

PCET du Pays d'Arles



Etude de la vulnérabilité du Pays d'Arles au changement climatique

Rapport de phase 2 : Cahier des vulnérabilités

Juin 2014



Sommaire

CONTEXTE ET METHODOLOGIE	5
LES ENJEUX DE L'ETUDE.....	5
METHODOLOGIE ET CLES DE LECTURE.....	7
SYNTHESE DES EVOLUTIONS CLIMATIQUES.....	14
LES RESSOURCES ET MILIEUX NATURELS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	17
LES IMPACTS SUR LA RESSOURCE EN EAU.....	18
<i>Caractérisation</i>	18
<i>Impacts des changements climatiques sur les eaux de surface</i>	28
<i>Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines</i>	35
<i>Impacts du changement climatique sur la demande en eau</i>	39
<i>Capacités d'adaptation des acteurs de l'eau</i>	41
<i>Synthèse et cartographie</i>	43
LES IMPACTS SUR LES MILIEUX NATURELS	45
<i>Caractérisation</i>	45
<i>Introduction sur la notion de services éco systémiques</i>	58
<i>Les effets multiples d'une hausse des températures sur les espèces</i>	59
<i>L'impact du changement climatique sur les écosystèmes forestiers</i>	64
<i>Les impacts du changement climatique sur les zones humides</i>	67
<i>Des impacts incertains sur le milieu marin</i>	72
<i>Les conséquences des risques naturels et des phénomènes extrêmes</i>	73
<i>Les capacités d'adaptation</i>	76
<i>Synthèse et cartographie</i>	77
LES RISQUES NATURELS ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	80
LES FEUX DE FORET.....	84
<i>Caractérisation</i>	84
<i>Impacts attendus du changement climatique</i>	86
<i>Capacité d'adaptation</i>	88
LES INONDATIONS INTERIEURES	89
<i>Caractérisation</i>	89
<i>Impacts sur le régime des crues de plaine du Rhône et de la Durance</i>	94
<i>Impacts sur les pluies torrentielles et les inondations par ruissellement</i>	99
<i>Capacité d'adaptation</i>	101
L'EROSION DU LITTORAL ET LES SUBMERSIONS MARINES	111
<i>Caractérisation</i>	111
<i>Les projections d'élévation du niveau de la mer</i>	115
<i>La problématique des submersions marines</i>	116
<i>Les capacités d'adaptation</i>	117
LES MOUVEMENTS DE TERRAIN	119
<i>Le risque de retrait-gonflement des argiles</i>	119
<i>Les autres mouvements de terrain</i>	121
SYNTHESE	122
LES DEFIS SOCIAUX DU TERRITOIRE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	125
LES RISQUES SANITAIRES.....	126
<i>Caractérisation</i>	126
<i>La dépendance actuelle au climat</i>	128
<i>Les vulnérabilités futures</i>	132
<i>Les capacités d'adaptation</i>	135
<i>Synthèse et cartographie</i>	138
LES IMPACTS SUR LES INFRASTRUCTURES ET SUR LA LOGISTIQUE	140
<i>Caractérisation</i>	140



<i>La dépendance actuelle au changement climatique</i>	142
<i>Les vulnérabilités futures</i>	145
<i>Synthèse et cartographie</i>	147
LES IMPACTS SUR LE BÂTI ET LE CADRE DE VIE	149
<i>Caractérisation</i>	149
<i>Le poids de la variable climatique sur la gestion des villes</i>	150
<i>Les vulnérabilités futures</i>	152
<i>Les capacités d'adaptation</i>	153
<i>Synthèse</i>	155
LES ENJEUX ECONOMIQUES ET LE CLIMAT.....	156
LES IMPACTS SUR L'AGRICULTURE.....	157
<i>Caractérisation</i>	157
<i>Les impacts sur les cultures de riz et de blé</i>	162
<i>Maraîchage et arboriculture affectés par la hausse des températures</i>	167
<i>Le cas particulier des cultures en AOC : vigne, olive, foin de Crau</i>	170
<i>Des élevages touchés par les canicules et les inondations</i>	173
<i>Les capacités d'adaptation du monde agricole</i>	174
<i>Synthèse et cartographie</i>	176
LES IMPACTS SUR LE TOURISME.....	180
<i>Caractérisation</i>	180
<i>La dépendance actuelle du tourisme au climat</i>	182
<i>La dépendance future du tourisme au changement climatique</i>	184
<i>Les capacités d'adaptation</i>	188
<i>Synthèse et cartographie</i>	189
LES IMPACTS SUR L'INDUSTRIE ET L'ENERGIE	192
<i>Caractérisation</i>	192
<i>La dépendance actuelle du secteur industriel au climat</i>	193
<i>Les vulnérabilités futures</i>	195
<i>Les capacités d'adaptation</i>	197
<i>Synthèse et cartographie</i>	198
UNE VISION CROISEE DES ENJEUX	201
LES ENJEUX PRIORITAIRES	201
UNE VISION TEMPORELLE DES ENJEUX	202
UNE VISION PAR GEO-TERROIRS	205
CONCLUSION : VERS L'ADAPTATION.....	209
TABLE DES FIGURES	213
LISTE DES ENTRETIENS REALISES	218
BIBLIOGRAPHIE.....	219

Ce document constitue le rapport de diagnostic de l'étude de vulnérabilité du Pays d'Arles au changement climatique (rapport de phase 2). Il fait suite au cahier climat (phase 1) décrivant le climat passé et futur du territoire, et préparer une phase d'assistance à l'écriture d'un plan d'adaptation (phase 3).

Afin de réaliser ce diagnostic, la connaissance des évolutions climatiques à venir au cours du siècle a été croisée avec une connaissance de l'exposition du territoire à certains risques ainsi qu'avec une analyse des capacités d'adaptation des acteurs de ce territoire. Ont été mobilisées pour cela des sources multiples : des diagnostics existant permettant d'alimenter une analyse du contexte, une analyse aussi exhaustive que possible de la bibliographie scientifique et technique sur les impacts du changement climatique, mais aussi une série d'entretiens menés avec des acteurs du territoire. Ces entretiens, centrés sur des problématiques précises, bien identifiées et localisées, ont permis de « toucher du doigt » la question des impacts du changement climatique sur le territoire du Pays d'Arles, et de se projeter vers l'adaptation.

Après un rappel des objectifs et de la méthodologie, ce rapport donne d'abord une vision sectorielle des impacts (Ressources et milieux naturels, Risques naturels, Défis sociaux, Enjeux économiques), avec une analyse fine des vulnérabilités. Puis, à partir des outils de hiérarchisation et de visualisation développés par notre équipe, il s'attache à prioriser les enjeux, afin de dégager progressivement une vision stratégique.

Ce rapport a été rédigé par Pauline Brunnengreber (Syndicat mixte du Pays d'Arles), Adeline Cauchy (TEC), Ghislain Dubois (TEC) et Roman de Rafael (TEC).

Contexte et méthodologie

Les enjeux de l'étude

Contexte

Le Plan Climat Energie Territorial (PCET) du territoire du Pays d'Arles rassemble 7 partenaires appartenant au bassin de vie du Pays d'Arles :

- Trois intercommunalités et une ville :
 - la Communauté d'Agglomération Arles Camargue Crau Montagnette (ACCM),
 - la Communauté de Commune Vallée des Baux Alpilles (CCVBA),
 - la Communauté de Commune Rhône Alpilles Durance (CCRAD),
 - la Ville d'Arles.
- Trois territoires de projet :
 - Le Syndicat Mixte du Pays d'Arles,
 - Le Parc naturel régional des Alpilles (PNRA),
 - Le Parc naturel régional de Camargue (PNRC).

Ces partenaires ont répondu collectivement à l'appel à projet de la Région, de l'ADEME et de la DREAL « Construire et mettre en œuvre des Plans Climat Energie Territoriaux en Provence-Alpes-Côte-D'azur ».

L'objectif de ce rassemblement est d'apporter de la cohérence et de la lisibilité à l'action publique locale en matière de lutte contre le changement climatique et d'adaptation aux impacts de ce changement sur le territoire.

Objectif poursuivi par les partenaires

L'objectif poursuivi par les 7 structures est d'aboutir à un plan d'action opérationnel (dit Plan Climat) pour la réduction des émissions de gaz à effet de serres (volet atténuation) et l'adaptation du territoire au changement climatique (volet adaptation).

Les objectifs et scénarios du plan climat seront définis à horizon 2030 et 2050 et les actions opérationnelles seront programmées sur les trois ans suivant l'adoption du plan climat.

Pour ce faire, **les « territoires de compétence » (Ville d'Arles, ACCM, CCRAD, CCVBA) réaliseront chacun un Plan Climat qui portera sur leur patrimoine et leurs compétences.** Chacune de ces collectivités aura son propre bilan d'émissions de gaz à effet de serre et son propre plan d'action avec les deux volets « atténuation » et « adaptation ».

Il est à noter que la Ville d'Arles, la Communauté d'Agglomération ACCM et la Communauté d'Agglomération CARAD sont obligées de réaliser un PCET au titre de la Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement. Le SCOT du Pays d'Arles devra également prendre en compte le PCET au titre de cette même Loi.

Les « territoires de projet » (Pays d'Arles, PNRA, PNRC) conduiront un Plan Climat Energie Territorial unique qui portera sur la dimension territoriale. Les partenaires (Ville d'Arles, ACCM, CARAD, CCVBA) seront également parties prenantes à l'élaboration de ce plan territorial et sont susceptibles de porter des actions de dimension « territoriale » par la suite.

La présente étude de vulnérabilité du territoire est menée exclusivement à l'échelle du Pays d'Arles. En revanche le plan d'adaptation du territoire au changement climatique pourra contenir des actions inscrites dans les plans climats des intercommunalités et de la ville d'Arles lorsqu'elles toucheront à leur patrimoine ou à leurs compétences.

Principes d'élaboration du volet adaptation du PCET du Pays d'Arles

Les principes d'élaboration retenus pour le PCET sont les suivants

- *Améliorer les connaissances* sur la vulnérabilité du territoire au changement climatique
- *Conduire une démarche pédagogique* et favoriser l'appropriation du PCET par les élus
- *Conduire la réflexion* en prenant en compte le cadre réglementaire et les orientations nationales et régionales
- *Assurer la cohérence du PCET avec les démarches de planification engagées* par les communes, les intercommunalités et territoires de projet d'une part, ainsi qu'avec le projet de SCOT d'autre part
- *Informé, sensibiliser et impliquer le grand public* dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et pour l'adaptation
- *Intégrer le plan climat chez tous les acteurs du territoire* et agir pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation.

Méthodologie et clés de lecture

Approche méthodologique générale

La mission confiée au bureau d'étude TEC consiste à réaliser une étude de vulnérabilité du territoire au changement climatique et à accompagner le maître d'ouvrage dans l'élaboration d'un plan d'adaptation. Dans le contexte d'élaboration du SCOT, les partenaires souhaitent un éclairage concernant les principaux impacts du changement climatique et sur les choix stratégiques d'aménagement et de gestion des ressources à réaliser.

Cette étude doit ainsi permettre de :

- connaître la vulnérabilité socio-économique du territoire du Pays d'Arles aux changements climatiques aux horizons 2030, 2050 et 2090 ;
- hiérarchiser les enjeux;
- informer et sensibiliser la population, les élus et l'ensemble des acteurs du territoire ;
- proposer un dispositif de mesure et de suivi de l'évolution des principaux effets attendus ;
- définir des actions d'adaptation pragmatiques et adaptées à la réalité du territoire et des acteurs.

Est présenté ci-après le déroulé de la mission et ses différentes étapes.

