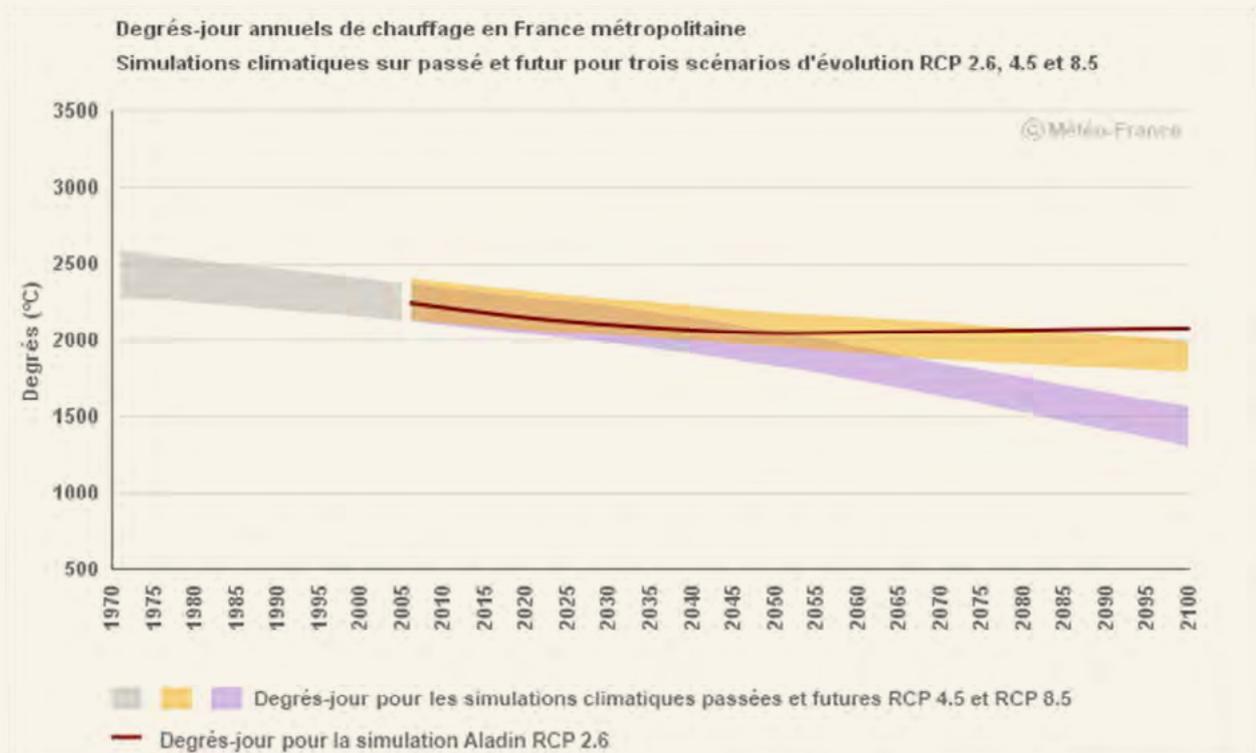


Image 15: Degrés-jour annuels de chauffage en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.

Source: site internet ClimatHD.

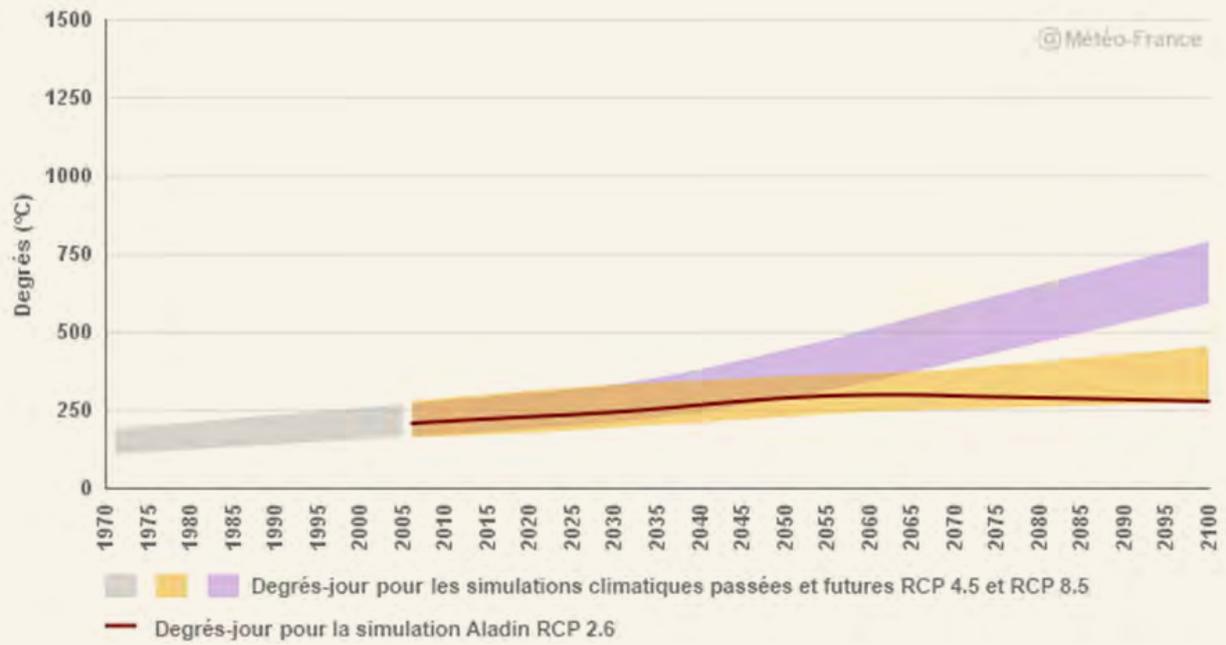


Image 16 : Degrés-jour annuels de climatisation en France métropolitaine. Simulations climatiques sur passé et futur pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5.

Source : site internet ClimatHD.

4. SUR LE TOURISME

La région PACA est une région très touristique, aussi bien sur le littoral que dans les montagnes. Or, le climat a une forte influence sur le tourisme (on choisit souvent sa destination en fonction du climat).

Ainsi, le changement climatique va avoir des conséquences sur les choix des destinations touristiques. En effet, le nord de la France et les régions montagneuses auront un climat plus doux, ce qui pourra augmenter le tourisme dans ces régions en saison estivale. A contrario, le tourisme se verra diminuer sur le littoral (et plus généralement dans le sud de la France) en été car la hausse de la température aura un impact sur le confort, bien qu'il puisse augmenter durant les mi-saisons pour les mêmes raisons. De même, le tourisme en montagne l'hiver pourrait diminuer dû à l'impossibilité de pratiquer des sports d'hiver (en conséquence de la diminution du manteau neigeux). À savoir que les sports d'hiver ne seront praticables qu'à partir de 1600-1800 mètres d'altitude selon les projections, ce qui signifie que toutes les stations en dessous de ces altitudes devront reconvertir leur secteur d'activité.



5. SUR LA SANTÉ

a/ Exposition de la population à des risques sanitaires liés au changement climatique

Risques liés à l'augmentation de la température

De manière générale, l'augmentation des températures en PACA aura un impact négatif sur la population, malgré le fait que les hivers puissent être plus doux.

- Les périodes de forte chaleur (dont les canicules), qui vont être plus fréquentes au cours du 21ème siècle, vont exposer les personnes les plus vulnérables (les personnes âgées en majorité) à des risques pouvant mener jusqu'au décès.
- Le changement climatique aura aussi pour conséquence le développement possible de maladies infectieuses ou d'agents pathogènes, ce qui pourrait être imputé à l'augmentation de la température.
- L'allongement des saisons polliniques exposera aussi une partie de la population (notamment concernant les personnes avec des problèmes respiratoires, des allergies, ou les enfants). L'allongement de ces saisons serait dû à l'augmentation de la température, néanmoins on estime aujourd'hui que le développement des allergies pourrait être lié à la pollution de l'air (bien qu'il s'agisse d'interactions complexes).
- Enfin, l'augmentation des températures risque également de modifier les saisons de transmission et les répartitions géographiques des insectes vecteurs et des animaux porteurs de maladies» (moustiques tigres notamment). Il faut néanmoins savoir que la propagation de ces espèces est principalement due aux transports déployés aujourd'hui.

Risques liés à la pollution de l'air

Bien que la pollution ait diminué en région PACA durant les dix dernières années, son impact reste néanmoins un enjeu primordial de santé publique.

En effet, la région PACA étant déjà une région fortement polluée, le changement climatique va contribuer à l'exposition de la population à une pollution à l'ozone, sur des périodes probablement plus longues, d'intensité plus élevée, et avec des pics de plus fréquents. Les zones les plus exposées à ces risques sont bien sûr les plus peuplées, en l'occurrence le littoral, en région PACA (urbanisation, industries et trafic).

Enfin, il faudrait aussi s'intéresser à l'exposition des populations aux rayonnements ultraviolets qui, en cas d'une augmentation générale des températures, pourrait devenir un problème de santé, car elle pourrait engendrer le développement de mélanomes (cancers de la peau).



6. SUR L'AGRICULTURE ET LA FORÊT

a/ L'agriculture

Le climat méditerranéen permet le développement de cultures diversifiées, comme les arbres fruitiers, les vignes, les céréales, etc. mais les excès de ce climat (sécheresse, vent violent, pluies fortes, gel, etc.) sont des menaces qui pèsent sur ce secteur de l'agriculture.

La température de l'air est ce qui contrôle la succession des événements phénologiques des végétaux. Son augmentation va donc avoir un impact notable sur ces derniers.

La phénologie* est donc un indicateur considérable du changement climatique sur le développement des espèces. (car CC -> augm. T -> modif phénologie)

La phénologie* peut notamment modifier la qualité des fruits issus des arbres fruitiers (par exemple).

Que ce soit pour les cultures forestières, fruitières ou viticoles, l'adaptation des espèces au changement climatique représente un enjeu socio-économique majeur en PACA. D'où la nécessité d'anticiper et de s'adapter dans ce secteur.

Une solution serait d'implanter dès à présent des espèces issues de climats plus secs tels que l'Espagne ou la Tunisie (oliviers, amandiers, orangers, etc.) qui nécessitent un arrosage goutte-à-goutte, qui s'avèrera probablement plus adapté au climat de la région dans les décennies à venir.



b/ La forêt

La forêt représente la moitié de la surface du territoire régional. De ce fait, la forêt joue un rôle principal dans la nature et l'économie régionale. Il faut savoir que les liens entre la pollution de l'air et la santé des arbres sont encore très peu connus aujourd'hui.

Le changement climatique va induire l'augmentation de la température de l'air mais aussi un allongement de la saison sèche et l'accroissement des épisodes de canicules. Cela aura comme conséquence sur les espèces végétales l'augmentation du stress hydrique (auquel l'écosystème méditerranéen est déjà soumis). On observe suite à ces modifications climatiques des modifications architecturales des végétaux : moins de feuilles, moins de branches, ou plus petites. Leur phénologie* est aussi affectée, comme on a pu le voir dans la partie agriculture. À savoir que le dépérissement des espèces végétales induit la combustibilité du milieu, et accentue donc les risques d'incendies de forêt (accumulation de biomasse sèche, plus de lumière et donc de chaleur, moins grande protection au vent, etc.).

L'augmentation de la température implique l'augmentation de la demande en eau des végétaux et l'augmentation du risque incendie (car déficit hydrique).