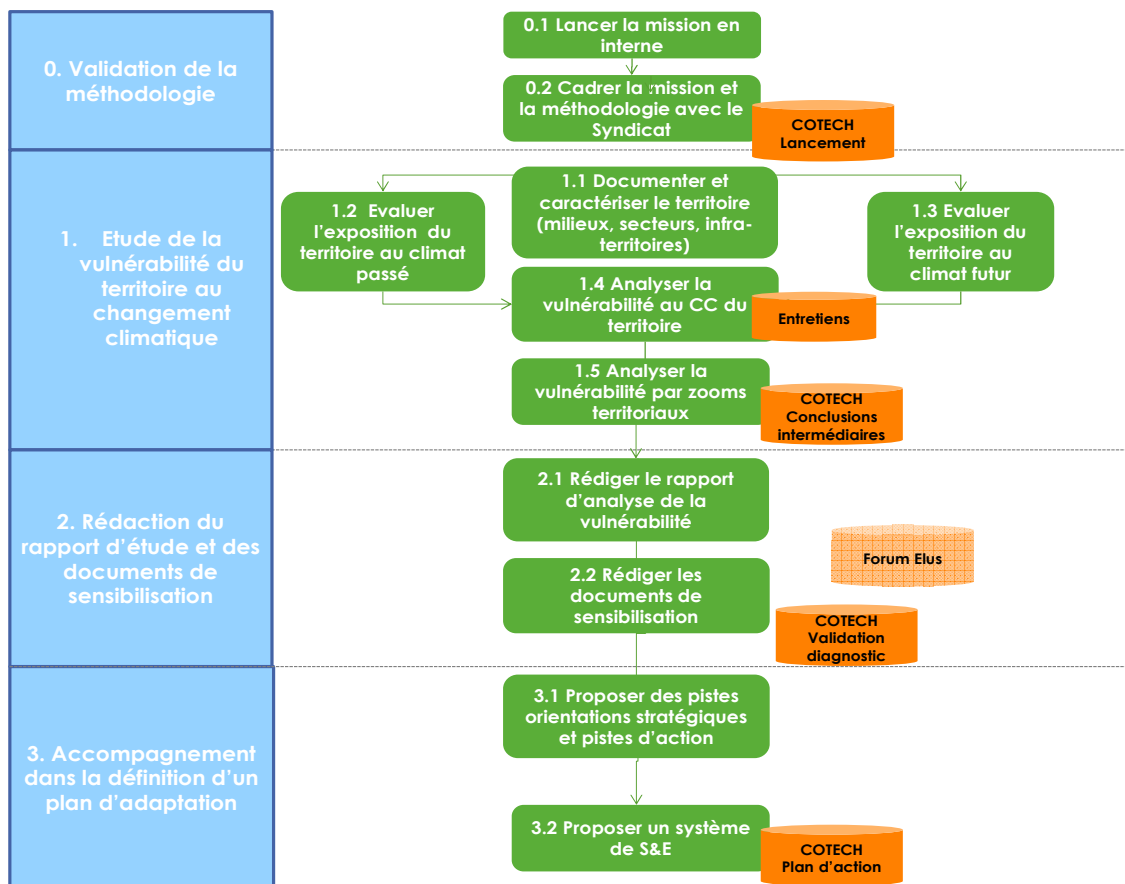


Figure 1 : Démarche méthodologique d'ensemble

Les principaux résultats sur les futurs climatiques du Pays d'Arles figurent dans ce rapport, dans la partie « Synthèse des évolutions climatiques » p.14 et suivantes. L'ensemble du « profil climat » (analyse du climat passé et des évolutions d'ores et déjà observées, détail des choix méthodologiques et leur justification, résultats détaillés des futurs climatiques qui se dessinent pour le Pays d'Arles) font l'objet d'un rapport complet dédié, intitulé « Cahier climat ».

Les projections climatiques retenues pour l'étude de vulnérabilité du Pays d'Arles sont celles développées par le CERFACS (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, Toulouse) dans le cadre de l'étude réalisée à l'échelle départementale par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône. Ces projections partent de la **base de données multi-modèles ENSEMBLE**, qui est un très large projet européen ayant permis de créer des projections climatiques à haute résolution pour l'Europe.

Cette base de données a l'avantage de permettre de travailler sur plusieurs modèles climatiques, ce qui réduit les incertitudes liées à la modélisation du climat. Les **cinq projections climatiques** ont été choisies pour « encadrer » l'incertitude : une projection de référence moyenne et quatre projections permettant d'explorer le champ des possibles pour montrer la plage des incertitudes (projection « froide », projection « réchauffement modéré », projection « hiver chaud et humide », projection « chaude et sèche »).

En termes de scénario socio-économique, le modèle ENSEMBLE utilise le **scénario moyen A1B du GIEC** (rapport de 2007) qui est également le scénario de référence utilisé par l'Agence Internationale de l'Energie à horizon 2050. Ce scénario correspond à une croissance économique rapide qui s'appuie sur un mix énergétique équilibré entre énergies fossiles et autres (nucléaire et renouvelables). De nouvelles technologies plus efficaces sont relativement rapidement introduites.

La notion d'incertitude

L'intensité du changement climatique dépendra de l'évolution de la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Celle-ci est elle-même conditionnée par les émissions passées et actuelles mais aussi futures. Pour explorer cet avenir, les scientifiques ont élaboré des scénarios qui fournissent des images des futurs possibles en termes d'émissions de GES. De ceux-ci découlent alors des scénarios de concentration de GES dans l'atmosphère qui servent d'entrée dans les modèles climatiques. Les modèles climatiques sont utilisés pour produire des projections climatiques permettant de nous renseigner sur les différentes évolutions possibles du climat.

Les projections climatiques ne seront toutefois jamais des prédictions : les scénarios de développement socio-économiques qui conditionnent les émissions de gaz à effet de serre continueront de rester des hypothèses (plus ou moins probables) et les progrès des modèles n'enlèveront pas le caractère chaotique et imprévisible du climat. L'incertitude sur le changement climatique est d'autant plus grande que l'étude revêt un caractère local. Il existe en effet à chaque stade de développement des projections des incertitudes qui peuvent se cumuler (incertitude sur les modèles globaux, sur les scénarios socio-économiques, sur les

méthodes de régionalisation...).

Les incertitudes doivent donc être prises en compte dans les travaux d'adaptation mais en aucun cas servir de prétexte à l'inaction.

Les horizons étudiés sont 2030, 2050 et 2080. Notons que l'incertitude des scénarios socio-économique n'est pas prédominante aux horizons 2030 et 2050 mais le devient en fin de siècle. Ainsi, pour les messages que nous communiquons à l'horizon fin de siècle, il convient de garder à l'esprit que ceux-ci demeurent relativement optimistes comparés aux scénarios d'émissions les plus pessimistes. Les émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial ont par exemple suivi entre 2000 et 2010 une trajectoire plus proche du scénario « A1F1 » du GIEC, qui conduirait à un réchauffement plus intense.

Clés de lecture du diagnostic de vulnérabilités au changement climatique

Selon la définition du GIEC (2007), la **vulnérabilité** est le degré de capacité d'un système de faire face ou non aux effets néfastes du changement climatique (y compris la variabilité climatique et les extrêmes). La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme de l'évolution climatique, des variations auxquelles le système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.

La **capacité d'adaptation** est le degré d'ajustement d'un système à des changements climatiques (y compris la variabilité climatique et les extrêmes) permettant d'atténuer les dommages potentiels, de tirer parti des opportunités ou de faire face aux conséquences.

La vulnérabilité est généralement décrite par la fonction suivante.

$$\frac{\text{Aléa} \times \text{Exposition}}{\text{Capacité d'adaptation}}$$

Exemple : Vulnérabilité aux canicules
- aléa: indice canicule
- exposition: centres urbains denses, personnes vulnérables
- capacité d'adaptation : plan canicule, alerte, végétalisation, climatisation....

Les thématiques étudiées ont été segmentées de la façon suivante :

- **Les ressources et les milieux face au changement climatique**
 - Les impacts sur la ressource en eau
 - Les impacts sur les milieux naturels
- **Les risques naturels et le changement climatique**
 - Inondations intérieures
 - Erosion du littoral et submersions marines
 - Feux de forêts
 - Mouvements de terrains

- **Les défis sociaux du territoire face au changement climatique**
 - Les risques sanitaires
 - Les impacts sur le bâti et le cadre de vie
 - Les impacts sur les infrastructures et la logistique
- **Les activités économiques face au changement climatique**
 - Les impacts sur l'agriculture
 - Les impacts sur le tourisme
 - Les impacts sur l'industrie et l'énergie

Pour permettre de hiérarchiser et de visualiser les principaux enjeux du territoire face au changement climatique, deux représentations figurent en fin de chaque thème : les cartes synthétiques et les tableaux de hiérarchisation des vulnérabilités.

Les cartes synthétiques illustrent les grands enjeux et dynamiques à l'œuvre sur le territoire.

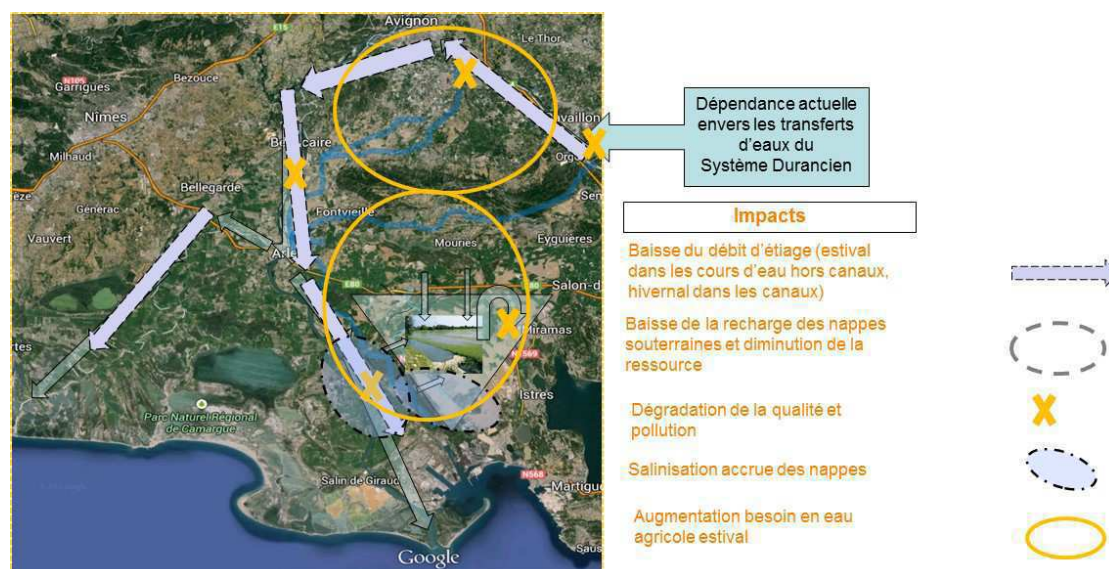


Figure 2 : Exemple de carte de représentation synthétique des enjeux

Les tableaux de synthèse des vulnérabilités ont été construits pour synthétiser et hiérarchiser les vulnérabilités selon une analyse multicritère puis une vision temporelle (dans la dernière partie « une vision croisée des enjeux », pp.201 et suivantes).

Les critères retenus pour cette hiérarchisation sont :

- **Le niveau d'exposition à l'aléa**, évalué en appréciant de façon combinée :
 - le *degré de probabilité de l'aléa* : probabilité d'occurrence de l'impact (ex : il est très probable qu'il y aura un accroissement du phénomène d'inondations avec l'augmentation des précipitations et des pluies intenses en automne et en hiver) ;
 - le *degré de connaissance* : il s'agit de pointer les impacts qui nécessitent des besoins de recherche afin d'améliorer la finesse de l'évaluation ;
 - le *lien avec le changement climatique* : il convient d'apprécier la relation de l'impact au changement climatique, certains impacts pouvant également dépendre d'autres facteurs moins en lien avec la problématique qui nous concerne.

- **La sensibilité du Pays d'Arles à l'aléa**, en appréciant de façon combinée :
 - le *degré de gravité* : on prend en compte ici la gravité de l'impact au regard de ses conséquences potentielles sur le secteur considéré ;
 - *l'urgence de la prise en charge* : certains impacts nécessitent une prise en charge rapprochée, que les effets attendus se ressentent d'ailleurs à court, moyen ou plus long termes. On pense par exemple aux actions relatives à l'aménagement du territoire face à l'augmentation possible du risque d'inondations, qui engagent l'avenir jusqu'à la fin de siècle et même au-delà. C'est dans ce sens qu'il y a urgence. En revanche, il peut paraître raisonnable d'avoir une meilleure évaluation des impacts avant de s'engager dans les stratégies prenant à bras le corps le problème, là où les connaissances manquent (par exemple sur les dommages aux infrastructures liés à une éventuelle augmentation des tempêtes) ;
 - *l'étendue du territoire concernée* : certains impacts peuvent toucher tout le territoire étudié alors que d'autres seront beaucoup plus localisés.
- **La capacité d'adaptation** (prise en charge actuelle ou potentielle), en regardant :
 - Le *niveau de sensibilité des acteurs* : on apprécie le degré général de prise de conscience dans la société de l'impact potentiel considéré ;
 - La *capacité d'adaptation* au regard du niveau de prise en charge actuelle ou potentielle (mesures et plans existants) ;

Les trois critères (niveau d'exposition/sensibilité/prise en charge) moyennés nous permettent alors d'établir une note de vulnérabilité à l'horizon 2050, variant de 0 pour une opportunité à 1 pour une vulnérabilité très forte.