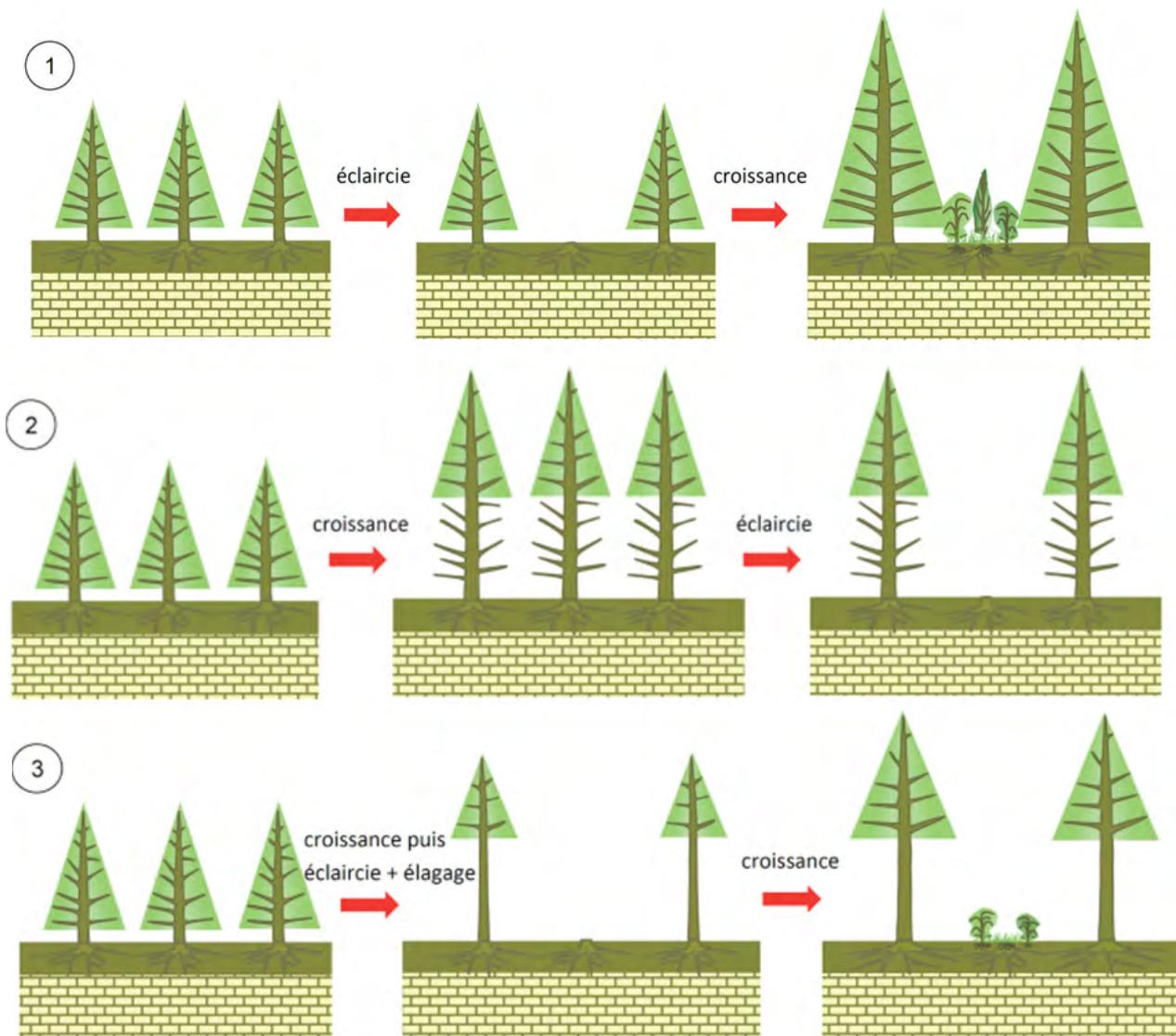
La vulnérabilité au feu des arbres et peuplements peut être traitée par :

1/ Éclaircie : diminue la compétition entre les arbres et diminue la masse combustible

2/ Élagage : amélioration de la cylindricité du tronc et production de bois sans nœuds ; limite le risque de propagation du feu



Schéma 3: Schéma des trois méthodes d'éclaircie et/ou d'élagage.



Source : Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), novembre 2017, 40 pages. ISBN : 9782956006022

La sécheresse est due à un déficit de précipitation ET un déficit d'eau dans le sol qui s'accroît avec la hausse de température (évapotranspiration).

À l'étage méditerranéen: espèces adaptées à la sécheresse et aux fortes températures de l'air (donc peu vulnérables à la sécheresse mais dont le fonctionnement peut être modifié par la longueur des périodes sèches).

À l'étage montagnard: espèces sensibles à la sécheresse et aux fortes températures de l'air (implique un dépérissement de certaines espèces les plus sensibles, actuel dans les Alpes du Sud).

À l'étage supra-méditerranéen: espèces aux comportements intermédiaires.

En plus des dépérissements directement liés au climat, le milieu forestier est menacé par des agents biotiques (insectes, pathogènes) qui engendrent la mort des arbres. À cela s'ajoute aussi la pollution atmosphérique à l'ozone notamment, affaiblissant les écosystèmes forestiers.

Les incendies représentent évidemment une perturbation majeure des écosystèmes forestiers méditerranéens. Ils favorisent l'érosion des sols, particulièrement en zone montagneuse, et ont un impact négatif sur la qualité de l'air et la séquestration du carbone. Ils sont déjà fréquents à l'étage méditerranéen et proche du littoral, et vont accroître dans les zones montagneuses et supra-méditerranéennes, ce qui représente un risque non négligeable.

Aux effets directs du changement climatique pourraient s'ajouter des attaques d'insectes ravageurs favorisés par l'augmentation de la température de l'air.

Pour revenir à la pollution de l'air, l'ozone (O₃), GES, a un réel impact sur le bien être des forêts. L'augmentation de la température moyenne et de l'intensité du rayonnement solaire engendre une augmentation des concentrations en ozone. L'O₃ provoque des symptômes spécifiques sur les arbres et arbustes comme la défoliation* et la décoloration. À certaines concentrations (très fortes en PACA), l'ozone représente un risque pour la santé humaine et celle des forêts.

Pourquoi s'intéresse-t-on au risque incendie? car en PACA, 75 % des communes ont été touchées au moins une fois par un incendie de forêt au cours des 50 dernières années et que cela représente la première cause de mortalité des forêts dans la région.

Les facteurs de prédisposition et propagation du feu sont : climat sec, chaud, venté, végétation abondante et inflammable. La forte pression anthropique génère 90 % des départs de feu.

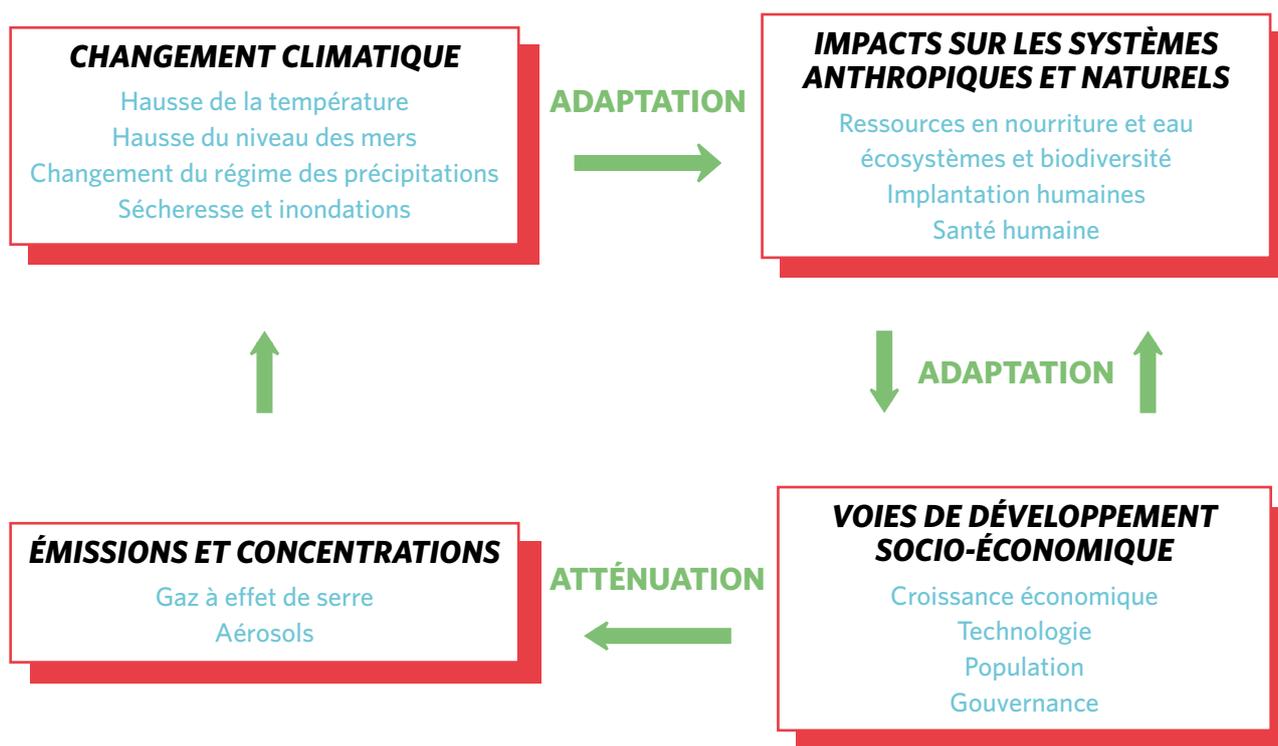
Le changement climatique va engendrer une augmentation du nombre de feux de forêt, de leur intensité, et de la durée de la période à risque. L'enjeu est d'anticiper les feux qui vont être plus nombreux à cause du changement climatique dans les zones à risque faible aujourd'hui.



CHAPITRE 5

PISTES D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Schéma 4: Description des concepts d'adaptation et d'atténuation



Source: GIEC 2001

1. ADAPTATION AUX MODIFICATIONS LIÉES À LA RESSOURCE EN EAU

a/ Eaux souterraines

Afin de préserver les eaux souterraines, il est nécessaire de rééquilibrer les bilans d'eau, en favorisant la recharge et en minimisant les prélèvements.

Pour cela, on peut opter pour des solutions telles que la **recharge artificielle** ou le développement des ressources non conventionnelles (dessalement, réutilisation des eaux usées, par exemples).

Mais il est aussi nécessaire de s'appuyer sur **l'optimisation de l'aménagement du territoire en évitant l'imperméabilisation des surfaces** et en maintenant des conditions favorables à l'infiltration naturelle, même en milieu urbain et périurbain (création de parcs, maintien de cours d'eau naturels, etc.).

Enfin, la **réduction des consommations** est indispensable, et elle passe par une limitation des gaspillages et une réduction des « empreintes eau » des produits alimentaires et manufacturés.

Il va aussi falloir **préserver les territoires sur lesquels sont localisées des ressources** en eaux souterraines de bonne qualité, qu'elles soient actuellement utilisées pour la production d'eau potable ou non. Ceci pourrait potentiellement être incorporé dans les grilles de critères BDM et QDM.



b/ Le recours aux eaux non conventionnelles

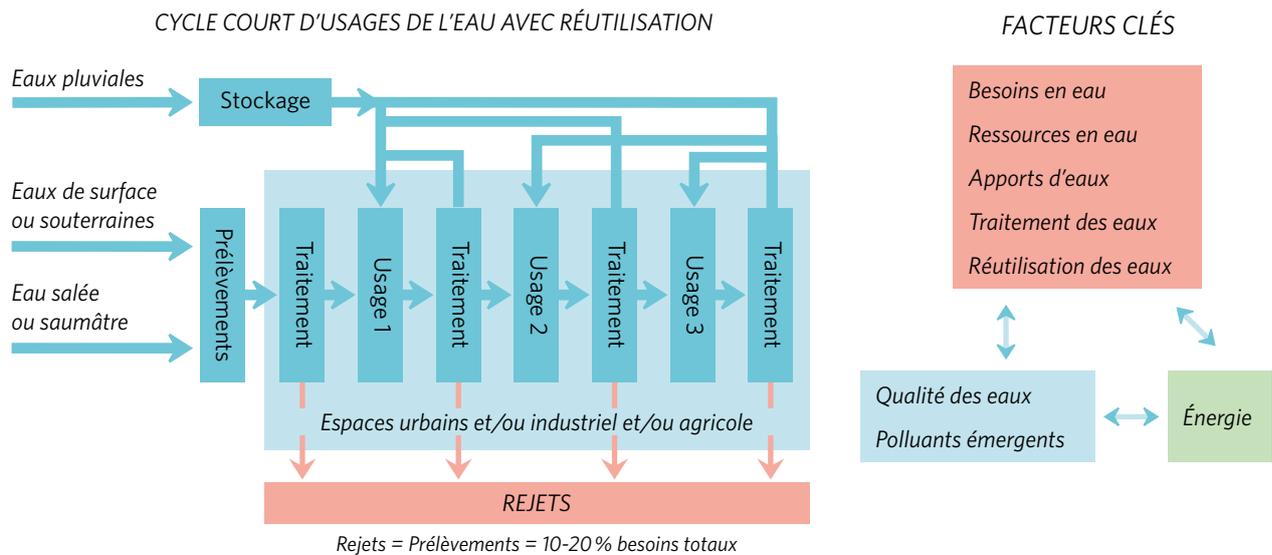
Une piste d'adaptation : les ressources non conventionnelles et les cycles courts d'utilisation de l'eau. Celles-ci permettraient de limiter ou réduire la consommation des ressources conventionnelles (soulagerait celles-ci).

Les ressources non conventionnelles sont : les eaux pluviales, les eaux provenant du dessalement d'eaux de mer et la réutilisation d'eaux usées traitées.

Il est possible aujourd'hui de mettre en place un cycle où les prélèvements directs de ressources conventionnelles ne représenteraient que 10 à 20% de la somme de tous les besoins.