	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Risque 1	0,30	0,30	0,40	0,33
Légende	très fort 0,8-1	très forte 0,8-1	très faible 0,8-1	très forte 0,8-1
	fort 0,6-0,7	forte 0,6-0,7	faible 0,6-0,7	forte 0,6-0,7
	moyen 0,4-0,5	moyenne 0,4-0,5	moyen 0,4-0,5	moyenne 0,4-0,5
	faible ou incertain 0,2-0,3	faible ou incertaine 0,2-0,3	bon 0,2-0,3	faible ou incertaine 0,2-0,3
	très faible 0 - 0,1	très faible 0 - 0,1	très bon à 0,1	opportunité 0 - 0,1

Figure 3 : Exemple de grille de notation de vulnérabilité

Point d'attention méthodologique

Cette analyse est réalisée à partir d'une notation sur des critères résultants du diagnostic des vulnérabilités futures sur la base de la bibliographie scientifique et des éléments de connaissance plus qualitatifs (à dire d'expert ou de gestionnaire) issus des entretiens réalisés. **Il n'existe donc pas de méthodologie « miracle » pour établir cette hiérarchisation des vulnérabilités.** Toutefois, les outils retenus permettent d'aider à la construction d'une vision transversale et hiérarchisée.



Principales sources de données

Pour mener à bien ce diagnostic, l'équipe de consultants s'est appuyée sur les ressources suivantes :

- **une base de ressources documentaires actualisée**, intégrant les derniers travaux et bases de données existantes sur le climat, les vulnérabilités du territoire et leurs méthodes d'analyse ;
- **des entretiens** avec les experts et gestionnaires du territoire menés conjointement par le bureau d'études et le syndicat mixte du Pays d'Arles ;
- **des outils et méthodologies** permettant de rendre compte des résultats et de hiérarchiser les vulnérabilités.

Périmètre de travail

Le territoire du PCET est composé par la somme des territoires du Pays d'Arles, du PNR des Alpilles et du PNR de Camargue. Pour le PNRA, les communes de Sénas, Eyguières et Lamanon, seront donc intégrées à l'étude de vulnérabilité. Pour le PNRC, le périmètre retenu sera celui de la charte révisée (2010-2022).

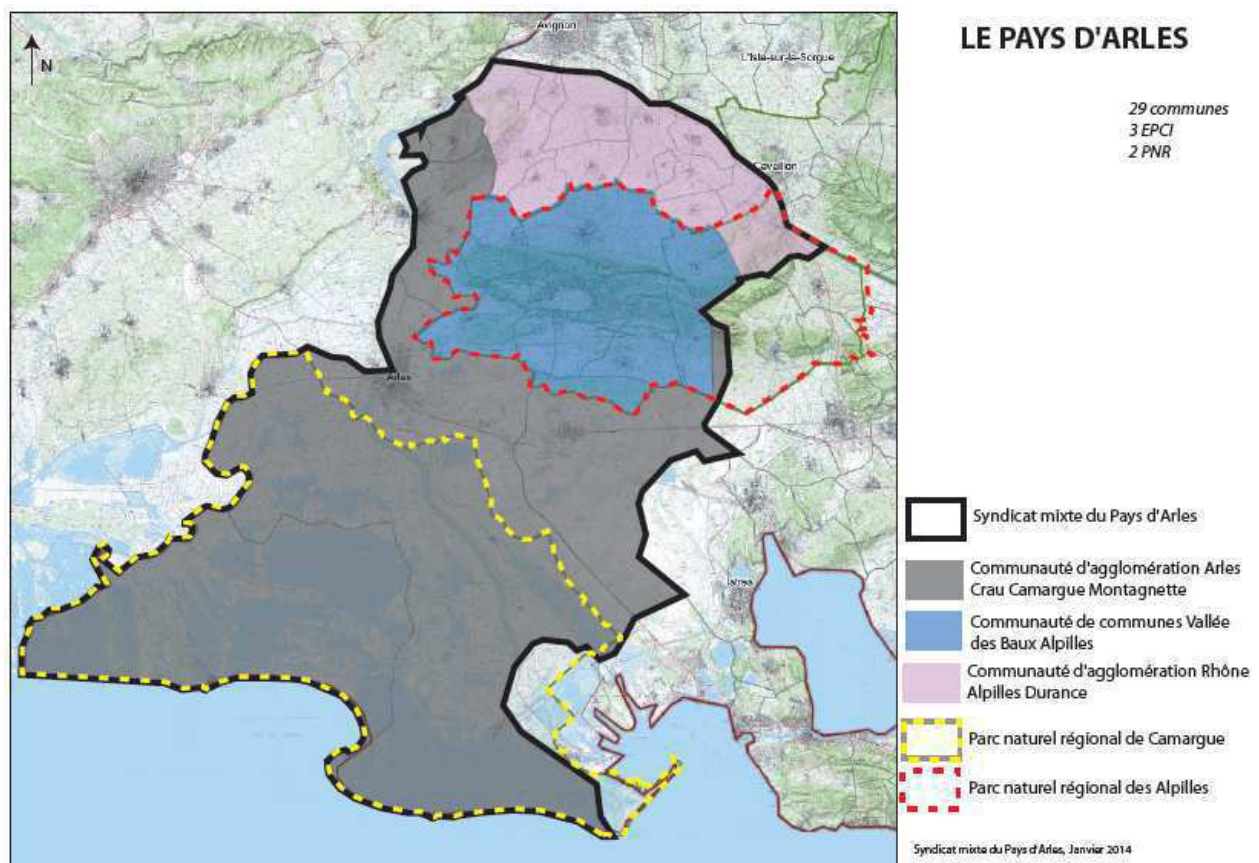


Figure 4: Les différents territoires de compétences et de projets du Pays d'Arles (au 28/11/2013)

Pour cette étude, une vision par infra-territoire a été définie, sur la base de caractéristiques économiques, géographiques et climatiques (comité technique du 27 mars 2014). Les cinq territoires suivants ont été retenus : Camargue, Crau, Plaine Rhodanienne, Comtat-Val de Durance, Alpilles et Montagnette. Ces territoires font l'objet d'une synthèse en fin de rapport.

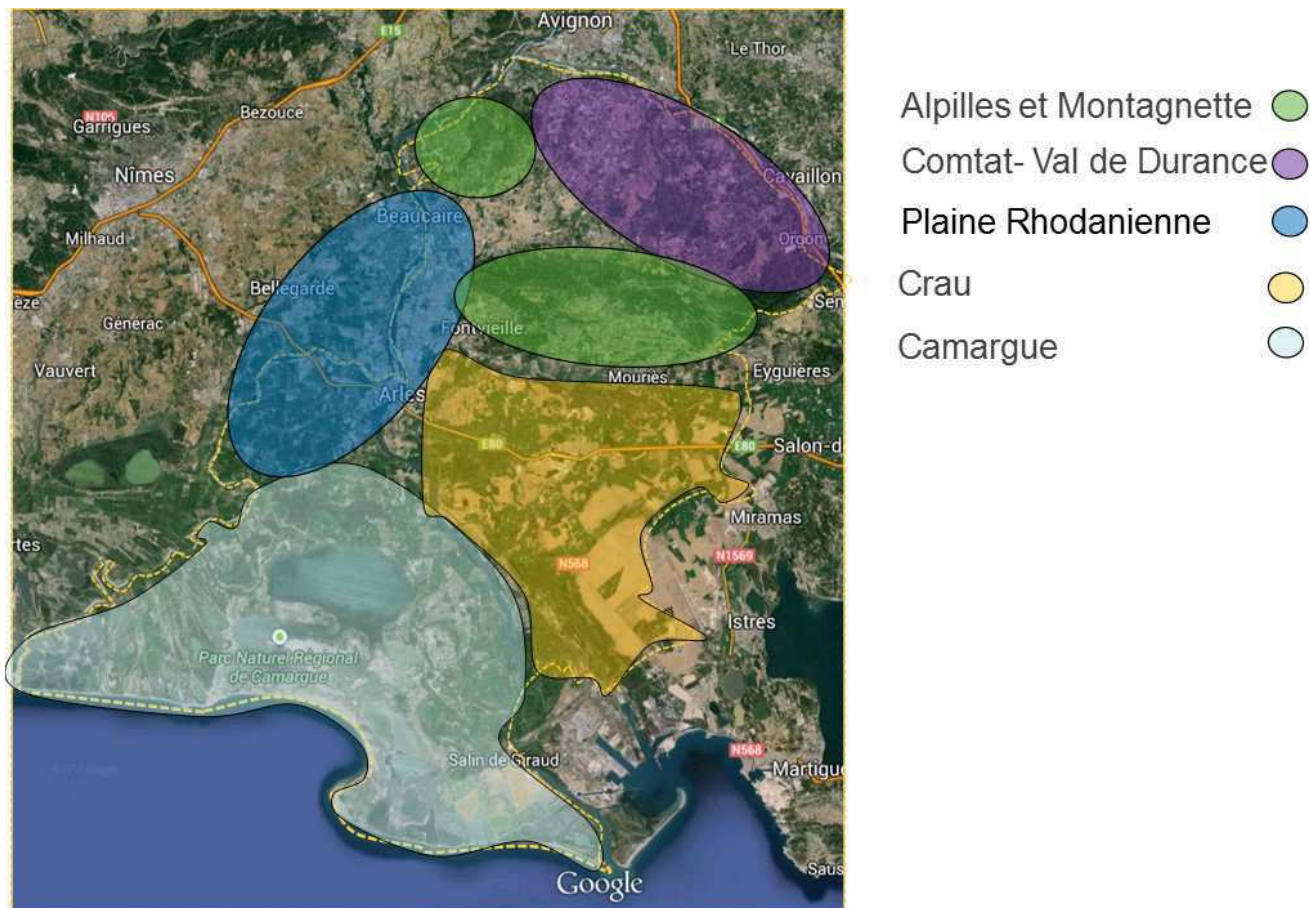


Figure 5 : Les divisions infra-territoriales retenues pour ce travail

Synthèse des évolutions climatiques

La configuration géographique du Pays d'Arles, au débouché du couloir rhodanien entre Cévennes et Alpes, influe nécessairement sur son climat. La région est en effet sensible au vent du nord soufflant dans la vallée du Rhône. La Tramontane est également un vent pouvant avoir des incidences sur le territoire, il s'agit d'un vent du nord-ouest, soufflant principalement sur le Languedoc Roussillon. L'origine de ces déplacements d'airs est l'effet d'une dépression sur le golfe de Gênes et d'un anticyclone sur les Açores et l'Espagne.

Le climat méditerranéen implique des températures douces en hiver, et des étés chauds et secs.

La proximité des massifs montagneux joue également un rôle important en ce qui concerne les précipitations. Les pluies sont favorisées par les dépressions formées sur le Golfe de Gênes et au large des Baléares. En automne et au printemps, des vents Est ou Sud-Est chargés d'eau viennent, principalement, rencontrer les Cévennes et parfois les Alpes, et forment des cumulonimbus au contact du froid (ce qui a parfois pour conséquence la formation d'orages). Il en résulte une pluviométrie qui peut être violente et courte en fonction du volume des nuages, des vents et des différences de températures.

Les évolutions du climat observées

Par l'étude des séries longues de stations météo environnant le Pays d'Arles telles que Orange, Carpentras, Aix-en-Provence, Salon-de-Provence, Marseille (on manque actuellement de telles données sur le territoire), on observe montrent des évolutions tendancielle notable au XX^{ème} siècle :

- **Du point de vue des températures :** +1°C en moyenne au XX^{ème} siècle (par exemple sur Orange une moyenne des années 1981-2013 plus chaude de 1,1°C par rapport à la moyenne de la période 1951-1980, avec une élévation plus marquée en été et au printemps (+2,8°C en été et +2°C au printemps à Carpentras). La durée des épisodes de forte chaleur augmente également (en moyenne entre 1964-1987 on comptait 41 jours de chaleurs supérieures ou égales à 30°C contre 65 jours sur la période 1988-2013 à Carpentras).
- **Du point de vue des précipitations :** on constate une légère tendance à la baisse des précipitations annuelles, avec surtout des variations saisonnières marquées : augmentation des précipitations automnales (+42% à Carpentras) et diminution des précipitations printanières et estivales (- 85mm de baisse des cumuls de pluie à Aix-en-Provence sur la période 1977-2007 sur les saisons printemps-été, source CIRAME), ce qui augmente la fréquence de sécheresse. Les séries historiques relevées à Salon-de-Provence, Carpentras et Aix-en-Provence convergent dans ce sens. En revanche, les observations effectuées par Météo France sur la période 1958-2008 dans la région méditerranéenne ne montrent pas de variation significative dans l'occurrence des pluies diluviennes.
- **L'élévation du niveau de la mer :** la conjonction des phénomènes d'élévation du niveau de la mer (+2 mm par an au XX^e siècle) et d'affaissement du delta du Rhône (déficit d'apport en matériel sédimentaire lié à l'endiguement du Rhône) ont abouti au XX^e siècle à une augmentation du niveau de la mer de 22cm et une perte de 450ha dans le delta de Camargue, ce qui se situe dans la fourchette haute de l'élévation constatée de la mer au XX^e siècle (entre 12 et 22cm d'après le GIEC). A Marseille, on enregistre une augmentation de +1.2 mm/an

entre 1896 et 2004 avec une accélération récente du phénomène (+ 3,1 mm/an entre 1993 et 2003).