Néanmoins, il faut des cycles spécifiques à chaque territoire, qui doit donc être étudié au préalable : état des lieux spatio-temporel précis des besoins en eaux (en termes de qualité et quantité) afin de classer les différents usages, un état des lieux spatio-temporel précis des ressources (en termes de qualité et quantité) avec évaluation de la fragilité ou robustesse du milieu et des aménagements existants, et enfin une prospective et une projection réalistes de l'évolution des différents besoins dans le temps. Avec ces informations, on pourra déterminer et mettre en place l'exploitation de ressources non conventionnelles afin de répondre à la majorité des besoins en eau locaux.

Schéma 5: Cycle court d'usages de l'eau avec réutilisation et facteurs clés.



Source : Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GREC-PACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juillet 2017, 52 pages. ISBN : 9782956006053.

Bien que l'on puisse penser que la ressource en eau issue des mers et des océans est inépuisable et de fait peut être dessalée et répondre à tous nos besoins en eau, il ne sera possible de dessaler que l'équivalent de 10% de nos besoins car le processus de dessalement est énergivore et présente des risques environnementaux liés aux rejets de sel et de produits chimiques.

Concernant les eaux pluviales (EP), leur **stockage** présente un réel intérêt, aussi bien à grande échelle, avec la mise en place de grands réservoirs de stockage associés à des canaux de distribution, qu'à plus petite échelle (villes, quartiers, villages, maisons individuelles) avec récupération des EP en toiture (pour des questions de qualité) pour un usage ne nécessitant pas de traitement (arrosage des espaces verts ou nettoyage des voiries, ou encore WC, lave-linge, etc).

Enfin, la réutilisation des eaux usées, qui se fait aujourd'hui en agriculture depuis plusieurs décennies, pourrait réduire nos consommations d'eau domestique de 50 % (c'est le cas au Japon).

Ces solutions permettraient la recharge des aquifères côtiers qui souffrent aujourd'hui de prélèvements croissants et d'une imperméabilisation des sols très forte due à l'urbanisation en très forte hausse, provoquant l'augmentation du biseau* salé.

Dans le cadre d'une gestion durable l'eau, il faut considérer toutes les ressources - conventionnelles et non conventionnelles - avec pour chacune, des spécificités, des qualités et des quantités à mesurer. Pour cela, il faut aussi que le cadre législatif français sur la réutilisation des eaux usées traitées évolue rapidement de façon à permettre de sortir du cadre actuel qui est restrictif et qui n'encourage pas la prise en place de projets d'envergure tel que c'est le cas dans de nombreux pays, notamment en Europe (Espagne, Italie, Portugal).

On pourrait aussi produire de l'énergie grâce à la chaleur des eaux usées. Par exemple, Engie Réseaux met en place un système de récupération des calories au passage des eaux usées (issues des lave-linge et lave-vaisselle par exemple) sur une plaque métallique qui intègre des tuyaux en inox parcourus par un fluide caloporteur. C'est donc une énergie locale de récupération qui permet de chauffer des bâtiments de proximité. La température des eaux usées est généralement comprise entre 12°C et 20°C (selon le moment de la journée et les saisons) et il faudrait un débit notable pour mettre en place ce dispositif dans les égouts. Le rendement est tel que des eaux usées issues de 100 habitants permettrait le chauffage pour 10 habitants.



c/ Concernant la végétation

« L'effet de la gestion forestière sur la préservation de la ressource en eau

Dans les climats arides ou semi-arides, le développement de forêts denses, par plantation ou par un contrôle renforcé des feux par l'homme, peut conduire à une diminution des ressources locales en eau : la forte demande en eau des arbres contribue à une baisse accentuée des nappes phréatiques en saison sèche, et à des étiages ou assèchements prolongés pour les rivières. Même si la forêt dense contribue à limiter le ruissellement et accroît l'infiltration de l'eau dans le sol, elle n'est pas plus performante sur ces points qu'une végétation de type forêt claire, savane arborée ou garrigue dense. L'effet de la densité forestière sur la ressource en eau pourrait donc émerger localement comme un enjeu d'importance dans certains bassins versants méditerranéens. D'autant que dans un contexte de forêt plus sensible au feu et à la sécheresse, le contrôle de la compétition entre arbres et de la quantité de biomasse combustible peut constituer un élément clé de la gestion adaptative. Certains pays ont déjà lancé pour cela des campagnes de retour à des végétations arbustives naturelles en éliminant progressivement des reboisements denses réalisés dans le passé. »

Source: Zoom 5 du Cahier du GREC PACA : Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GREC-PACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juillet 2017, 52 pages. ISBN : 9782956006053

d/ Prise en compte de l'empreinte eau

« L'eau virtuelle » : un nouveau concept qui permet d'établir un lien entre la production agricole et industrielle et l'utilisation des ressources en eau, directe et indirecte. On comprend ainsi la notion de « l'empreinte eau », qui permet de comptabiliser l'utilisation de la ressource en eau directe et indirecte dans l'activité humaine (à l'échelle individuelle et globale).

Pour évaluer l'impact environnemental de ces consommations d'eau liées à l'activité humaine au sens large, différentes catégories « d'eau virtuelle » ont été déterminées :

- L'eau verte : l'eau de pluie consommée localement par la production agricole
- L'eau bleue : l'eau prélevée dans l'environnement (eau de surface ou souterraine) pour être acheminée sur le lieu de production
- L'eau grise : permet d'estimer l'impact des activités humaines en termes de pollution : c'est la quantité d'eau nécessaire pour diluer une pollution jusqu'à revenir à des concentrations acceptables (difficile à utiliser)

Bien que 92 % de l'empreinte eau soient liés au secteur agricole, il serait intéressant de prendre en compte ce critère dans le BTP.

Encore peu utilisée, la notion d'empreinte eau est un outil particulièrement intéressant pour contribuer à évaluer la durabilité environnementale et économique des activités humaines.

Pour en savoir plus : <http://waterfootprint.org/>

Conclusions

Dans le cas du scénario climatique médian, les débits annuels moyens, la recharge des aquifères, ou l'humidité du sol, seront probablement tous affectés par une diminution comprise entre 10 et 30 % d'ici 2050 (et pire d'ici 2100). La diminution des débits variera suivant les périodes de l'année. En effet, le printemps et l'été seront plus particulièrement touchés, avec une diminution des débits pouvant atteindre 50 % en raison d'une sécheresse estivale plus intense et plus longue. La diminution du manteau

neigeux (de plus de 50 % au-dessous de 1800m) et sa fonte plus précoce influenceront aussi sur les diminutions de débit estivales et printanières.

Il va aussi falloir intégrer et prendre en compte les écosystèmes aquatiques dans les mesures d'adaptation. En effet, une attention toute particulière doit être portée à la protection et la conservation de la biodiversité de ces écosystèmes déjà fortement impactés par les activités humaines (prélèvements, rejets, artification des cours d'eau, etc.).

En somme, il s'avère nécessaire aujourd'hui d'intégrer les enjeux de l'eau dans l'aménagement du territoire, afin d'assurer une gestion durable de la ressource et des milieux aquatiques.

2. ADAPTATION DU LITTORAL

Aujourd'hui, il y a une requalification des espaces publics littoraux mais elle ne prend pas en compte le changement climatique. L'aménagement des espaces littoraux peuvent servir à la réduction de la vulnérabilité face aux risques d'inondation, croissants avec le changement climatique. (voir exemple de projet à Martigues, aménagement d'un parking sur le littoral qui prend en compte les risques d'inondation)

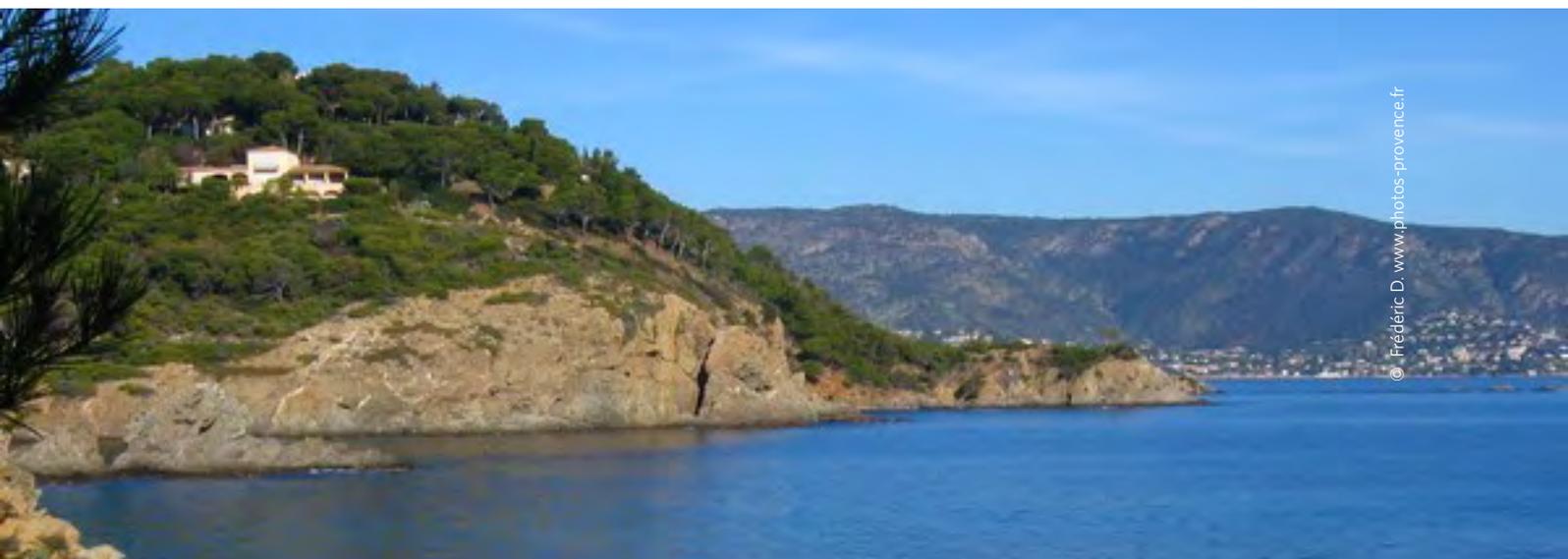
L'augmentation de la température de l'air en période estivale dans les années à venir va engendrer une fréquentation accrue des espaces littoraux, par recherche de fraîcheur (par les habitants – le tourisme diminuant l'été en cas d'augmentation forte de la chaleur dans la région). L'accessibilité de ces zones constitue donc un enjeu futur pour le territoire (notamment pour la métropole Aix-Marseille, où l'urbanisation est dense). Ainsi, l'aménagement des espaces publics serait un levier pour mieux gérer la fréquentation de ces zones et encourager les déplacements par voies douces ou les transports en commun, réduisant ainsi les émissions de GES. Le développement des plages urbaines est aussi un point stratégique car les besoins croissants de rafraîchissement se font ressentir. De plus, favoriser les plages urbaines (redéfinition du littoral en tant que bande « naturelle ») permettrait d'anticiper la montée des eaux et garantir la sécurité des personnes.

On l'a bien compris, les effets du changement climatique sur les zones littorales concernent l'intensité des risques naturels tels que la submersion marine et l'érosion côtière, dues à l'augmentation du niveau de la mer.

Toutefois, il est notable aujourd'hui que les ouvrages de défense ont un impact sur les milieux naturels côtiers. Ainsi, l'adaptation à la mouvance du trait de côte est une notion de plus en plus acceptée, tout comme l'idée d'une recomposition spatiale des territoires, par déplacement des enjeux menacés. Ces nouvelles stratégies permettent donc de repenser le territoire littoral et son aménagement en l'adaptant aux conséquences du changement climatique et ainsi arrêter l'urbanisation des zones les plus proches de la mer (les plus vulnérables) et/ou rechercher des solutions pour les zones déjà construites et potentiellement sujetes à la submersion (comme c'est le cas par exemple à Marseille).

Ainsi, les zones non construites sont de plus en plus protégées et préservées. Néanmoins, les territoires littoraux sont déjà très urbanisés, avec comme exemple 98 % du trait de côte bâti dans les Alpes-Maritimes.

👉 Retrouvez à la fin, le Zoom 7 du Cahier du GREC PACA sur le littoral.



3. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'eau de mer présente une énergie potentielle (cinétique, thermique et chimique) qui pourrait servir à produire de l'électricité, de l'énergie thermique ou de l'eau potable. Les énergies marines renouvelables (EMR) présentent un fort potentiel pour lutter contre le changement climatique (des projets sont mis en place et verront le jour dans les années à venir). Ces EMR présentent néanmoins des limites, notamment juridiques, économiques, environnementales-impact potentiel sur les écosystèmes marins ou sur le paysage).