- On n'observe pas de tendance dans l'évolution de l'intensité et de l'occurrence du vent.

Les avenir climatiques du Pays d'Arles

Sont présentées ci-dessous les tendances générales qui s'esquissent au vu des projections des différents modèles climatiques étudiés. Cinq projections ont en effet été étudiées permettant d'explorer le champ des possibles pour montrer la plage des incertitudes (projection de référence moyenne, projection « froide », projection « réchauffement modéré », projection « hiver chaud et humide », projection « chaude et sèche »). **Le Cahier climat du Pays d'Arles complète cette synthèse rapide.**

Les encadrés verts indiquent une forte convergence des projections, les oranges des résultats fortement divergents sur certains paramètres et les jaunes des résultats contrastés.

<p>Un climat plus chaud</p>	<p>Une élévation généralisée (horizons, saisons, territoire) des températures moyennes, minimales et maximales : Les températures moyennes s'élèveraient à +1,3° C (0,5° C – 1,7° C) en 2030, +2° C (1,4° C – 2,6° C) en 2050, +2,5° C (2,1° C – 3,5° C) en 2080.</p>
<p>Et peut-être plus sec</p>	<p>Des projections qui tendent à s'accorder sur un signal à la baisse du volume moyen de précipitation annuelle en dépit d'une forte dispersion des modèles et variabilité de l'indice : -2% (+1% à -19%), accentuation en 2050 -12% (-6% à -14%). En 2080, les signaux sont à nouveau contradictoire : -7% (1% à -23%). Tendance à la baisse du nombre annuel de jours de pluie à tous les horizons. La projection de référence indique la moins grande diminution. Cette baisse pourrait atteindre jusqu'à 7 jours en 2030, entre -2 et -9 jours en 2050, et entre -5 et -10 jours à l'horizon 2080. Spatialement, peu de différence notable sont à signaler sur le territoire des bouches du Rhône. Pas de signal annuel sur une augmentation ou une diminution des pluies intenses.</p>
<p>Des étés caniculaires et plus secs</p>	<p>La saison estivale est la plus exposée au réchauffement. En termes de tendance moyenne celle-ci est de l'ordre de +1,6° C (0,3° C – 2,2° C) à l'horizon 2030, de +2,7° C (1,2° C – 3,5° C) à l'horizon 2050 et +4° C (2,6° C-4,3° C). Un signal clairement à la hausse sur les extrêmes de températures mais une incertitude sur la fréquence de ces épisodes. Le nombre de jours supplémentaires de très fortes chaleur (> 35° C) serait compris entre 0 et 14 jours en 2030, 0 et 23 jours en 2050, 0 et 26 jours en 2080. La projection de référence indique les plus fortes augmentations soit un doublement des épisodes caniculaires à court terme et un triplement à moyen terme. L'arrière pays serait plus impacté que le littoral par la hausse des extrêmes. Une tendance à l'amplification de la sécheresse estivale affichée par tous les modèles. Diminution du volume de précipitations, augmentation du nombre de jours secs consécutifs quand bien même l'incertitude demeure grande sur ce dernier paramètre : entre + 1 et +27 jours en 2050, entre +3 et +25 en 2080.</p>

<p>Des hivers plus doux</p>	<p>Une élévation moins marquée des températures moyennes : + 1,2° C (0,8° C – 1,9° C) à l'horizon 2030, + 2,1° C (1,9° C – 2,6° C) à l'horizon 2050 puis +1,7° C (2° C – 3,6° C) à l'horizon 2080.</p> <p>Pas de tendance significative sur le volume et la fréquence des précipitations hivernales. En revanche, à l'exception de la projection « réchauffement modéré », l'ensemble des modèles envisagent une élévation des épisodes de très fortes pluies (>= 20 mm) en hiver à tous les horizons mais de fortes incertitudes demeurent sur leur fréquence.</p> <p>Franche diminution voire disparition du risque de gel dès 2030.</p>
<p>Des printemps plus secs</p>	<p>Une augmentation des températures moyennes pour le printemps mais moins marquée qu'en automne : +1° C (+0,5° C – 1,6° C) en 2030, +2,1° C (1,3° C – 2,2° C) en 2050, +2,5° C (2° C – 2,9° C).</p> <p>Les projections s'accordent toutes sur une diminution de la fréquence et du volume de précipitation de printemps à partir de 2050 : entre – 10% et –41% à cet horizon, –3% à –45% à l'horizon 2080 et un signal faible à l'augmentation du nombre de jours secs consécutifs : +2 jours (0-4) en 2050, + 6 jours (1-6) en 2080.</p>
<p>Des automnes plus extrêmes</p>	<p>Une saison automnale qui se réchauffe plus vite que le printemps : +1,4° C (0,2° C – 1,6° C) en 2030, +2° C (0,9° C – 2,6° C) en 2050, +2,8° C (1,8° C – 4,2° C) en 2080.</p> <p>Pas de signal clair sur la tendance relative au volume de précipitations mais baisse de la fréquence des pluies en automne (nombre de jours de pluie).</p> <p>Une augmentation attendue des extrêmes de températures et de précipitations :</p> <p>Élévation du risque d'épisodes caniculaires quand bien même l'incertitude demeure sur leur fréquence : +1,4 jours (0-4) en 2030, +3,6 jours (0 -4) en 2050, +4 jours (0-5) en 2080 de très fortes chaleurs (> 35° C).</p> <p>Une élévation légère des précipitations intenses en fin de siècle, sensiblement plus marquée pour les précipitations les plus extrêmes (> 20 mm).</p>
<p>Vers une baisse du vent?</p>	<p>Il est difficile de dégager une tendance sur la vitesse moyenne et les extrêmes car le vent est un paramètre très variable dans l'espace et le temps. Il est donc affecté largement par les moyennes dans les projections réalisées.</p> <p>Toutefois, certains travaux de recherche approfondie (Cerfacs) tendent à converger vers une diminution du vent, notamment sur la zone méditerranéenne à partir de 2050 qui s'accroît à l'horizon 2090 : diminution de la vitesse moyenne du vent à toutes les saisons avec une diminution des flux de nord entre novembre et avril et une augmentation de mai à octobre. Cette baisse reste toutefois faible (inférieure à 6%).</p>

Des éléments plus précis sont également fournis, quand cela est pertinent, dans les différentes parties thématiques (voir notamment la présentation des dernières projections sur l'élévation du niveau de la mer, p. 114 et suivantes).

Les ressources et milieux naturels face au changement climatique

Les impacts sur la ressource en eau

Synthèse : ressource en eau

- Le changement climatique modifie les précipitations (pluie et neige), et l'évapotranspiration des sols
- Ces modifications aggravent les dynamiques actuelles : quantité plus importante en hiver (potentiellement opportunité mais aussi risque de crues) et moins importante en été (conflits d'usage liés et qualité moindre), remontée du biseau salé en Camargue
- Combinés aux évolutions pressenties du territoire (déprise agricole, augmentation de la population), de l'ensemble du Bassin Durance/Verdon en amont (augmentation de des conflits d'usage entre énergie, eau agricole, activités touristiques, limitation des risque de crues avec anticipation du stockage), et de la législation (augmentation du débit réservé), ces modifications de la ressource quantitative et qualitative de l'eau impliquent une gestion plus tendue de la ressource en eau pour les différents usagers
- Il y a un mouvement vers une meilleure coordination des gestionnaires des eaux de surface (canaux d'irrigation et d'assainissement) et des ressources souterraines (SYMCRAU) qui, combinée à un vrai savoir-faire local en matière de gestion de l'eau, apporte de bonnes capacité d'adaptation, sous réserve que les investissements dans l'infrastructure et les efforts en termes de police de l'eau soient réalisés ;
- L'effort doit en revanche probablement être porté sur l'élaboration d'une vision commune des futurs partages de l'eau basée sur les derniers travaux scientifiques et sur une meilleure connaissance des besoins des milieux naturels actuellement remplis via le rechargement artificiel des nappes.

Caractérisation

Sur le territoire du Pays d'Arles, l'alimentation en eau potable est principalement d'origine souterraine (seules les Saintes-Maries-de-la-Mer puisent leur eau potable à partir du Rhône). 85% des prélèvements d'eau agricole viennent de ressources superficielles (soit 81347 Mm³), principalement à partir de la Durance via les 300 ouvrages de prélèvement du Pays que sont les puits, les pompes de canaux etc. Enfin, les prélèvements en eau industrielle sont également d'origine souterraine: 8Mm³ ont été déclarés en 2010 pour des usages industriels (refroidissement) dont la restitution est supérieure à 99% ce qui représente 0,0025% des prélèvements.

Les ressources superficielles

Le Pays d'Arles se situe sur le bassin hydrographique Rhône Méditerranée dans le périmètre de trois bassins versants, à savoir : celui de la Durance, du Rhône et le bassin versant côtier.



Le territoire du Pays d'Arles est traversé par de nombreux cours d'eau, dont les principaux sont :

- **le Grand Rhône**, c'est l'un des deux bras du delta du Rhône. Il traverse la commune d'Arles, et coupe le territoire du Pays au centre. À partir de Lyon, il coule vers le sud, entre Alpes et Massif Central, pour se jeter dans la mer Méditerranée sur la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône ;
- **le Petit Rhône**, en bordure ouest du territoire constitue le second bras du delta du Rhône. Quittant le lit principal du fleuve (Grand-Rhône) au nord d'Arles, il sépare symboliquement la Petite Camargue de la Camargue et se jette dans la mer Méditerranée sur la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer. Le Petit Rhône présente un cours largement endigué ;
- **la Durance**, en bordure nord : affluent de la rive gauche du Rhône, c'est une rivière alpine qui prend sa source dans les Hautes-Alpes et se jette dans le Rhône au niveau d'Avignon, après un parcours d'environ 300 km. Elle constitue l'un des espaces les plus riches sur le plan écolo-biologique de la façade méditerranéenne. La Durance est également la première rivière torrentielle de France, de type oued, qui a longtemps été crainte pour ses débordements. C'est aujourd'hui un des cours d'eau les plus aménagés de France. En particulier, l'aménagement hydroélectrique à partir du barrage de Serre-Ponçon, a conduit à un quasi disparition des périodes des hautes eaux et réduit l'occurrence des crues.

Globalement le réseau hydrographique du Pays d'Arles apparaît comme extrêmement complexe, avec des cours d'eau naturels pérennes ou non, des canaux d'irrigation, des fossés et des canaux d'assainissement qui reçoivent des eaux de drainage des terres agricoles.

Le fonctionnement hydrologique du territoire et sa gouvernance

Sur le territoire du Pays d'Arles, la gestion du réseau hydraulique et l'activité agricole structurent les enjeux écologiques et sociétaux en offrant de multiples services. Qu'il s'agisse du système hydrologique de la Crau et des Alpilles ou de celui de Camargue, leur fonctionnement est à l'inverse des rythmes naturels puisque les eaux sont acheminées (via la Durance et le Rhône) en fonction des besoins agricoles, c'est-à-dire en période d'étiage.

Le fonctionnement hydrologique de la Crau et des Alpilles

Le Pays d'Arles est situé en bout de chaîne du réseau hydraulique Durancien aménagé par l'homme depuis plusieurs siècles. Le territoire est parcouru par un réseau dense de canaux qui apporte la ressource en eau nécessaire aux activités agricoles et par extension à la consommation en eau potable de ses habitants. Aujourd'hui, les principaux canaux présents sur le territoire sont les suivants : le Canal du Vigueirat, le Canal de la Vallée des Baux, le Canal de Craponne, le Canal septentrional des Alpilles.

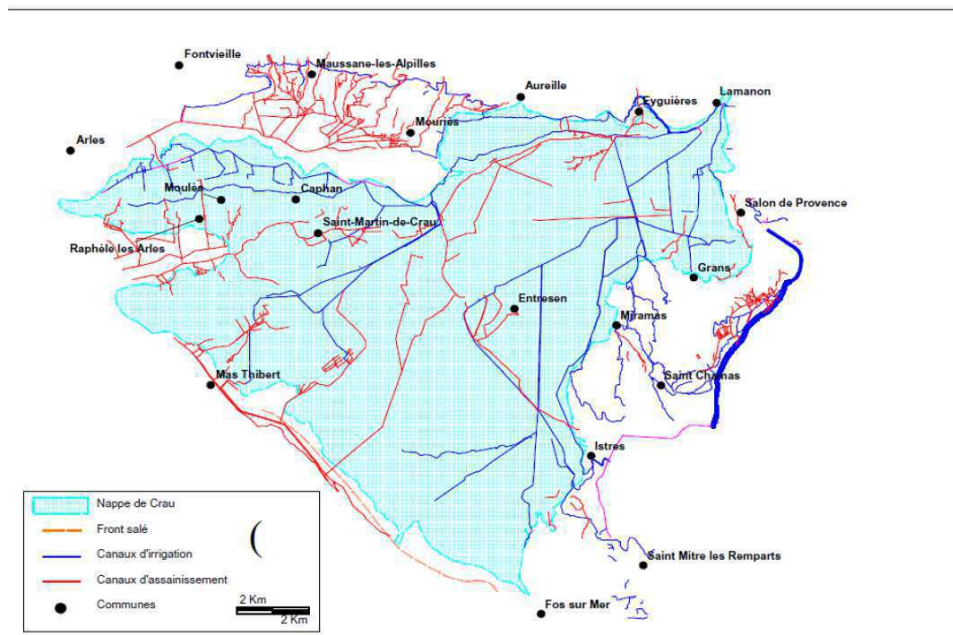


Figure 6 : Réseau Hydraulique de la Crau et des Alpilles (Source ; PNRA)

Le réseau de canaux du Pays d’Arles permet à la fois de limiter les crues ainsi que d’assurer le transfert des eaux de la Durance, permettant ainsi aux activités humaines de s’y développer. L’agriculture irriguée permet l’alimentation des nappes d’eau souterraines destinées à l’alimentation en eau potable des communes et industrielle notamment. Ils participent à l’écoulement des eaux pluviales et peuvent jouer un rôle modérateur dans les inondations de la plaine, lorsqu’il ne s’agit pas de crues exceptionnelles¹. Les ouvrages hydrauliques jouent un rôle majeur dans la gestion de l’évacuation des eaux pluviales notamment torrentielles (exutoire des gaudres notamment), l’assèchement des terres agricoles et participent ainsi de l’assainissement collectif. Par ailleurs, ils jouent également un rôle de soutien du niveau des cours d’eau en période d’étiage estivale et participent à l’entretien des zones humides et de leurs écosystèmes spécifiques, contribuant au maintien des paysages et de la biodiversité. Enfin, ils peuvent être utiles à la lutte contre les incendies et jouent un rôle écologique et paysager important (EIE SCOT, 2012).

Le premier ouvrage hydraulique transférant de l’eau hors du bassin de la Durance a été construit au XVI^{ème} siècle : il s’agit du canal de Craonne – 45 km de long et débit transporté de 23,4 m³/s – pour la desserte de la plaine de la Crau, qui connut à partir de cette époque un développement continu de l’agriculture irriguée. Les infrastructures d’alimentation de la Crau furent complétées à la fin du XVIII^{ème} siècle par la branche méridionale du canal des Alpines, dont la branche septentrionale alimente le Comtat des Bouches-du-Rhône au nord des Alpilles. Les canaux des Alpines dérivent actuellement 16,2 m³/s. Ces aménagements ont accompagné un développement important des besoins pour l’agriculture, mais leur fonctionnement se heurtait à la limite que constituait le débit d’étiage de la Durance, la somme des dotations (90 m³/s en 1890) étant nettement supérieure aux 30 ou 40 m³/s véhiculés en période critique en aval de la confluence avec le Verdon.

L’aménagement hydroélectrique de l’axe Durance-Verdon dans les années 1950 a permis de fiabiliser le système avec la mise en place une réserve agricole dans les grands réservoirs de

¹sur le rôle important joué par les canaux d’assainissement, se reporter à la partie Risques naturels



Serre-Ponçon. Sur 1,2 milliards de m³ de volume utile, 200 millions de m³ constituent cette réserve agricole. La réserve est gérée par la Commission exécutive de la Durance (structure étatique créée dès 1907 pour gérer les conflits liés aux prises d'eau de la Durance suite à une période de sécheresse) en collaboration avec EDF. A la fin des années 1960, avec la construction du canal EDF, les prises d'eau ont été déplacées et les droits d'eau historiques revus sur la base d'une estimation d'EDF : 114 m³/s au total avec des droits d'eau maximum du 1er mai au 31 août, et avec un débit de 40 m³/s lors d'étiages très marqués. La Commission Exécutive de la Durance assure la répartition des eaux de la Basse Durance, à l'aval du pont de Mirabeau, entre les quatorze prises historiques concédées sur les départements du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône.

Le fonctionnement hydrologique de la Camarque

Le delta a aujourd'hui un fonctionnement hydrologique contra-cyclique et fortement anthropisé. L'eau douce est pompée depuis le Rhône pour la riziculture qui forme l'armature centrale de l'agriculture et de l'économie locale. La mise en eau du sol pour la culture du riz permet de lutter contre la salinisation du sol, la culture du blé va empêcher le développement des mauvaises herbes responsables d'une moindre productivité du riz et la luzerne contribue à la régénération du sous-sol.

La culture du riz nécessite un apport massif en eau (50 000 m³ / ha) qu'il faut pouvoir évacuer en hiver pour l'assèchement de sols pour le blé dur ou la luzerne. Cette eau n'entre pas en période de précipitation du mois d'avril au mois de septembre. Il entre autant d'eau par irrigation que par précipitation soit environ 400 millions de m³ / an. On transforme des milieux secs en milieux inondés. Une grande partie de cette eau s'infiltré et/ou est drainée vers le Vaccarès et la réserve nationale de Camargue, eux-mêmes connectés à la mer Méditerranée par le pertuis de la Fourcade qui doit permettre l'évacuation des surplus d'eau. Cependant la majorité des rejets se fait par évacuation vers le petit et le grand Rhône ainsi que par évapotranspiration.

Enfin, au niveau des salins, un système d'étangs dédiés à la saliculture permettait d'amener des lames d'eau directement pompées depuis la mer au niveau du golfe de Beauduc. Les neuf-dixième de cette eau doivent être évaporés ; pour ce faire l'eau circule dans des surfaces de manière à ce que son épaisseur soit faible (30 centimètres.) Des systèmes d'étangs, de digues et de pompes permettent ainsi la circulation des lames d'eau qui effectueront au total plus de 50 kilomètres avant d'être suffisamment concentrées en chlorure de sodium. Depuis l'achat des étangs par le conservatoire du littoral en 2007, ce fonctionnement est remis en question et était directement introduite dans les salins à hauteur de 80 millions de m³.

Le schéma ci-dessous illustre les principales dynamiques à l'œuvre en 2005 avant le rachat des salines de Giraud.

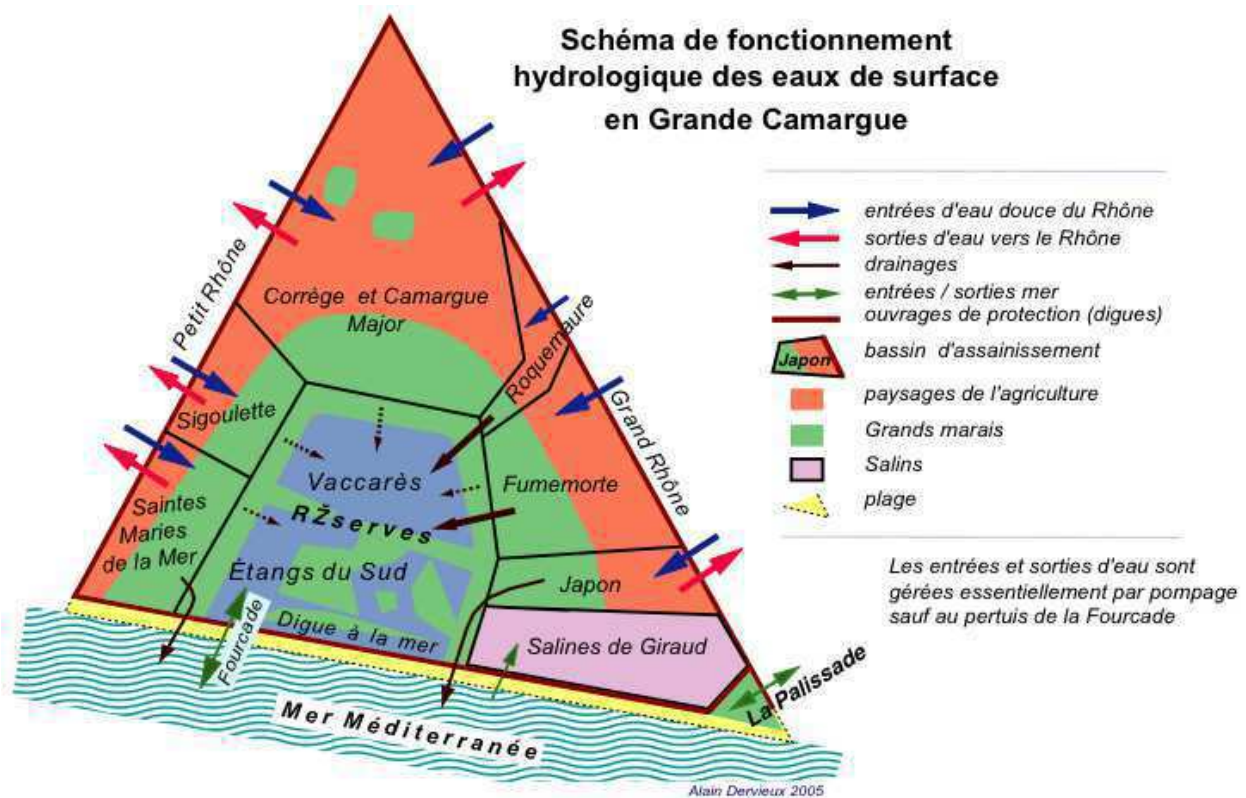


Figure 7 : Schéma de fonctionnement hydrologique

Source : A Dervieux, « La difficile gestion globale de l'eau en Camargue (France) : le Contrat de delta », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 6 Numéro 3 | décembre 2005

La gouvernance des réseaux d'eau en Pays d'Arles

Deux composantes forment le réseau hydraulique artificiel du Pays d'Arles et de la Camargue :

Un réseau d'irrigation, lié à l'agriculture qui charrie des volumes d'eau importants, particulièrement d'avril à septembre pendant les mises en culture, mais également en hiver et en automne où les eaux pluviales empruntent également ces derniers ;

Un réseau de drainage qui collecte, en plus des eaux issues de l'irrigation, les eaux pluviales des voiries et des milieux urbains. Les eaux de drainage peuvent être rejetées directement dans le Vaccarès comme c'est le cas des bassins de Fumemorte et de Roquemore qui, pour s'écouler, dépendent du niveau de l'étang. Elles peuvent également être pompées vers le Rhône ou vers la mer comme les bassins des Saintes-Maries, de la Sigoulette, de Corrège Major et du Japon. Pour certains ce pompage est effectué en fonction du niveau d'eau du Vaccarès (s'il est trop rempli, les eaux de drainages ne s'y écoulent pas.)

Ces systèmes hydrologiques complexes nécessitent une gestion fine quotidienne. Ils sont gérés par des Associations syndicales Associations Syndicales de Propriétaires (ASA, ASCO, ASL) en ce qui concerne les secteurs collectifs. Leur rôle est d'apporter ou d'effectuer des levées d'eau aux usagers des canaux concernés. Elles sont regroupées dans des Syndicats mixtes.