Aux EMR s'ajoutent évidemment les EnR terrestres, qui présentent un vrai potentiel en PACA (3ème région hydraulique, 3ème pour le solaire photovoltaïque, 1ère pour le solaire thermique, selon l'ORECA). Aujourd'hui, 64 % de l'énergie produite en PACA est issue d'EnR. La région est moins bien classée pour l'éolien mais elle présente quand même 8 parcs. La biomasse est également l'un des secteurs énergétiques les plus actifs en PACA. La production des EnR devrait de plus augmenter, dans le cadre de la transition énergétique. Le développement des smart grids devrait aussi participer à cette révolution en optimisant les fonctionnement et la gestion des systèmes électriques (nouveaux usages, stockage, intermittence des EnR, etc.).



4. ADAPTATION ET COÛTS

L'adaptation, la protection et/ou la restitution contre les risques environnementaux ont inévitablement un coût, et c'est un aspect que l'on ne peut ni éviter, ni négliger.

Ainsi, on peut lister les coûts concernant les éléments du tableau suivant.

Tableau 10 : liste des éléments engendrant des coûts.

PHÉNOMÈNE LIÉ AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	MOYENS FINANCIERS À METTRE EN ŒUVRE CONCERNANT...
Montée des eaux et des températures	Infrastructures côtières
Acidification des océans	Limiter l'impact de ce phénomène en mettant en œuvre des actions ou des mesures
Perte de biodiversité	Perte d'attractivité touristique et diminution des espèces comestibles et commerciales
Espèces invasives	Modification des écosystèmes et fragilisation d'espèces marines (il est indispensable d'investir financièrement pour limiter les dégâts)
Perte de protection côtière	Localisation et quantification des déchets pour évaluer les impacts (ramassage de déchets, lutte contre urbanisation du littoral, etc.)
Pollution (marine ou de l'air)	Campagnes de sensibilisation du public, mécanismes de dépollution
Émissions de GES	Production d'ENR
Surpêche (1 espèce sur 3 disparaît à cause de la pêche industrielle aujourd'hui)	Emplois perdus suite à la disparition des espèces, création de récifs artificiels pour accueillir les espèces (par exemple)

La mer et le littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2017, 48 pages. ISBN : 9782956006046

Le coût de l'inaction est aussi à considérer car plus on retarde les actions plus le coût des impacts sera important. En effet, les coûts de l'inaction ne sont pas immédiats mais les dégradations de l'environnement et autres dommages dus à l'absence de mesures auront un coût très élevé. Ce coût sera lié à la perte de biodiversité et à la santé humaine.

Pour conclure

Recommandations pour l'aménagement du territoire :

- ne pas construire en bordure du littoral pour éviter la submersion, le renforcement ou le déplacement de l'érosion ;
- maîtriser l'urbanisation des côtes ;
- favoriser une gestion du trait de côte plus souple et les aménagements intérieurs pour diminuer les coûts ;
- concevoir les espaces urbains et le bâti dans une logique d'habitat durable ;
- repenser l'aménagement et l'urbanisme des espaces publics et privés littoraux.

CHAPITRE 6

OUVERTURE: DES EXEMPLES, IDÉES ET SOLUTIONS ISSUES DE SCIENTIFIQUES & PAYS ÉTRANGERS, APPLICABLE EN RÉGION PACA

1. INSPIRATIONS ISSUES DE TEDTALKS

a/ David SEDLAK: 4 solutions pour répondre à une future pénurie d'eau



Image 17: David SEDLAK: "4 ways we can avoid a catastrophic drought"

Source: https://www.ted.com/talks/david_sedlak_4_ways_we_can_avoid_a_catastrophic_drought

David SEDLAK, ingénieur dans le génie civil et l'environnement, présente dans un TedTalk quatre façons de répondre aux enjeux de manque de ressource en eau, en utilisant l'image de quatre robinets à ouvrir. En effet, il donne quatre points d'action pour résoudre les problèmes de pénurie d'eau, qui se feront de plus en plus fréquentes en conséquence du changement climatique.

Les voici :

1/ La récupération d'eau de pluie: perméabiliser les sols permettraient de récupérer l'eau de pluie et l'emmagasiner, la nettoyer et la stocker sous terre de façon natu-

relle. En guise d'exemple de projet de grande ampleur, voir le projet Burbank water tank, en Californie.

2/ Le recyclage et la réutilisation de l'eau : traiter les eaux usées afin de rendre cette eau potable permettrait de faire de grandes économies d'eau. Ceci permettrait d'économiser 40 % d'eau. En guise d'exemple de projet de grande ampleur, voir le projet sur the Santa Ana river, aussi en Californie.

3/ La conservation de l'eau : économiser l'eau que l'on destine à l'arrosage (en Californie, la moitié de la consommation d'eau domestique est destinée à l'arrosage). Il faut donc réformer la végétalisation des logements pour adapter et mettre des végétaux qui consomment peu. Il faut aussi avoir des dispositifs performants de stockage de l'eau à petite échelle. Ceci permettrait de réduire notre consommation d'eau de 50 % en matière d'arrosage et permettrait de destiner 25 % d'eau en plus à un autre usage.

4/ La désalinisation de l'eau de mer : c'est une méthode qui consomme beaucoup d'énergie et qui a un impact environnemental conséquent, bien qu'il y a des nouvelles méthodes qui consomment moins. Cette solution est intéressante dans le cadre du changement climatique avec la montée du niveau des eaux, mais elle est à développer à moindre mesure afin de ne pas avoir un effet en contradiction avec les réductions de consommations énergétiques.

Schéma récapitulatif :



1. La récupération d'eau de pluie



2. Le recyclage et la réutilisation de l'eau



3. La conservation de l'eau



4. La désalinisation de l'eau de mer

Image 18 : « Les quatre robinets à ouvrir » afin d'éviter les risques liés à la sécheresse.

Source : Emily Deydier, EnvirobatBDM.

b/ Jill FERRANT : les plantes de la résurrection



Image 19: Jill FERRANT : "how we can make crops survive without water"

Source: https://www.ted.com/talks/jill_ferrant_how_we_can_make_crops_survive_without_water

Jill FERRANT, professeur de biologie cellulaire et moléculaire, présente dans un Te-dTalk une variété de plantes très particulières: les plantes de la résurrection, qui sont des plantes qui peuvent s'assécher et perdre 95% de leur eau sans mourir. En PACA, ces plantes pourraient être utiles lors d'épisodes de sécheresse. Il ne serait alors pas nécessaire d'arroser ces plantes, qui survivront aussi bien de fortes et/ou fréquentes précipitations que des épisodes de forte et/ ou longue sécheresse. Néanmoins, une plante qui a de faibles besoins en eau a un faible pouvoir rafraîchissant car présente peu d'évapotranspiration.



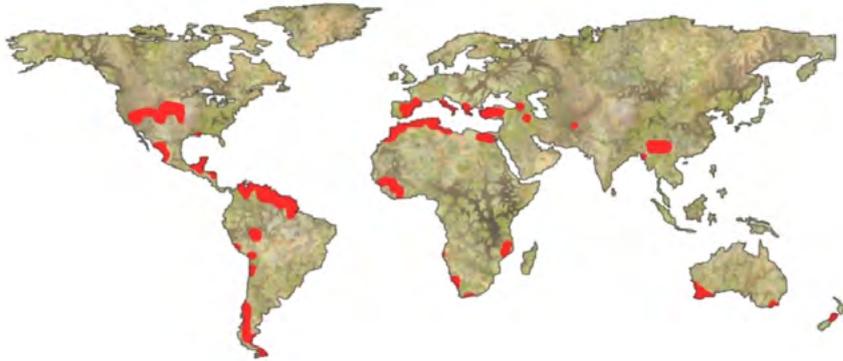
Image 20: Exemple de plante de la résurrection: la *Selaginella lepidophylla*.

Source: Wikipedia.

Par ailleurs, ce qui est intéressant est que la capacité de ces plantes à perdre autant d'eau est étudiée afin de l'imiter pour des plantes plus communes, notamment pour les espèces de culture comme le blé. En effet, le changement climatique va poser de réels problèmes à l'agriculture actuelle. Comme on peut le voir sur les cartes ci-dessous, les zones propices à l'agriculture vont fortement diminuer d'ici 2050.

Les zones rouges ci-dessous représentent les zones qui furent auparavant des terres agricoles et qui aujourd'hui ne peuvent plus être cultivées dû à des problèmes de sécheresse.

Aujourd'hui :



En 2050 :



Images 21 et 22: Cartes du monde recensant les zones non exploitables pour l'agriculture aujourd'hui et en 2050 (scénario médian).

Source : https://www.ted.com/talks/jill_farrant_how_we_can_make_crops_survive_without_water

2. INSPIRATIONS D'AUTRES PAYS

L'intérêt de cette partie est de démontrer que beaucoup de choses sont mises en place dans d'autres régions du monde, dont on peut de ce fait s'inspirer. Les exemples qui vont suivre concernent un pays exemplaire en termes d'émissions carbone, et un autre qui a une économie similaire à la notre et qui portant fait mieux que nous en termes de transition écologique.

a/ Le Bhoutan

Le Bhoutan est un pays situé en Asie du sud-est de moins de 40 000 km². La région PACA faisant plus de 30 000 km², on peut estimer que ces deux zones ont des superficies significativement proches. Ainsi, il n'est pas abérant de les comparer.



Image 23 : Localisation géographique du Bhoutan

Source : Google Maps

Le Bhoutan est un pays extrêmement intéressant car il est à empreinte carbone négative. Cela est dû au fait que 72 % du territoire est constitué de forêts, le pays s'étant de plus engagé à ne jamais avoir moins de 60 % de surface forestière (c'est inscrit dans la Constitution). Il est le seul pays à émissions carbone négatives au monde, notamment grâce à leur production (et exportation) d'énergie hydraulique (ENR). La forêt élimine trois fois la quantité de CO₂ rejeté par l'activité du pays. Ces deux éléments sont les raisons pour lesquelles leur bilan carbone est négatif.

De plus, le pays a mis en place des trames vertes et bleues sur la totalité de son territoire, comme l'on peut le voir sur la carte suivante. En effet, les parcs naturels, qui sont des zones protégées, sont reliés entre eux par des « couloirs biologiques » afin d'assurer la libre circulation des espèces sur tout le territoire national.

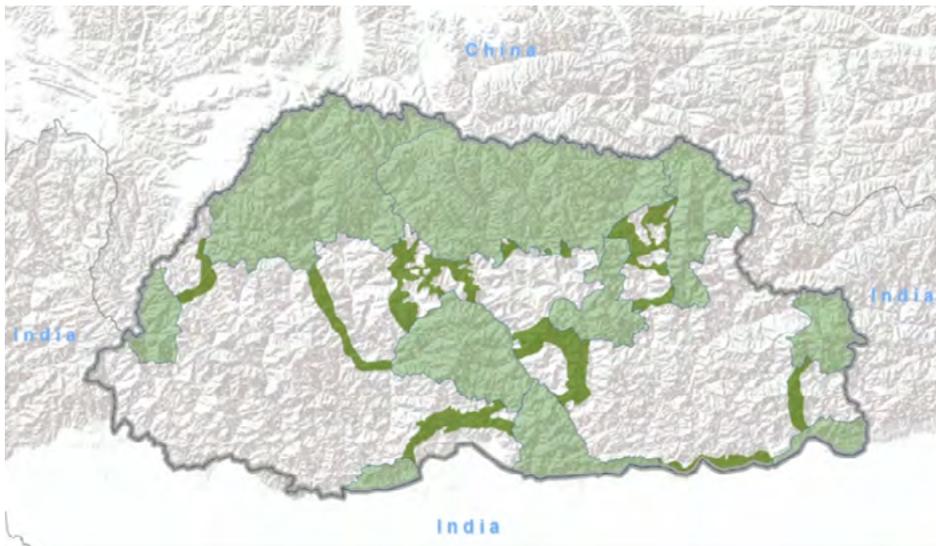


Image 24: Carte de Bhoutan présentant les parcs naturels nationaux en vert clair et les « corridors biologiques », liaisons naturelles entre les parcs en vert foncé

Source : TedTalk de Tshering TOBGAY, premier ministre de Bhoutan

Ces dispositions sont semblables à la mesure française de Trame Verte et Bleue (TVB) issue du Grenelle Environnement. C'est un outil régional d'aménagement du territoire qui permet de conserver la biodiversité à l'échelle nationale en préservant et restaurant des continuités écologiques. La TVB est un ensemble de zones vitales/ réservoirs de biodiversité et de corridors qui les relient, permettant la circulation des espèces.