Depuis plusieurs années, un mouvement vers plus de coordination entre gestionnaires des réseaux d'irrigation et de drainage a été entrepris par la création de quatre contrats de milieu sur le territoire : le Contrat de delta de la Camargue (2012-2017) porté par le Parc naturel régional de Camargue, le Contrat de canal Crau Sud Alpilles (2014-2020) porté par le Syndicat des arrosants de la Crau, et enfin, en cours d'élaboration, le Contrat de nappe de la Crau porté

par le SYMCRAU et le Contrat de canal du Comtat à la Mer porté par le SICAS. Leur objet est de concilier la pérennisation de l’approvisionnement en eau, le développement des activités socio-économiques, la gestion des risques, la préservation et la restauration des milieux naturels, la sensibilisation du public à l’eau et la mise en œuvre d’une gouvernance locale dans le domaine de l’eau. Les démarches ont toutes pour principes : la création d’un comité composé des parties prenantes du territoire que sont les collectivités territoriales, les services de l’Etat et les usagers ; l’élaboration d’un diagnostic partagé par les acteurs du territoire ; la signature d’un contrat qui fixe des objectifs de résultats accompagnés de moyens et planifiés dans le temps.

Les ressources souterraines

Les eaux souterraines représentent une ressource majeure pour la satisfaction des usages et en particulier l’alimentation en eau potable. Elles ont également un rôle important dans le fonctionnement des milieux naturels superficiels : soutien des débits des cours d’eau, en particulier en période d’étiage, et maintien de zones humides dépendantes. Suivant le niveau de la ligne d’eau, et les saisons, la nappe alimente le cours d’eau ou est alimentée par celui-ci notamment lors des inondations. Dans le cas de secteurs karstiques, ces relations sont importantes et localisées. Sur le territoire, on distingue quatre masses d’eau souterraines affleurantes et une masse d’eau profonde :

Niveau de masse d’eau	Nom de la masse d’eau	Type de masse d’eau
Affleurante	Domaine limons et alluvions quaternaires du Bas Rhône et Camargue	Imperméable localement aquifère
	Cailloutis de la Crau	Dominante sédimentaire
	Alluvions du Rhône du confluent de la Durance jusqu’à Arles et Beaucaire + alluvions du Bas Gardon	Alluviale
	Calcaire et marnes des Alpilles	Intensément plissé
Profonde	Calcaires sous couverture tertiaire de la plaine du Comtat	Dominante sédimentaire

Figure 8 : Masses d’eau souterraines présentes sur le territoire du Pays d’Arles

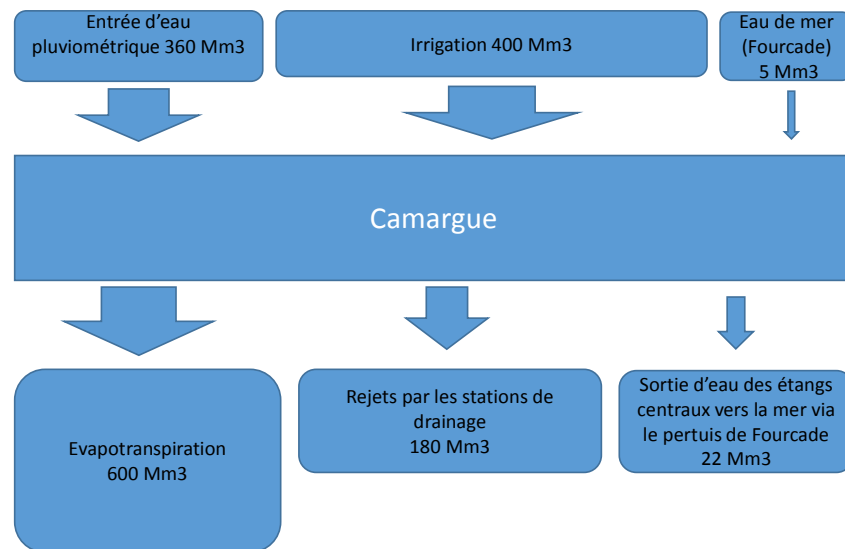
Source : Eaufrance, in EIE SCOT, 2012

La nappe limoneuse de la Camargue est affleurante et dépend principalement des apports issus des captages des eaux via l’irrigation. Sans ces derniers, ce delta serait une zone désertique et salée avec un biotope différent puisqu’elle connaîtrait un déficit de 900mm / an (Entretien Tour du Valat). L’apport en eau douce via les activités agricoles (en particulier la riziculture depuis les années 1970) permet donc l’existence permanente de zones humides douce. C’est une masse d’eau qui connaît une forte anthropisation (drainage et maintien en eau des rizières, dessalage des terres) et dont la qualité est dépendante de celle du Rhône (de mauvaise qualité) et des pratiques agricoles (la riziculture consomme des produits phytosanitaires).

Le bilan hydrologique des eaux de surfaces ci-dessous permet de se rendre compte de l’importance des entrées d’eau douce via l’irrigation (issue du Rhône pour la riziculture). Il met également en avant les difficultés d’évacuation de l’eau vers la mer vers le pertuis de Fourcade qui demeure limité (en fonction de la surcote marine, il est possible que l’eau de mer entre plus



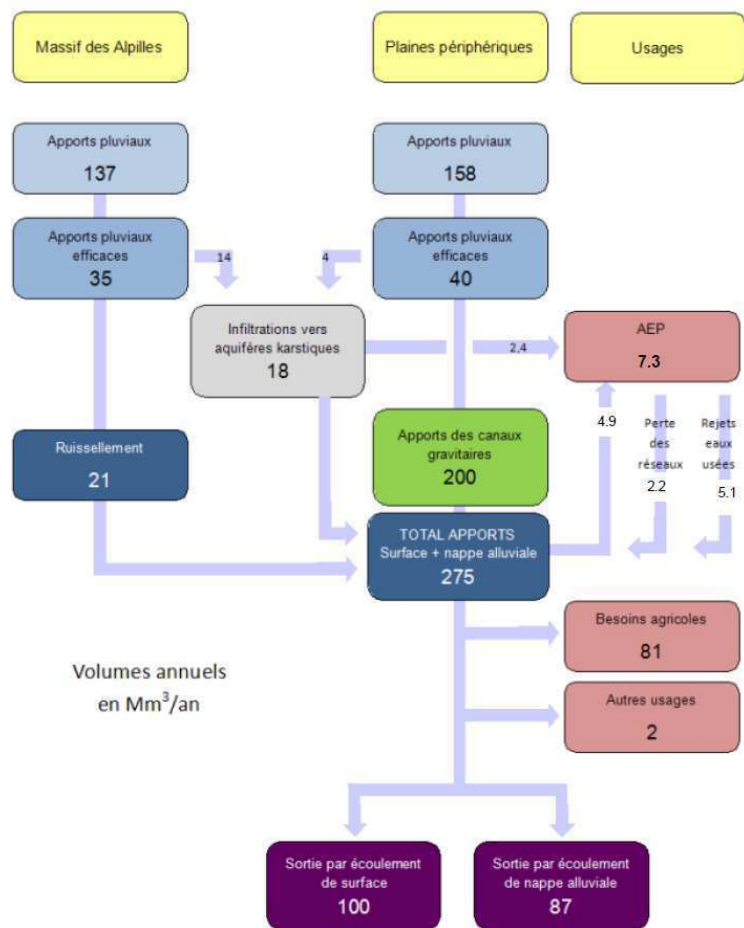
qu'elle ne sorte). Cette problématique est particulièrement prégnante en hiver lorsqu'il est nécessaire de ressuyer les terres et qu'il faut « vider » l'étang de Vaccarès. Or l'hiver est une période où la pluviométrie peut être importante et où le débit des Grand et Petit Rhône est également fort.



*Figure 9 : Bilan hydrologique annuel de la Camargue
(Schéma TEC, d'après Contrat de Delta)*

La **nappe alluviale du Rhône** est située à faible profondeur, sub-affleurante, voire affleurante par endroit. Elle se recharge par l'intermédiaire des précipitations et de l'infiltration des eaux du Rhône, de la Durance et des canaux d'irrigation. Les écoulements y sont libres, localement rendus captifs par l'existence d'une couverture limoneuse peu perméable. Cette nappe permet de répondre à des besoins non négligeables en AEP. Cependant, la qualité des eaux de celle-ci se dégrade, et la présence de nombreux aménagements urbains (axes routiers, pipe line) limite les possibilités d'installer de nouveau captages. Par ailleurs le secteur très agricole (serres, vergers, vignes) de Châteaurenard induit une pression supplémentaire sur la ressource.

La **nappe karstique des Alpilles** appartenant au domaine Provençale, elle est majoritairement composée de calcaires et de marnes. Les écoulements y sont libres, localement rendus captifs par les couches marneuses. Son état qualitatif et quantitatif est bon. La recharge des aquifères du Jurassique (Mouriès, Eyguières, massif d'Opiès et du Grand Brays) et ceux du Crétacé supérieur de la chaîne des Alpilles, dépend directement des précipitations. Ces nappes sont vulnérables aux pollutions du fait des infiltrations directes. Son état qualitatif et quantitatif est bon. Les nappes Karstiques des Alpilles rechargées par des apports pluviaux efficaces demeurent excédentaires par rapport à leurs utilisations en eau potable (18Mm3/an pour une consommation de 2,4 Mm3/an). Par ailleurs, pour les Alpilles également, l'apport des canaux gravitaires demeure très important et permet d'éviter la trop forte saisonnalité de l'apport pluvial.



Source : SOGREAH PNRA, 2012

Figure 10 : Bilan hydrologique PNRA et des plaines périphériques

La **nappe alluviale de la Crau**. La plaine de la Crau et son aquifère sont l'ancien exutoire de la Durance, qui se jette aujourd'hui dans le Rhône au niveau d'Avignon. L'aquifère de la Crau, d'une surface de 545 km² est remarquable quant à la mise en évidence de la particularité hydraulique des Bouches-du-Rhône : il se situe sous un milieu originellement sec (Coussouls) avec des sols pauvres. La nappe est principalement alimentée par les surplus d'irrigation agricole grâce au réseau de canaux de la Crau et du Sud-Alpilles. Les réseaux d'irrigation gravitaire de la Crau sont constitués d'environ 400 km de canaux principaux et secondaires et de plus de 1600 km de filioles. La nappe de Crau fournit ainsi de l'eau potable à 300 000 habitants des Bouches-du-Rhône mais aussi aux agriculteurs et aux industriels. Par ailleurs, la nappe permet le maintien des zones humides : l'aquifère Craven est classé d'intérêt patrimonial par le SDAGE). L'Organisme Unique de Gestion Collective (OUGC) a établi en 2012 une estimation des entrées et sorties d'eau à partir de nombreuses études. Il en ressort que l'équilibre entre les entrées et les sorties d'eau est presque atteint.

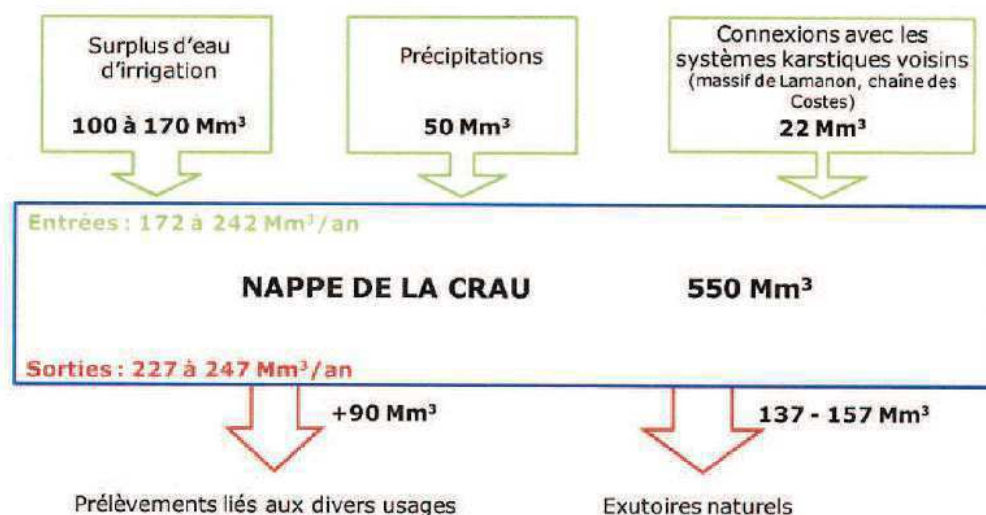


Figure 11 : Flux d'eau de l'aquifère de la Crau

Source : Etude sur les prélèvements en eau de la nappe de la Crau dans le cadre de l'Organisme Unique de Gestion Collective (OUGC), 2012

Le schéma ci-dessus confirme que les entrées d'eau confirment l'importance de la restitution souterraine des eaux d'irrigation gravitaire. Sur la Crau, 12 500 hectares de foin de Crau arrosé en gravitaire sont recensés. Les besoins de ces cultures en eau sont de 15 000 à 25 000 m³ par hectare et par an. On estime ainsi qu'un hectare de prairie irriguée alimente 200 habitants par an (communication C.Alcazar). En effet, d'après plusieurs études, le taux de restitution en nappe souterraine des eaux d'irrigation est estimé aux deux tiers, le tiers restant étant constitué de l'infiltration des précipitations et aux connexions de la nappe avec les systèmes karstiques. Il est important de noter que le surplus d'irrigation diminue sur la période récente à cause des pertes de prairie de foin de Crau (urbanisation, projets autoroutiers...) et lié à la diminution de la pluviométrie constatée (attribuable au changement climatique selon l'OUGC).