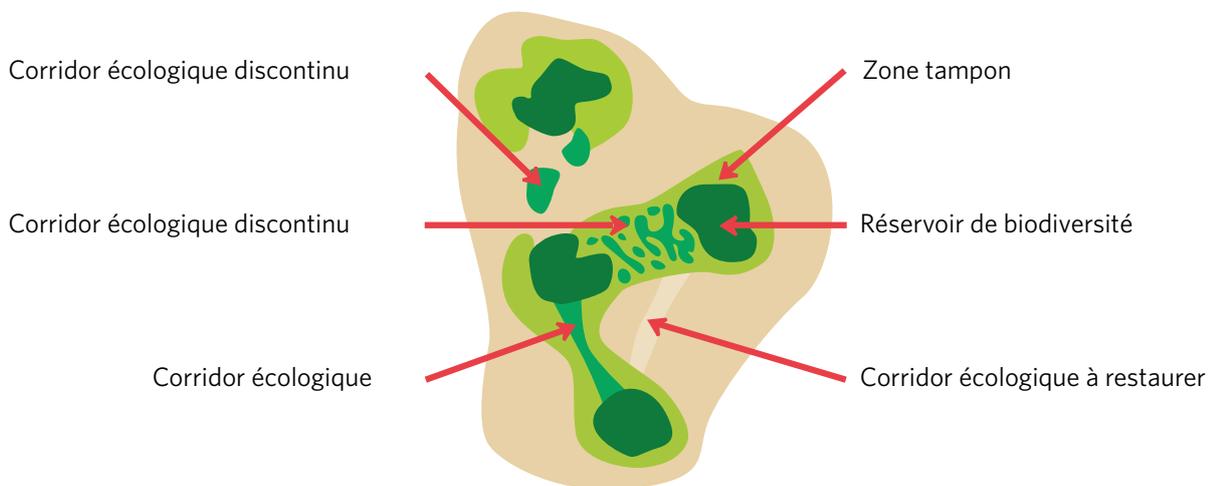


Image 25: Méthodologie d'élaboration de TVB

Source : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/continuites-ecologiques-et-trame-verte-et-bleue-r347.html>

Un Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE) a été élaboré (à intégrer dans le SCoT - Schéma de Cohérence Territoriale):

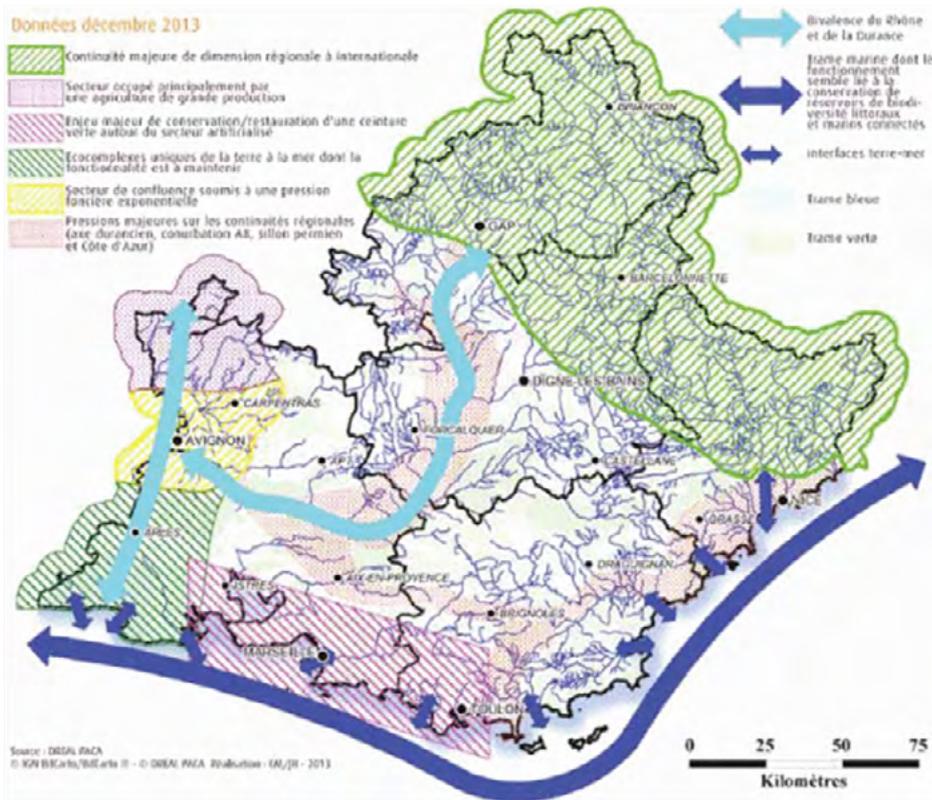


Image 26 : SRCE PACA.

Source : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/3-de-nouvelles-politiques-pour-aller-plus-loin-a8836.html>

b/ Perspectives d'évolution de la France vis-à-vis de l'Europe

Pour envisager les perspectives d'évolution de la France en matière d'adaptation et d'atténuation, il est utile de se comparer à nos voisins, qui sont comme nous soumis à des réglementations européennes, et qui sont comparables à la France en termes de développement, d'économie et du point de vue social (modes de vie).

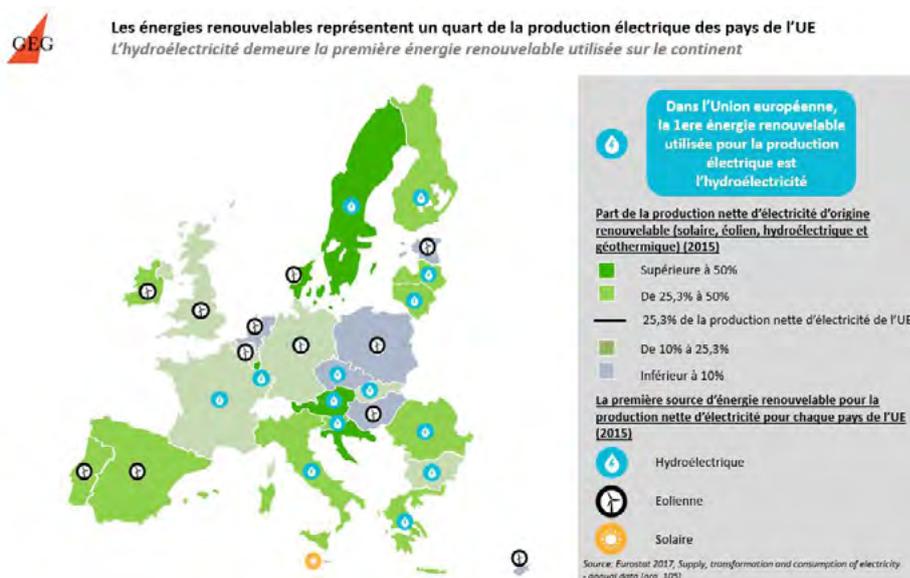


Image 27 : Part des énergies renouvelables dans la production d'électricité en Europe.

Source : <https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe>



Les énergies fossiles représentent près de la moitié de la production électrique européenne
Les îles ainsi que les pays sans énergie nucléaire ont le plus recours aux énergies fossiles

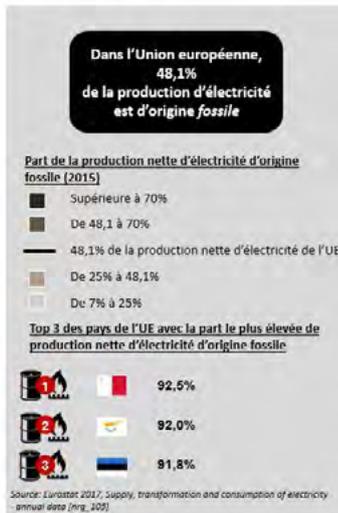


Image 28 : Part des énergies fossiles dans la production d'électricité en Europe.

Source : <https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe>



Le nucléaire représente un quart de la production électrique européenne
La France est le pays ayant le plus recours à la technologie nucléaire pour sa production d'électricité

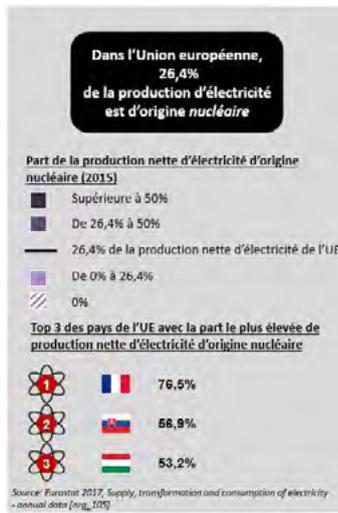


Image 29 : Part du nucléaire dans la production d'électricité en Europe.

Source : <https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe>



L'hydroélectricité représente un dixième de la production électrique européenne
Significatif au Sud et au Nord de l'UE, l'hydroélectricité est absent des plaines centrales

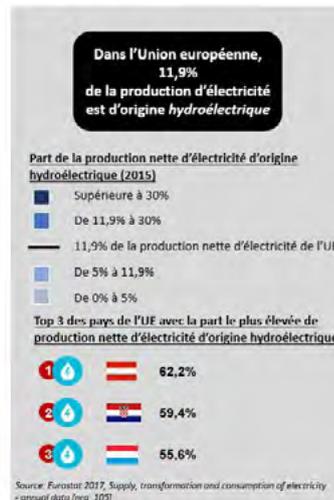


Image 30: Part de l'hydroélectricité dans la production d'électricité en Europe.

Source: <https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe>



L'éolien représente un dixième de la production électrique européenne
La France fait figure d'exception sur une façade atlantique européenne convertie à l'éolien

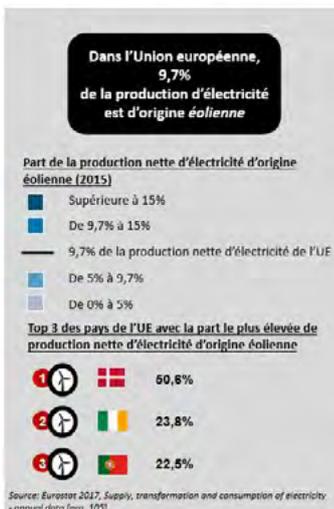


Image 31: Part de l'éolien dans la production d'électricité en Europe.

Source: <https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe>



Le solaire ne représente que 3,5% de la production électrique européenne
En dépit de la croissance de la dernière décennie, le solaire ne joue qu'un rôle minime au niveau agrégé

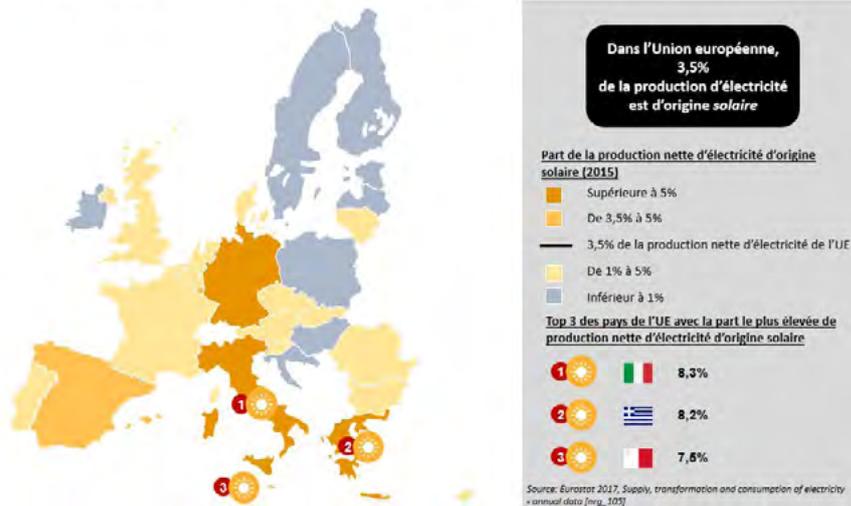


Image 32: Part du solaire dans la production d'électricité en Europe.

Source: <https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe/>

Ainsi, toutes ces cartes montrent la place de la France en Europe en termes de production d'électricité. Si elle utilise peu d'énergies fossiles, elle reste le numéro un en nucléaire et est en dessous de toutes les moyennes nettes de production d'EnR européennes.

CHAPITRE 7

ZOOM SUR L'ILOT DE CHALEUR URBAIN (ICU)

1. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LE MILIEU URBAIN

a/ Enjeux généraux

L'aménagement du territoire, la conception de nos villes, nos usages de l'espace et des bâtiments sont intimement liés à notre climat. Nos choix dans ces domaines ont un impact important sur nos émissions de GES, à travers, par exemple, nos déplacements ou nos besoins de chauffage et de refroidissement.