Les sorties d'eau sont difficiles à évaluer du fait de la difficulté à connaître tous les prélèvements dans la nappe : si les prélèvements liés à l'eau potable sont bien connus et suivis, les prélèvements industriels et surtout agricoles le sont moins. L'OUGC estime qu'en 2010, le premier usage de la nappe est agricole (46 Mm³/an), suivi par l'usage eau potable (25 Mm³) et enfin l'usage industriel (17 Mm³). Une étude sur les volumes prélevables de la nappe et un meilleur suivi des forages agricoles (l'OUGC estime que seulement un tiers des forages étaient déclarés en 2012) et des prélèvements industriels sont en cours. Les exutoires naturels de la nappe de la Crau sur le territoire sont les sources en bordure des marais des Baux (Santa Fé) et sur Mouriès (sources de débordement). Le marais des Baux correspond à la zone de débordement de la nappe de la Crau.

La gouvernance hydraulique de cette zone est complexe. La gestion de la nappe fait l'objet d'une démarche dite de Contrat de nappe portée par le SYMCRAU (diagnostic réalisé, concertation en cours), qui vise, tout comme les Contrats de canaux et de delta, à améliorer la gouvernance de la gestion de l'eau et des milieux, de manière concertée avec tous les acteurs et usagers du territoire.

La nappe calcaire profonde est un aquifère mal connu du fait du faible nombre de forages qui ont atteint la masse d'eau. Du fait de la couverture tertiaire importante qui la protège cette masse d'eau subit peu de pression. De plus la ressource offerte par ailleurs étant suffisante pour satisfaire les besoins du secteur la nécessité d'exploiter ces calcaires ne s'est jamais posée.



Qualité de la ressource

L'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) a conduit à dresser un état des lieux récent et à identifier les principaux scénarios d'évolution, devant permettre d'atteindre un « bon état écologique » en 2015. Le SDAGE Rhône-Méditerranée pour l'année 2009 donne les résultats suivants : sur la partie Nord du territoire, les pressions les plus fortes sur l'eau sont directement liées à l'urbanisation (rejets, aménagements du lit de berges, prélèvements) ; dans la partie Sud du territoire du SCoT, les pressions sont liées à la qualité des eaux du Rhône et à la pollution diffuse des eaux de drainage dues à la riziculture.

Plus globalement, l'artificialisation de ces milieux, l'intensification des pratiques agricoles, touristiques et industrielles et la présence d'espèces invasives sont autant de pressions qui mettent en difficulté la bonne application de la directive.

D'où vient la pollution de l'eau en Camargue ?

Deux principaux facteurs : le Rhône et la riziculture

Les pesticides en Camargue proviennent de deux voies : la principale est celle du Rhône puis viennent les produits phytosanitaires des rizières de Camargue. Ces deux sources représentent respectivement 10% et 90% des pesticides que l'on retrouve dans les milieux.

Le cas de la pollution au PCB (**polychlorobiphényle**) du Rhône est notamment connu. Le PCB est un composant utilisé pour les isolant électrique qui a été interdit car il a des effets neurotoxiques, il provoque des troubles de la fertilité et des cancers après ingestions par les animaux puis par l'homme en bout de chaîne. Il a été détecté à des taux 40 fois supérieur aux normes de l'OMS lors de prélèvement de poissons et de sédiments. La pêche est interdite dans le Rhône et en Camargue. (Source : Cemagref)

L'itinéraire culturel du riz prévoit quant à lui des traitements herbicides (3 à 4 par an) et insecticide (un par an) contre la pyrale (des papillons dont les chenilles endommages les cultures) ainsi que des apports en engrais (150 unités d'azote / ha / an). (Source ; Contrat de delta Camargue, Diagnostic et état des lieux).

Des pollutions localisées d'origines domestique

Le système d'assainissement de la ville des Saintes-Maries de la mer existe depuis 1979 et est composé d'un lagunage d'une capacité de 18 000 équivalents habitants. Le rejet du lagunage est réalisé dans un canal qui rejoint le grau de Fourcade et est géré par une vanne régissant les échanges entre la mer et l'étang des impériaux. Des séries de tests réalisés en 2005 ont montré que ces rejets ne sont pas conformes aux objectifs de qualité règlementaire : les taux de demande chimique en oxygène et de demande biologique en oxygène dépassaient les seuils règlementaires dans 19 cas sur 25 pour le premier du fait de la présence de chlorures notamment et dans 7 sur 25 cas du fait de présence de graisses, et de la septicités des effluents... Cette station est en cours de mise en conformité, un appel d'offre a été lancé en ce sens en 2013 après enquête publique.

Par ailleurs, plusieurs hameaux ne sont pas reliés à des réseaux d'assainissements trop complexes à installer et rejettent des effluents directement dans les milieux dont certains, vers les canaux, sont non négligeables. (Sources : Contrat de delta Camargue : Diagnostic et état des lieux ; Mairie des Saintes Maries de la Mer).

Les eaux souterraines gardent une meilleure qualité même si elles demeurent soumises à des pressions locales.



Impacts des changements climatiques sur les eaux de surface

Dans cette partie est traitée la vulnérabilité au changement climatique des eaux de surface du Pays d'Arles. Une première sous-partie traitera des impacts de l'hydrologie Crau-Alpilles et une seconde sous-partie de l'impact sur l'hydrologie de la Camargue.

En un siècle, la température s'est élevée de près de 1°C en France. Cette tendance se confirme en Provence : on a observé une augmentation des températures de 1,1°C à Orange entre 1951 et 2013. Certaines séries historiques montrent également une tendance à la baisse des précipitations estivales et printanières comme le montre l'analyse saisonnière de l'évolution des cumuls de pluie à Salon de Provence dans la figure ci-dessous :

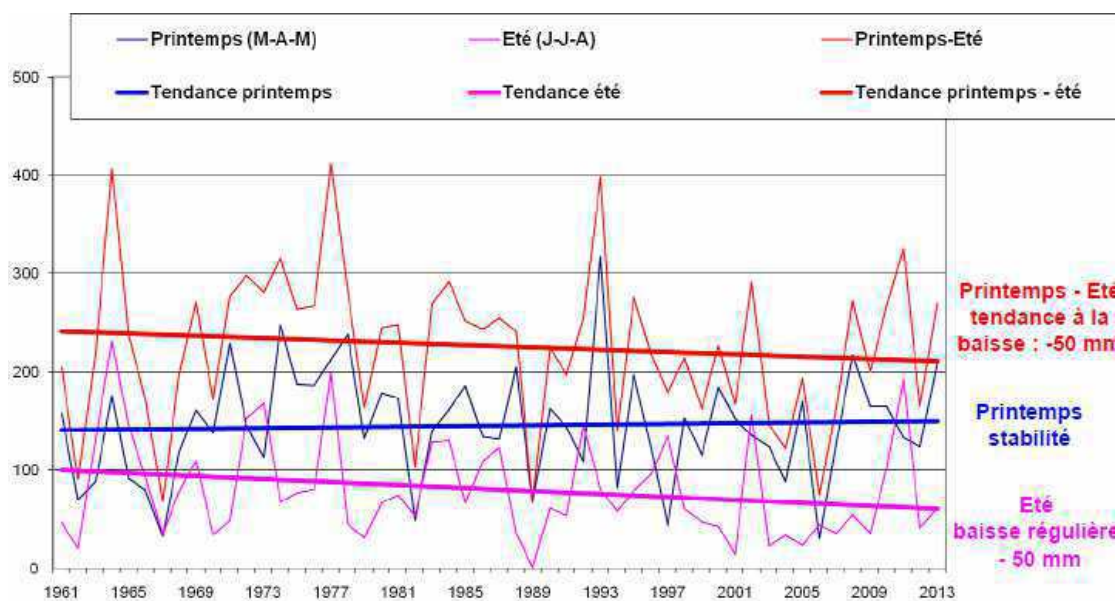


Figure 12 : Analyse de l'évolution des cumuls de pluie à Salon-de-Provence (1961-2013).

Source : CIRAME

Pourtant, même si des évolutions climatiques graduelles ont déjà été observées au XX^{ème} siècle (augmentation des températures, modifications de la pluviométrie, augmentation de l'évapotranspiration), leur influence sur les masses d'eau est difficile à appréhender dans un système hydrographique fortement anthropisé, et qui de plus fonctionne à l'inverse du climat méditerranéen du fait de l'apport d'eau agricole de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'été.

Attention, comme pour les autres secteurs économiques, il est difficile d'étudier directement les impacts du changement climatique sur la ressource en eau car les effets des changements climatiques se mêlent à ceux du progrès technologique, des changements sociaux et économiques, et de la réglementation.

En effet, la gestion de la ressource en eau du territoire du Pays d'Arles dépend aujourd'hui autant des usages de l'eau faits en amont des cours d'eau qui nous approvisionnent, que de la pérennité de l'irrigation agricole de la Crau et de Camargue, de la réglementation (cf. débits réservés), de la capacité de gestion de crise, de la politique de l'Agence de l'Eau (économies d'eau imposées pour tous les usages de l'eau), que de projets structurants tel qu'Aqua Domitia de transfert de l'eau du Rhône, etc.

Impacts sur l'hydrologie Crau-Alpilles

Impacts d'ores et déjà observés

Jusqu'à présent, la gestion de la retenue de Serre-Ponçon et de la réserve agricole a permis de prémunir les agriculteurs contre le phénomène de sécheresse et d'étiages sévères. Dans les 50 dernières années, seules 3 années ont vu des dépassements de cette réserve (1989, 1990 et 2007).

La crise majeure de 2007 a toutefois été mémorable pour l'ensemble des gestionnaires. Cette crise liée au déstockage précoce d'EDF, et non à une sécheresse climatique, reste un exemple instructif dans la mesure où il donne des indications pour les gestions de crises futures qui pourraient s'accroître et devenir plus fréquentes du fait des changements climatiques et de possibles conflits d'usages (voir partie suivante), tout en donnant la mesure du coût d'un dépassement de la réserve agricole.

Le coût de la crise de 2007

2007 était une année de bonne pluviométrie, mais EDF a déstocké dès avril. Le besoin en eau estival restant le même pour les cultures, la réserve agricole a été dépassée de 50 millions de m³ cette année-là. En 2007, on estime le coût de cette surconsommation d'eau agricole à 30€/ha en moyenne, 10% étant restés à la charge des ASA.

Les agriculteurs ont réussi à limiter les conséquences sur leurs rendements grâce aux négociations, mais ceux en bout de canaux ont souffert. Il a fallu transporter des citernes d'eau pour les éleveurs ovins. On estime à 300k€ le coût pour la Crau.

Suite à cette crise majeure, l'Etat (qui a également dû couvrir la facture de 700 000 euros de manque à gagner d'EDF pour avoir fait tourner les turbines en septembre plutôt qu'en janvier), la CED a décidé de mettre en place un « Protocole de gestion de crise » en concertation avec les ASA, qui sera testé dès l'été 2014.

Suite à cette crise de 2007 qui a marqué les agriculteurs et l'Etat par son coût, la CED a lancé une démarche nommée « Protocole de gestion de crise » qui met en place des procédures de déclenchement des restrictions et de ventilation par canal. Cette démarche a fait l'objet de réunions en groupe de travail depuis le printemps 2012 en association avec les ASA, et devrait faire l'objet d'un test grandeur nature en août 2014. Le contrat de nappe en cours d'élaboration a également pour objectif de mettre en place des seuils d'alerte et de procédures en cas de pénurie, pour gérer des crises comme celle de 2007 avec des scénarios.

Sources : communications J.Hors, J.-L.Plazy

La problématique du débit réservé est particulièrement imbriquée à celle de la gestion de crise, particulièrement en période de sécheresse, lorsqu'il est nécessaire d'utiliser la réserve agricole de 200 Mm³ de Serre-Ponçon.