Il y a différentes échelles pour analyser le climat urbain :

- l'échelle du microclimat urbain (ou « canyon urbain ») : de quelques centimètres à quelques mètres, de quelques minutes à quelques heures
- l'échelle du quartier ou du climat local urbain : quelques kilomètres, quelques heures/jours
- l'échelle de l'agglomération : plusieurs kilomètres, plusieurs jours, mois, années

Spécificités du climat urbain :

- Une température plus élevée que dans les zones rurales (surtout en fin de journée et la nuit),
- Des vents spécifiques (brises thermiques : issues de la différence de température dans les basses couches de l'atmosphère, accentuées par les contrastes terre/mer, montagne/vallée présents en PACA)
- La présence de pollution urbaine
- Insolation affectée par les effets de masques



b/ Enjeux méditerranéens

Dans les agglomérations de la région PACA, il y a une présence de vent d'ouest (le Mistral) mais étant donné qu'elles sont majoritairement en littoral, il peut aussi y avoir des brises mer-terre (mais celles-ci recyclent l'air pollué, contrairement au Mistral qui rafraîchi et renouvelle l'air).

En PACA, l'enjeu est de taille, car 80 % de la population vit dans les pôles urbains (c'est-à-dire Aix-Marseille, Nice, Toulon et Avignon). De fait, trois habitants sur quatre habitent sur 10 % du territoire, selon l'INSEE.

La configuration spatiale et géographique des villes méditerranéennes est la suivante : proximité du littoral, forte demande en eau, climat favorable aux sécheresses en été et aux événements météorologiques extrêmes tels que les pluies intenses.

Ajoutant à cela une forte croissance de ces villes, ces dernières sont considérées comme des zones particulièrement vulnérables au changement climatique (des « hot-spots »).

Le cas du moustique Tigre

Au sujet des moustiques vecteurs de maladies, l'expansion urbaine et de ses réseaux de circulation jouent un rôle prépondérant et le changement climatique va être un facteur d'aggravation de la dispersion de ces moustiques. En effet, les transports vont être un facteur d'introduction et de dispersion, et les formes urbaines des facteurs d'installation (le moustique tigre par exemple affectionne les récipients d'eau telles que les récupérateurs d'eau de pluie, les soucoupes des pots de fleur, et tout ce qui est présent dans les jardins et même les bâtiments - toits végétalisés, gouttières, etc.). C'est d'ailleurs pourquoi il existe déjà un critère déjà sur la stagnation de l'eau dans nos systèmes d'évaluation.

NB : les modélisations récentes ont montré que la diffusion du moustique tigre dans nos régions dépendent davantage des activités humaines, et notamment le transport, et de l'occupation de sols, que du changement climatique. (donc il faut s'y adapter avec critères comme « pas d'eaux stagnantes » mais pas directement lié au CC).



c/ Quel avenir pour les zones urbaines ?

Les quatre questions à se poser au sujet de l'avenir des zones urbaines :

Étalement urbain ou densification ?

À savoir que concernant le changement climatique, il faut dès à présent prendre en compte la question de la gestion du littoral ; penser à des alternatives en termes de gestion et d'économie de l'espace afin d'optimiser les réseaux et les ressources ; il faut maîtriser les flux (de l'eau notamment, au sujet de son évacuation et son approvisionnement) ; il faut réduire les consommations d'énergie des espaces publics et collectifs, utiliser les EnR et optimiser les ressources énergétiques.

Réduire la mobilité ou densifier les transports ?

La mobilité impacte fortement le changement climatique, et dépend aussi fortement de l'étalement et de la forme de l'urbain. Ainsi, il faut penser à la restructuration de l'urbain, de son organisation, en associant les lieux de vie aux lieux d'activité et de production/consommation (c'est la réduction de la mobilité). Il faut aussi en parallèle penser à la « rationalisation des transport », qui signifie la diminution des distances, l'optimisation énergétique des transports et le développement des transports non polluants (comme le vélo). Cela permettra de diminuer les nuisances et la pollution liées au transport.

Urbanisme technique ou écosystémique ?

Un urbanisme technique est l'idée d'une ville « zéro carbone » où la technologie va permettre de maîtriser la thermique, l'énergie, les transports et les déchets afin de réduire l'empreinte carbone de la ville (exemples : Abu Dhabi, Dubaï).

Un urbanisme écosystémique répond à l'échec du premier, en préservant et en revalorisant la biodiversité et la nature en ville (corridors écologiques, trames vertes et bleues, écoquartiers, réhabilitation, etc.).

Ces deux options ne sont évidemment pas contradictoires et doivent se développer simultanément afin de permettre la « transition urbaine ».

Fragmentations ou continuités ?

La fragmentation peut être « néfaste en termes de mobilité et maîtrise des flux, d'inégalités sociales et environnementales » mais elle peut aussi « jouer un rôle dans le maintien de la biodiversité et aider à la régulation climatique ».



2. L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

a/ Généralités

L'ICU, qui se traduit par des températures plus élevées en ville qu'ailleurs, est dû à :

- L'absorption plus forte du rayonnement solaire par les surfaces (albédo)
- La ségrégation environnementale et spatiale
- Le stockage de chaleur dans le sol qui est effusif et sa restitution la nuit
- La diminution de la vitesse de l'air (due à la rugosité), réduisant le refroidissement par convection
- La raréfaction des espaces humides, réduisant le refroidissement par évaporation
- L'effet de serre, réduisant le refroidissement par rayonnement thermique
- Le dégagement de chaleur issue de la consommation énergétique.

👉 Retrouvez à la fin, le Zoom 5 du Cahier du GREC PACA sur le climat.

b/ L'ICU en Méditerranée

Les ICU en PACA ont une intensité assez faible car il y a un contraste modéré entre zones urbaines et rurales et parce que, dans les agglomérations littorales, le contact terre-mer et le relief proche exercent une influence plus forte en comparaison à l'interface ville/campagne. Ainsi, l'ICU peut être lié à la topographie plus qu'à la ville.



c/ Lutter contre l'îlot de Chaleur Urbain

L'ICU varie dans l'espace (il peut être fractionné) et dans le temps: il fait même place, surtout en été, le matin, à un îlot de fraîcheur, grâce à l'ombre des bâtiments retardant l'échauffement diurne, en particulier là où les rues sont étroites. L'intensité de l'ICU s'accroît durant l'après-midi et devient maximale en soirée et la nuit.

On peut mesurer l'ICU de différentes façons, qui sont :

- L'ICU de surface, mesuré grâce à des télédéTECTEURS utilisant des thermographies infrarouges (c'est une température de surface, ce qui est très différent de la température de l'air). Exemples : parkings, toits, rues, etc.
- L'ICU de l'air ambiant, mesuré sous abri dans des stations météorologiques (très rares en ville) en fin de nuit et début d'après-midi
- L'ICU de l'air au-dessus des toits, sur une épaisseur de 20 à 300 m environs, est le plus délicat à mesurer car il n'y a pas d'instruments fixes

L'enjeu majeur au cours du siècle sera de réduire l'effet d'ICU. Pour le réduire, différentes actions sont possibles :

- La végétalisation des villes (limites : besoins en eau)
- La brumisation des espaces en fin d'après-midi pour accentuer le refroidissement nocturne (très bon effet rafraîchissant, permettra de soustraire les végétaux urbains au stress thermique qui devrait s'aggraver, mais limites : besoins en eau encore plus importants)
- L'augmentation de l'albédo (freecooling - peintures blanches réfléchissantes; ombrages des voiries, etc. afin de lutter contre les échauffements diurnes)
- L'agriculture urbaine (potager sur tous les espaces libres et terrasses accessibles; meilleure solution d'après le GREC car allie tous les avantages précédents)

Des éléments capables de drainer l'air chaud vers le haut et donc modifiant la température en ville sont :

- La couleur des matériaux de revêtement de surface
- La typologie des matériaux (occupation du sol)
- La densité du bâti
- La hauteur des constructions (les bâtiments hauts et étroits sont plus performants)
- La largeur des rues (les rues étroites permettent de s'abriter du rayonnement solaire et sont donc plus fraîches)
- L'orientation des avenues par rapport au soleil et aux vents dominants
- L'implantation des espaces végétalisés et de points d'eau (fontaines aux miroirs d'eau par exemple)

Ces solutions modifient la température car elles influent sur la réflexion et l'absorption du rayonnement solaire et sur le couple évaporation-condensation.

 Retrouvez à la fin, le Zoom 1 du Cahier Climat et ville du GREC PACA.

Le cas de la végétalisation

La réponse à l'ICU est la présence d'ombres et le refroidissement par évaporation (évapotranspiration), et la végétation fournit ces deux solutions à la fois.

Il y a plusieurs échelles pour considérer la végétation en ville :

- L'ICU étant à l'échelle de la ville, il faut aussi considérer la végétation à l'échelle de la ville pour qu'elle lutte efficacement contre celui-ci. Il faut alors considérer la végétation horizontale (qui reçoit le plus de rayonnement solaire en été) mais aussi la végétation verticale (notamment à l'ouest, l'hiver). À cette échelle, le paysage urbain serait transformé.
- À l'échelle du quartier, on peut considérer des parcs, qui impacteront la température moyenne du voisinage
- À l'échelle de la rue, la végétation aura un impact direct sur nos déplacements et notre confort en rafraîchissant l'air ambiant mais aussi en fournissant de l'ombre
- À l'échelle du bâtiment, la végétation aura un impact sur les occupants. Elle correspond à des « mini-parcs », des plantations pots et des potagers

Un problème se pose quant à la végétalisation de l'espace urbain : l'entretien. D'abord au sujet de la responsabilité : qui va se charger de l'entretien quotidien des espaces verts ? Puis surtout, comment gérer l'apport en eau ? Car sans eau, le phénomène d'évapotranspiration est nul, et chez les plantes peu consommatrices d'eau aussi. Or nous l'avons vu, la sécheresse et la raréfaction de l'eau sont des conséquences majeures du changement climatique en région PACA. Répondre à cette problématique est un réel enjeu aujourd'hui car il ne semble pas y avoir de réponse à ce jour.

Il faut donc se questionner sur l'effet de l'incorporation de végétation urbaine sur les toits, les murs et dans les espaces publics pour lutter contre l'ICU. En effet, son efficacité peut être limitée en méditerranée car la végétation méditerranéenne a une faible évapotranspiration ce qui limite son pouvoir rafraîchissant (à moins d'apporter beaucoup d'eau). Et implanter des espèces non locales, avec un plus grand pouvoir d'évapotranspiration, serait une absurdité, un contre sens.



Les microclimats urbains dans les politiques publiques :

- PCET (plans climat-énergie territoriaux)
- Planification de la trame verte et bleue
- « chartes de l'arbre »

Exemple d'étude récent fait par Euromed : étude de l'impact d'un aménagement urbain en période de canicule à Marseille

L'augmentation de la température va accentuer l'effet d'ICU en ville, notamment à Marseille. L'établissement public d'aménagement EuroMéditerranée chargé de la réhabilitation urbaine de Marseille a donc voulu évaluer certains impacts pour lutter contre l'effet d'ICU. Ils ont évalué les impacts :

- Du parc urbain créé à l'emplacement de la gare de triage du Canet
- De l'utilisation d'un système de climatisation innovant : une pompe à chaleur couplée à une boucle à eau de mer connectée à l'eau profonde de la Méditerranée au large de celle-ci (thalassothermie)
- De l'éventuelle modification du pouvoir réfléchissant des murs

Ainsi, les différences observées entre l'état actuel de la ville et celui d'Euromed sont surtout notables pour le parc urbain, qui permet un rafraîchissement moyen d'environ 4°C, avec un maximum de 6.5°C la nuit. Cette influence sur les températures n'exède pas 100 m mais le parc étant allongé, il permet de modifier le climat local de 30 % de la surface totale du projet (couvre une plus grande surface bien que n'allant pas loin). La présence de jardins est le levier le plus fort pour limiter la canicule (diminution de 1°C). De plus, la thalassothermie (qui remplace la climatisation classique) permet aussi de limiter l'augmentation de la température mais de manière 2 à 3 fois moindre que les jardins. Enfin, la limitation du pouvoir réfléchissant des murs à Marseille a un effet plutôt limité sur la baisse de la température et peut même être contreproductif dans les quartiers d'affaires.

d/ L'agriculture périurbaine

L'agriculture périurbaine a un rôle important à jouer dans la lutte contre le changement climatique, tant dans la stratégie d'atténuation que dans celle d'adaptation à celui-ci. En effet, l'agriculture périurbaine permet de rapprocher les lieux de production du consommateur, ce qui permet de réduire les intermédiaires et le bilan Carbone. Cela permet aussi de conserver une part de biodiversité et de rapprocher la nature de la ville. Enfin, l'agriculture périurbaine voire urbaine permettra de lutter contre les ICU et les vagues de chaleur (végétalisation de la ville).

Des pistes d'actions peuvent être :

- L'élaboration de Chartes Agricoles permettant de maîtriser la qualité de l'agriculture périurbaine et les paysages (plutôt destiné aux élus qu'aux acteurs du BTP)
- De soutenir la mise en place de circuits courts et de les promouvoir
- De développer des liaisons douces périurbaines « à travers champs »
- De développer et soutenir des actions associatives sur les thèmes des jardins respectueux de l'environnement



CHAPITRE 8

INTÉGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES DÉMARCHES BDM ET QDM : PROPOSITION DE CRITÈRES

Dans cette partie seront exposés les résultats du travail d'élaboration de critères effectué par moi-même et voté par les acteurs du réseau EnvirobatBDM qui le souhaitaient. C'est un bilan des échanges qu'il y a eu lors d'un groupe de travail qui a eu lieu le 25 juin 2018.

Tableau 11 : critères BDM et QDM commentés lors du groupe de travail autour du changement climatique du 25/06/2018

CRITÈRE	% VALIDATION	COMMENTAIRES
Un état des lieux des risques incendies a été établi	44 %	* Critère à insérer dans la grille dans le but d'aller plus loin que les réglementations * Souligne l'importance des espaces tampons entre les habitations et la forêt. Ces zones pourraient-elles faire l'objet d'un critère en plus ?
Le projet permet de soutenir financièrement les filières bois afin de préserver le potentiel économique des forêts	22 %	* Sans commentaires
Le projet permet de promouvoir l'éco-certification et de développer et promouvoir des gammes de produits à partir d'essences locales	44 %	* Il existe déjà des critères de ce type dans les dernières versions de la grille BDM
Le projet calcul/ prend en compte l'empreinte eau des matériaux utilisés	67 %	* Comment hiérarchiser par exemple l'empreinte eau et l'empreinte carbone ? car certains matériaux vont avoir une faible empreinte carbone mais une forte empreinte eau (exemple : le bois), et inversement
Des matériaux à faible empreinte eau sont mis en place dans le projet (en quantité notable : +20 % ; en quasi-totalité : +80 %)	67 %	* Même remarque
Les consommations d'eau potable n'excèdent pas X L/occupant.an (calcul prévisionnel/ théorique)	28 %	* Critère intéressant en phase d'usage car permettrait de repérer les fuites par exemple car donne des chiffres de comparaison et permettra d'enrichir le REX * C'est aussi un critère intéressant pour la gestion des espaces verts (compteur individuel pour l'arrosage extérieur) * C'est bien entendu l'eau potable qu'il est intéressant d'évaluer (et non les EP et EU qui feraient l'objet de réutilisation)

Le projet n'est pas localisé sur une ressource en eau souterraine de bonne qualité (exploitée ou non)	22 %	* Critère lié au phénomène de montée du biseau salé* dans les aquifères côtières et donc de contamination des eaux potables auxquelles on a recours aujourd'hui (permettrait de mobiliser les ressources de « secours »)
Un critère sur l'intégration de plantes ayant des besoins en eau moins importants que les espèces locales actuelles	22 %	* Ce critère permettra d'anticiper le changement du climat local (augmentation de la sécheresse notamment)
Le projet prévoit la création d'un potager	56 %	* Ajouter à ce critère la création d'un compost ? (autre moyen de trier les déchets) * Les potagers et l'agriculture urbaine sont une bonne réponse à l'effet d'îlot de chaleur urbain car cela permet à la fois la végétalisation de la ville et la réduction de l'empreinte carbone liée à l'acheminement des produits alimentaires (production et consommation locales) * Le potager dans les logements collectifs par exemple permet la création d'un lien social, comme le permet le critère suivant
Le projet permet de développer et soutenir des actions associatives sur les thèmes des jardins respectueux de l'environnement	44 %	* Permet de créer un lien social
Le projet contribue à la réinsertion ou à la protection d'espèces menacées	72 %	* Sans commentaires
Plus de 20 % de l'occupation des sols est de type perméable: pleine terre de minimum 2m de profondeur	44 %	* Permet de répondre à la problématique de la végétation de grande taille (arbres, arbustes) car aujourd'hui la pleine terre équivaut à 40cm de profondeur dans certaines communes. Or, ce sont les arbres de grande taille qui produisent le plus de fraîcheur, qui absorbent le plus de CO2, et qui produisent de l'ombre
Plus de 50 % de l'occupation des sols est de type perméable: pleine terre de minimum 2m de profondeur	78 %	* Même remarque
Le projet met en place des revêtements de couleur claire pour améliorer la réflexion des rayons solaires	33 %	* Système « Cool Roof » par exemple
Le projet met en place le Free Cooling	33 %	* Dispositif de rafraîchissement passif des bâtiments (les bâtiments passifs font l'objet d'une étude distincte au sein d'EnvirobotBDM)
Un critère sur le nombre d'heures d'inconfort thermique en été dans un contexte climatique prévisionnel pessimiste	78 %	* Ce critère concerne les Simulations Thermiques Dynamiques (STD), et serait à cocher si des STD avec des scénarios caniculaires ou pessimistes sont effectuées
Les émissions de CO2 des consommations énergétiques sont calculées	56 %	* On parle ici d'équivalent CO2 * Critère lié à l'expérimentation E+C-
Plus de 3 types de poubelles de tri se trouvent à -50m du projet (ou sont propres au projet)	78 %	* Une distance de 100/200 mètres est proposée * Une reformulation du critère est préférée: « Est-ce que le projet contribue à améliorer le traitement des déchets ? » / « Y-a-t-il des aménagements prévus dans le projet ou à proximité immédiate du site ? »
Un critère concernant les méthodes de fabrication des panneaux PV mis en place sur un projet serait-il pertinent ?	N'apparaît pas dans questionnaire	* Ce critère permettrait de se questionner sur la provenance des panneaux PV et si celle-ci est durable/locale * Réactions du public: il faudrait qu'EnvirobotBDM fournisse des informations sur des sites de fabrication de panneaux PV locaux (=Europe?)
L'enjeu lié à la maîtrise du paysage côtier est pris en compte	28 %	* Sans commentaires

Les études sur le recul des traits de côte ont été consultées et le recul du trait de côte a été pris en compte (si ce dernier impacte le projet)	33 %	* Sans commentaires
Le projet permet la diversification des activités des stations de sport d'hiver (de moyenne montagne <1500m)	22 %	* Sans commentaires
Le projet contribue à la reconversion des stations de sports d'hiver (de moyenne montagne <1500m)	22 %	* Sans commentaires
Un critère sur la protection des populations vulnérables d'un point de vue sanitaire serait-il pertinent ?	67 %	* Préciser le type de vulnérabilité, mieux la définir
PROPOSITIONS INDIVIDUELLES		
Critère sur la domotique dans la construction de logements		* Sans commentaires
Critère sur l'espace végétal et son organisation		* Sans commentaires
Critère sur les circuits courts		* Alimentation : potager à proximité du site * Travail : projets tertiaires à proximité * Production proche des lieux de consommation

Source : Emily Deydier, EnvirobatBDM.

CONCLUSION

Il est clair que des changements de pratiques seront indispensables à tous les niveaux, mais ces changements sont souvent pensés à l'envers. Au lieu de chercher à imposer des « éco-gestes » ou des « modifications de comportements », il faudrait au contraire comprendre la logique des fonctionnements actuels de nos sociétés et rechercher des alternatives qui conservent les logiques culturelles, sociales et économiques. Les citoyens doivent être associés à la démarche d'adaptation et d'atténuation. Du point de vue opérationnel, l'adaptation au changement climatique commence à traverser les politiques publiques françaises et ouvrent un champ professionnel et technique qui est en train de se mettre en place.

Pour en revenir aux démarches BDM et QDM, la participation des habitants à la conception du projet est primordiale et déjà exprimée dans les grilles de critères. Dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, cela devrait être étendu aux comportements sur le chantier ; la participation des travailleurs et des entreprises de réalisation à la mise en place de méthodes et aux décisions est une démarche à développer.

Dans ces recherches de solutions nouvelles, une attention toute particulière devra être accordée aux populations vulnérables.

Cette rédaction se termine deux jours après le « jour de dépassement » français, date officielle à laquelle la France vit « à crédit » sur Terre. En effet, à partir du 5 mai 2018, la France aurait déjà consommé toutes les ressources naturelles que la planète peut renouveler en un an (étude menée par le Global Footprint Network). Ceci pour nous rappeler que l'enjeu est de taille, et que c'est aujourd'hui qu'il faut y répondre.

LES ZOOMS DES CAHIERS DU GREC PACA



ZOOM 6 Interactions entre zones humides et mer dans un contexte de changement climatique

Situées à l'interface entre les écosystèmes terrestres et marins, les zones humides littorales sont des écosystèmes dynamiques et souvent instables, en particulier le long des plaines côtières bordant la mer Méditerranée. Depuis des siècles, elles ont connu d'importantes transformations notamment pour les besoins de l'agriculture, la saliculture, la pêche, la navigation et plus récemment l'industrie et le tourisme. Le changement climatique vient ainsi s'ajouter aux pressions exercées sur ces espaces. Les cours d'eau, les plans d'eau et les zones humides sont parmi les habitats naturels les plus sensibles au changement climatique. L'augmentation de la température de l'eau menace, par exemple, directement la persistance d'espèces animales et végétales associées aux eaux douces courantes ou stagnantes. Les changements de températures et de précipitations auraient des conséquences complexes sur les cycles biochimiques. Par exemple, la hausse de la température entraînerait des décalages phénologiques dans les cycles de développements phytoplanctoniques et zooplanctoniques, favorisant le développement de marées vertes, avec pour corollaire une demande accrue en oxygène résultant de la décomposition du phytoplancton. Ce processus aurait potentiellement des conséquences sur les concentrations en oxygène à l'interface sédiment-eau, dont l'un des effets

la part des apports d'eau de mer dans le bilan hydrique des lagunes côtières, avec, selon les étangs considérés, une tendance à la salinisation ou à la « marínisation » [remontée progressive de l'eau de mer dans les terres]. L'élévation du niveau marin et de la nappe salée affectera aussi certaines zones humides d'eau douce proches du littoral qui deviendront de plus en plus saumâtres, ce qui conduira à un remplacement des communautés animales et végétales, avec la disparition ou le déplacement plus en amont des espèces strictement liées aux eaux douces.

Les végétations pionnières à salicornes, les fourrés halophiles et les steppes salées, qui sont des habitats naturels situés à une altitude inférieure à 1 m au-dessus du niveau marin moyen, devraient se déplacer vers des niveaux topographiques plus élevés, si l'aménagement sur le littoral permet cette mobilité. Les prévisions suggèrent qu'après translation, les habitats type prés salés vont régresser, tandis que les gazons à salicornes annuelles et les fourrés halophiles devraient potentiellement progresser pour occuper une superficie plus importante qu'actuellement, d'autant plus si la stratégie adoptée par les pouvoirs publics est celle du recul stratégique.

Les changements d'usages induits par le changement climatique auront aussi des conséquences importantes sur les zones humides littorales et leurs interactions avec la mer. En Camargue, les salines qui ont été cédées au Conservatoire du littoral, à partir de 2008, incluent en particulier des secteurs sévèrement exposés à l'effet

augmenterait le relargage du phosphore contenu dans le sédiment. En raison des sécheresses plus accentuées et prolongées, une partie des zones humides littorales devrait connaître des assèchements plus prononcés. Des épisodes orageux plus fréquents augmenteraient l'érosion des bassins-versants et la sédimentation dans les milieux aquatiques. Globalement, des fluctuations plus importantes des niveaux d'eau sont attendues. L'adaptation de la faune et la flore à ces changements dépendra de l'étendue, de la vitesse, des périodes et de la fréquence des fluctuations.

L'élévation du niveau marin, dont les effets peuvent être localement accentués par la subsidence, va générer des inondations et le déplacement des habitats naturels situés en plaines côtières, accentuer l'érosion littorale (photo 11), augmenter les phénomènes de submersions marines et leurs impacts, et entraîner la salinisation et le rehaussement des nappes côtières. Le recul des lidos sableux, situés entre la mer et les étangs, aura pour conséquence le comblement progressif des lagunes arrière-littorales. L'élévation du niveau marin va d'autre part accentuer les difficultés d'évacuation gravitaire des eaux des lagunes vers la mer, avec pour conséquence une augmentation du risque inondation. Elle aura aussi pour effet d'accroître

conjugué de l'érosion et de l'élévation du niveau marin. Le nouveau propriétaire a fait le choix du recul stratégique et de la renaturation. La gestion plus souple du trait de côte se traduit par l'arrêt des travaux coûteux de maintenance des ouvrages de défense situés en front de mer, qui pourront être remplacés par des aménagements situés à l'intérieur des terres, plus pérennes et répondant mieux aux enjeux de protection des biens et des personnes contre les submersions marines sur le long terme. Les échanges hydrobiologiques entre la mer et les lagunes s'en retrouvent renforcés. Cet exemple montre comment l'élévation du niveau marin peut constituer une opportunité pour repenser la gestion des territoires littoraux, en redonnant plus de place à la naturalité du fonctionnement des zones humides littorales.



Interactions entre zones humides et mer

*Zoom 6 du cahier du GREC-
PACA sur le littoral*

Source: La mer et le littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2017, 48 pages. ISBN: 9782956006046



ZOOM 7 L'adaptation n'est-elle qu'un mot ?

Désormais associée au changement climatique, l'adaptation apparaît comme une évidence, presque une injonction portée par les instances internationales (GIEC, CCNUCC) et nationales (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, ONERC, ADEME, agences de bassin). Elle est souvent présentée comme l'application mécanique d'une méthodologie spécifique ou relevant de la mise en œuvre de bonnes pratiques. Cependant, le « comment s'adapter » est souvent délaissé au profit de « il faut s'adapter ». Or, l'opérationnalisation de l'adaptation passe par des choix et des arbitrages entre secteurs, acteurs, gagnants et perdants. Ainsi, si l'on doit relocaliser des habitations et des activités, lesquelles choisir ? Qui doit payer ? Quelle est la logique politique associée ? Quelles en sont les conséquences ?

Les travaux de recherche menés, par exemple, sur le littoral languedocien dans le cadre du programme MAGIC montrent que derrière les actions d'adaptation mises en avant par les acteurs, différentes logiques politiques sont appliquées. Quatre ont été repérées :

- **contrôler et maintenir** : il s'agit de résister aux perturbations et protéger le développement de territoires à forts enjeux économiques (infrastructures touristiques prospères, etc.). Des solutions ingénierales (rehausser les digues, par exemple) sont adoptées, mais engendrent des coûts financiers importants, voire exponentiels dans un contexte de réduction des finances publiques, avec pour conséquence un déplacement spatial (amont-aval ou le long de la côte) et temporel de la problématique ;
- **laisser-faire** : en portant les risques à la connaissance de tous, il s'agit de laisser l'action à d'autres, c'est-à-dire aux communes ou aux établissements publics de coopération intercommunale, voire aux individus, et ce, bien que tous les acteurs ne disposent pas des mêmes capacités ou ressources pour s'adapter. Le « tous responsables » peut également conduire à une dilution de la responsabilité ;
- **réguler** : des ajustements à la marge (rendre résilient les logements), de nouveaux arbitrages (privilégier l'eau potable à l'eau agricole) poussent à s'accommoder des perturbations et « vivre avec le risque ». Ces actions sont mises en place au niveau local par des acteurs aux capacités financières et institutionnelles qui ne sont pas à l'échelle des enjeux ;

- **reconfigurer** : à travers le déplacement d'enjeux (routes, campings) et une réflexion plus globale sur une reconfiguration socio-économique (« sortir de la mono-industrie du tourisme »), il s'agit de réorganiser le territoire, en tenant compte des « surprises » climatiques possibles (montée du niveau de la mer plus rapide, etc.). La question de « qui paie quoi et pour quoi faire ? » pose de manière plus saillante encore celles des compromis, des arbitrages et des collaborations.

Les adaptations ne sont pas neutres, mais mettent en jeu des intérêts contradictoires, des visions du territoire et de sa trajectoire divergentes, voire conflictuelles. Chacune de ces logiques porte en germe des reconfigurations socio-économiques et politiques différentes. Cette typologie réalisée à partir d'un terrain littoral languedocien peut servir de mise en perspective des trajectoires des territoires en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.



L'adaptation n'est-elle qu'un mot

Zoom 7 du cahier du GREC sur le littoral

Source : La mer et le littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2017, 48 pages. ISBN : 9782956006046

ZOOM 5

Qu'est-ce que l'îlot de chaleur urbain ?

On appelle « îlot de chaleur urbain » (ICU) la différence des températures observées entre un site urbain et un site rural environnant. Ces différences de températures, davantage marquées la nuit, sont fortement corrélées à la variation de la densité urbaine (conception urbaine, matériaux des bâtiments, etc.).

Les ICU sont principalement observés la nuit (Figure 16) où le refroidissement nocturne est moindre en ville que dans les zones rurales plus végétalisées. C'est un phénomène local qui peut varier d'une rue à l'autre avec une durée limitée dans le temps. Les principaux facteurs météorologiques qui favorisent l'îlot de chaleur urbain sont : un ciel peu nuageux, des vents faibles et une forte stabilité atmosphérique.

Dans les villes des latitudes moyennes, l'îlot de chaleur urbain peut être plus important lors des nuits estivales, quand la chaleur emmagasinée par les bâtiments pendant le jour est dissipée. Les impacts de ces « bulles de chaleur » peuvent être importants sur le confort thermique, la santé, la mortalité et les risques de pollution. Dans un contexte de changement climatique, les canicules estivales pourraient être plus fréquentes d'où l'importance de mieux comprendre

la variabilité spatiale et temporelle de ce phénomène dans les villes méditerranéennes, et de tenter de le réduire. De nouveaux défis face au changement climatique supposent de nouveaux modes de gestion pour la ville et appellent à s'appuyer :

■ d'une part, sur des données fiables à échelle fine, aussi bien pour le suivi du climat que celui des impacts, indispensables pour disposer d'un outil adapté à la complexité urbaine et à ses spécificités ;

■ d'autre part, sur le diagnostic des usages contemporains des villes méditerranéennes, afin de concevoir des espaces urbains dont la rationalité énergétique et fonctionnelle sera basée sur les pratiques et les besoins des citoyens, mais aussi sur une approche interdisciplinaire capable de prendre en compte la complexité des villes contemporaines à travers une coaction entre les scientifiques et les politiques.

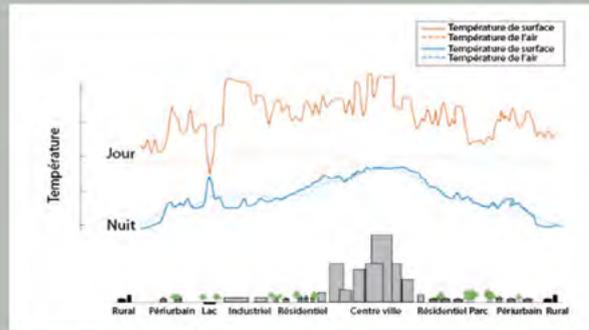


Figure 16. Températures de surface de l'atmosphère variant en fonction des types d'occupation du sol (source : illustration adaptée de Environmental Protection Agency)

Qu'est ce que l'ICU?

Zoom 5 du cahier du GREC-PACA sur le climat.

Source: Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GREC-PACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2016, 44 pages. ISBN: 9782956006015

ZOOM 1

Couche limite atmosphérique en milieu urbain et qualité de l'air

La couche limite atmosphérique qui, en milieu urbain, prend le nom de couche limite urbaine (CLU), est la couche d'air sous influence de la surface. L'épaisseur de cette couche d'air est variable en fonction de l'heure de la journée et de la saison. Elle joue un rôle important dans les échanges de chaleur, d'humidité, ainsi que sur la concentration de polluants. Il est donc important de bien comprendre son fonctionnement. L'épaisseur de la CLU est produite par la présence de tourbillons d'air. Plus l'air est turbulent, plus les échanges d'énergie, de matière et de mouvement entre la surface urbaine et l'atmosphère sont favorisés et efficaces. Cette turbulence est plus ou moins importante en fonction de la présence de vent et/ou de la température de surface (qui vont caractériser la stabilité de l'atmosphère), et de la rugosité de la surface.

Plus il fait chaud et/ou plus les obstacles en surface

sont importants, plus les mouvements d'air brassent et mélangent l'air. Par exemple, en journée, la CLU possède une épaisseur supérieure à celle de la nuit car il fait plus chaud. D'une façon générale, la différence d'épaisseur de cette couche est aussi observée entre les saisons chaudes (printemps, été) et froides (automne, hiver). C'est pour cette raison, qu'en hiver, il est souvent observé deux pics de pollution dus au trafic routier (matin et soir), alors qu'en été, seul celui du matin est observé. Tôt le matin, l'épaisseur de la CLU est comparable en hiver et en été. Elle est généralement plus épaisse l'après-midi lors des belles journées ensoleillées d'été. Les polluants sont donc dilués dans un plus grand volume d'air et les capteurs de qualité de l'air mesurent de plus faibles concentrations. En milieu rural, la couche limite atmosphérique a une épaisseur moins importante car la température et la rugosité sont souvent plus faibles en milieu rural qu'en milieu urbain.

Couche limite atmosphérique en milieu urbain et qualité de l'air

Zoom 1 du cahier Climat et ville du GREC-PACA :

Source: Climat et ville: interactions et enjeux en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juin 2017, 44 pages. ISBN: 9782956006038

LEXIQUE

Dulcicoles (p9): Qui vit exclusivement dans les eaux douces. (Les plantes dulcicoles sont souvent appelées plantes aquatiques.) - Définition Larousse.

Chaînes trophiques (p13): Ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent. Comprend des producteurs (algues, par exemple), des consommateurs primaires (herbivores, phytophages), des consommateurs secondaires (carnivores) et des décomposeurs (ou détritivores). - Définition Dictionnaire environnement.

Phénologie (p12): Étude scientifique des variations (durée, époque, etc.) que les divers climats font subir à la floraison et à la feuillaison des végétaux. - Définition Larousse.

Défoliation (p52): Chute annuelle normale des feuilles chez les arbres dits caducifoliés. - Définition Larousse.

Biseau salé (p46): Partie d'un aquifère côtier envahi par l'eau salée généralement marine, comprise entre la base de l'aquifère et une interface de séparation eau douce/eau salée: le coin d'eau salée est sous l'eau douce. - Définition Dictionnaire environnement.

RÉFÉRENCES

Bibliographie

1. GIEC, 2013: Résumé à l'intention des décideurs, *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au 5^{em} Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
2. GIEC, 2014: *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité - Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au 5^{em} Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe).
3. GIEC, 2014: Résumé à l'intention des décideurs. In: *Changements climatiques 2014, L'atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwicker et J.C. Minx]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique
4. *Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique*. Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juin 2015, 40 pages.
5. *Climat et ville: interactions et enjeux en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juin 2017, 44 pages. ISBN : 9782956006038
6. *Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Les cahiers du GREC-PACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juillet 2017, 52 pages. ISBN : 9782956006053
7. *Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Les cahiers du GREC-PACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2016, 44 pages. ISBN : 9782956006015
8. *La mer et le littoral de Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique*, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2017, 48 pages. ISBN : 9782956006046
9. *Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), novembre 2017, 40 pages. ISBN : 9782956006022
10. Proposition de pistes d'actions: « *changement climatique et évolution des paysages en Paca* », Plan Climat Agenda 21 Région Paca, 77 pages. (cf. site web en référence).
11. *Changement climatique: impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion*. (Voir le site internet donc le document est issu, en référence 4 ci-dessous).

Sites Internet

1. ACTU ENVIRONNEMENT. [En ligne].
m.actu-environnement.com.
Consulté en mars 2018.
2. DAVID SEDLAK pour TED. 4 ways to avoid a catastrophic drought. [En ligne].
https://www.ted.com/talks/david_sedlak_4_ways_we_can_avoid_a_catastrophic_drought.
Consulté en mars 2018.
3. JILL FARRAN pour TED. How we can make crops survive without water. [En ligne].
https://www.ted.com/talks/jill_farrant_how_we_can_make_crops_survive_without_water.
Consulté en mars 2018.
4. LAURENT BASILICO, NATACHA MASSU, DANIEL MARTIN. Synthèse du séminaire des 18 et 19 octobre 2010, Fréjus. Changement climatique : impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion. [En ligne].
http://www.gipecofor.org/doc/drupal/gicc/liens_article_gicc/publication/Synthese-Frejus-mai2011.pdf.
Consulté en mars 2018.
5. LE GRAND CONTINENT. 24 octobre : la transition énergétique en Europe. [En ligne].
<https://legrandcontinent.eu/24-octobre-la-transition-energetique-en-europe/>.
Consulté en avril 2018.
6. METEO-FRANCE. ClimatHD, une application de Météo-France sur le changement climatique. [En ligne].
<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>.
Consulté en avril 2018.
7. METEO-FRANCE. Drias, les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés. [En ligne].
<http://www.drias-climat.fr>
Consulté en avril 2018.
8. PIERRE LE HIR pour Le Monde. Le réchauffement climatique accélère la migration des plantes vers les cimes. Publié le 04/04/2018. [En ligne].
http://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2018/04/04/le-rechauffement-accelere-la-migration-des-plantes-vers-les-cimes_5280718_1652692.html#xtor=AL-32280270.
Consulté en avril 2018.
9. Projet SAO POLO, Adaptation des structures côtières au changement climatique. [En ligne].
https://www.researchgate.net/publication/256305794_Projet_SAO_POLO_Adaptation_des_structures_cotieres_au_changement_climatique.
Consulté le 26 mars 2018.
10. REGION PACA. Plan Climat. [En ligne].
<http://oreca.regionpaca.fr>.
Consulté en mars 2018.