L'augmentation de ce débit réservé au 1^{er} janvier 2014, conduirait à augmenter le risque de dépassement de la réserve agricole comme cela s'est produit en 1989, en 1990 et en 2007 de 1/17 année à 2/10 années selon le meilleur des scénarios EDF (communication C.Alcazar). Bien que le dépassement soit majoritairement, selon les simulations, inférieur à 5Mm³ sur 20 ans, des cas extrêmes peuvent survenir. Dans ce dernier cas, il est indispensable de mettre en place une gestion flexible et anticipatrice du débit réservé en lien avec la CED et les autorités compétentes et l'ensemble des parties prenantes lorsque le niveau de déstockage arrivé en avril serait trop important.

Modélisation des débits naturels de la Durance sous changement climatique

Dans un système hydrographique fortement anthropisé, et qui de plus fonctionne à l'inverse du climat méditerranéen du fait de l'apport d'eau agricole de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'été, l'influence des paramètres climatiques locaux sur les masses d'eau est difficile à appréhender. Notre territoire est en effet beaucoup plus dépendant des transferts d'eau provenant de la Durance, et du Rhône dans une moindre mesure. C'est pourquoi les modélisations hydrologiques réalisées pour le Rhône et la Durance sont éclairants sur la disponibilité future en eau sur notre territoire en contexte de changement climatique.

La hausse des températures en hiver entraîne une modification des durées et de la quantité d'enneigement. Les températures trop élevées font qu'il pleut plus qu'il neige. Concernant la durée annuelle d'enneigement, des recherches spécifiques ont été réalisées dans le cadre du projet SCAMPEI (projet de recherche ANR, 2007-2010) sur trois modèles climatiques et trois scénarios d'émissions (A2, A1B, B1). Les résultats montrent une baisse de la durée annuelle d'enneigement de -40 à -60% dès 2030 à 1200m au sud des Alpes. En 2080 cette baisse serait au sud des Alpes de -55% à -80%.

Il en résulte que les stocks de neige sont moins importants. Or les débits au printemps et en été de la Durance sont soutenus par la fonte progressive des neiges. Mécaniquement, les crues d'hiver peuvent être plus importantes du fait d'une fonte plus rapide de la neige et d'un moindre stockage de l'eau sous forme de neige en hiver, et les périodes d'étiage pourront être avancées car la neige fond plus rapidement.

Les premières conclusions du projet « Risques, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050 » (R2D2) sont les suivantes : la baisse de la ressource ne serait pas due à une baisse des précipitations mais plutôt à une modification du régime nival. En règle générale, la retenue stocke les hautes eaux de printemps et de l'automne afin de restituer l'eau en hiver pour la production électrique de pointe et en été pour l'irrigation. La fonte précoce des stocks neigeux par ailleurs moins importants aurait un impact sur la gestion de la réserve de Serre-Ponçon : son remplissage se ferait de façon beaucoup avancée, ce qui peut représenter une contrainte en cas de surplus, car l'eau pourrait être relâchée à des moments peu pertinents pour les besoins agricoles du Pays d'Arles. De ce fait, en période critique, la réserve serait épuisée potentiellement plus rapidement (communication E.Sauquet).

Par ailleurs, les éléments partagés par l'ensemble des modèles étudiés dans le projet R2D2 montrent une diminution des débits estivaux pour les bassins en amont de Mallemort (communication E.Sauquet). Cela rejoint les conclusions des travaux de Boé (2007) et Boé et al. (2009) qui montrent que la Durance pourrait voir son débit baisser entre mai et octobre.

En revanche, les modélisations réalisées dans le cadre de R2D2 ne donnent pas de signal robuste sur l'évolution des débits en période hivernale (communication E.Sauquet). Les résultats de Boé (augmentation des débits hivernaux de + 5° à + 75% selon les modèles) montrent la même incertitude.

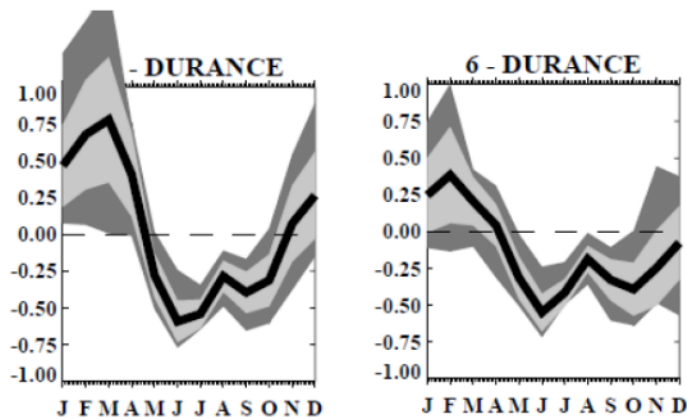


Figure 13 : Changements Climatiques et débit de la Durance amont (gauche) et aval (droite)

Source : Boé, 2007, in « Bilan des connaissances sur les Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, AERMC 2012

Les impacts en chaîne sur le bassin durancien

Les modifications qu'entraînerait l'évolution du régime nivo-glaciaire du régime Durancien obligeront nécessairement la mise en œuvre d'**ajustements dans la gestion de la réserve agricole** tout en maintenant la satisfaction des cotes touristiques de Serre-Ponçon, les besoins pour la production hydroélectrique et les autres prises d'eau duranciennes en amont de Mallemort.

Si les cultures agricoles pourront vraisemblablement voir leurs besoins continuer à être satisfaits malgré une gestion estivale plus tendue : les cultures ne « captent » finalement que 20% de la ressource amenée par le système d'irrigation gravitaire (PNRA, 2012) et cela est valable pour l'ensemble du Pays d'Arles excepté le cas particulier de la riziculture, tout déséquilibre entre l'offre et la demande en eau agricole est susceptible de créer des impacts en chaîne sur tout le territoire du Pays d'Arles (voir la partie suivante « impacts sur les eaux souterraines »).

Par voie de conséquence, la part qui revient aux milieux et à la nappe deviendra plus problématique et c'est celle-ci qui doit être prise en compte notamment dans le cadre des discussions actuelles autour des débits réservés. En effet, l'augmentation des débits réservés de la Durance (entrée en vigueur début 2014) pourrait directement impacter la ressource en eau par une application fréquente des restrictions sur les dotations d'eau. Les associations syndicales d'agriculteurs irrigants (ASA) et les structures gestionnaires ont d'ailleurs alerté les responsables politiques locaux sur ce point.

Demain une Crau plus sèche car moins et mieux irriguée ?

L'agriculture comme les milieux naturels de la Crau, des Alpilles et du Comtat sont gérés par un réseau de canaux multi centenaire, à l'impact multiple : irrigation agricole, mais aussi recharge des nappes et humidification de milieux qui seraient sinon plus arides. Avec le changement climatique, les arrosant vont se retrouver dans un effet de ciseau : d'un côté une réduction de la ressource estivale offerte par la Durance, de l'autre côté une augmentation de la demande en raison des sécheresses locales et d'une évapotranspiration plus importante.

Face à ce constat, les contrats de canaux pourront bénéficier de la bonne gouvernance locale, avec à la fois une meilleure réactivité face aux événements climatiques (gestion de crise de quelques heures à quelques semaines ou mois à l'avance) et de meilleures pratiques d'irrigation, dans un réseau rénové. Une gestion fine des canaux et des parcelles, des protocoles



d'arrosage rénovés pourraient permettre, à condition que les investissements et expérimentations nécessaires soient menés, de bien amortir le choc à venir du changement climatique.

Cependant, le résultat pourrait être de réduire les apports d'eau douce au milieu, et donc d'impacter les autres fonctions jouées par cette irrigation. Des zones humides pourraient disparaître ou devenir plus temporaires, l'alimentation en eau potable des villes ou villages devrait être adaptés pour pallier cette baisse de l'apport d'eau par l'agriculture.... Tout ceci demande une gestion concertée et une planification sur plusieurs décennies, au sein du monde agricole, mais aussi avec le reste de la société

Bien que les objectifs d'économie d'eau de l'Agence de l'eau ne sont pas toujours pertinents en système gravitaire, les ASA se sont mises en ordre de marche pour mieux maîtriser les quantités d'eau entrant sur les terres agricoles : le Contrat de canal Crau sud Alpilles développe des outils à destination des agriculteurs en partenariat avec le Domaine du Merle concernant l'aménagement de la parcelle, le contrôle du réseau, les pratiques culturales, etc.

La modernisation des canaux nécessite des montants importants d'investissement pour des syndicats d'agriculteurs dont la situation économique est difficile (réformes de la Politique Agricole Commune et pour qui le coût de gestion des réseaux d'irrigation devient problématique (hausse de la redevance de l'Agence de l'Eau).

L'évolution de l'usage des canaux, qui se traduit par une multifonctionnalité, ne peut plus être assumée uniquement par les structures traditionnelles existantes qui ne possèdent pas les compétences techniques, financières et réglementaires nécessaires.

Impacts sur l'hydrologie de la Camargue

Impacts observés

Le cycle hydrologique du delta du Rhône est inversé par rapport au cycle naturel. En hiver, 48% du delta est inondé (40 250 ha d'espaces naturels et 37 000 ha de lagunes), tandis qu'en été 53 % du delta qui est inondé : les cultures (20 000 ha) sont inondées tandis que les espaces naturels (26 650 ha) s'assèchent.

Aujourd'hui, malgré un apport d'eau volontaire par la mise en eau des cultures de riz, le delta de Camargue est très dépendant du climat en ce qui concerne la quantité d'eau totale présente, que ce soit par l'apport d'eau douce lié à pluviométrie, par l'apport d'eau de mer par les brèches des digues lors de surcotes marines, et enfin par l'eau qui ne parvient pas à être évacuée par la mer.

Aujourd'hui, ce n'est donc pas tant l'entrée de l'eau qui pose problème sur ce territoire (tant que l'apport d'eau douce sera assuré par les activités agricoles et salinières), mais plutôt son évacuation qui dépend fortement du climat. En hiver particulièrement, cette quantité d'eau douce doit pouvoir être évacuée vers la mer via l'étang du Vaccarès. Ce qui peut poser des problèmes lors d'événements pluviométriques extrêmes d'une part ou en cas de surcote de l'autre (dans ce cas l'eau de mer entre dans le milieu via le pertuis de la Fourcade et ne permet par l'évacuation de l'eau douce).

Le pertuis de Fourcade dans l'œil du cyclone

La difficile gestion de l'ouverture des pertuis est révélatrice des différents enjeux et des perceptions du territoire par les différents acteurs. La décision d'ouvrir ou de fermer le pertuis de la Fourcade, à proximité du village des Saintes-Maries-de-la-Mer, principal « échangeur » entre le delta et la mer dépend d'un compromis entre :

- les pêcheurs qui veulent de la hauteur d'eau et de l'eau saumâtre,
- les agriculteurs, qui veulent des niveaux bas pour pouvoir relâcher leurs eaux de rizières (pour les rizières non poldérisées du bord du Vaccarès), avec de l'eau polluée (pesticides) et un rythme de déversement inversé par rapport aux rythmes naturels,
- la réserve naturelle de Camargue, propriétaire du Vaccarès, qui souhaite une eau de qualité et un respect des rythmes annuels du climat Méditerranéen,
- la commune des Saintes-Maries de la Mer qui souhaite pouvoir évacuer une partie de ses eaux pluviales.

Une commission exécutive de l'eau, sous l'égide de la DDTM, décide des actions de gestion de l'eau dans ce secteur. Cette problématique montre les différences d'approches entre parties-prenantes du territoire deltaïque (Communication D.Marobin)

Modélisations des débits naturels du Rhône sous changement climatique

Le régime hydrologique du Rhône présente en général deux maxima, en automne et au printemps, et une période d'étiage d'août à fin septembre. Le régime normal du fleuve à Beaucaire correspond à un débit compris entre 1000 et 3000 m³/s (débit moyen annuel de 1700 m³/s) ; le débit d'étiage est de l'ordre de 650 m³/s (De Montety, 2008).

La thèse de Boé (2007) a porté sur les méthodes de régionalisation des projections climatiques sur la France, incluant une modélisation des impacts sur le cycle hydrologique des grands fleuves. Ses travaux envisagent un recul très marqué du glacier du Rhône, ce qui est conforme à l'ensemble des prévisions concernant les glaciers alpins. Cela se traduirait par une accentuation de la variabilité saisonnière de la ressource Rhône, dont le débit baisserait entre 25 et 50% de juillet à octobre sur l'ensemble du fleuve pour en revanche probablement augmenter de 25% en janvier et février. Les incertitudes demeurent élevées particulièrement pour la période hivernale comme en témoigne les graphiques ci-dessous (Boé, 2007).

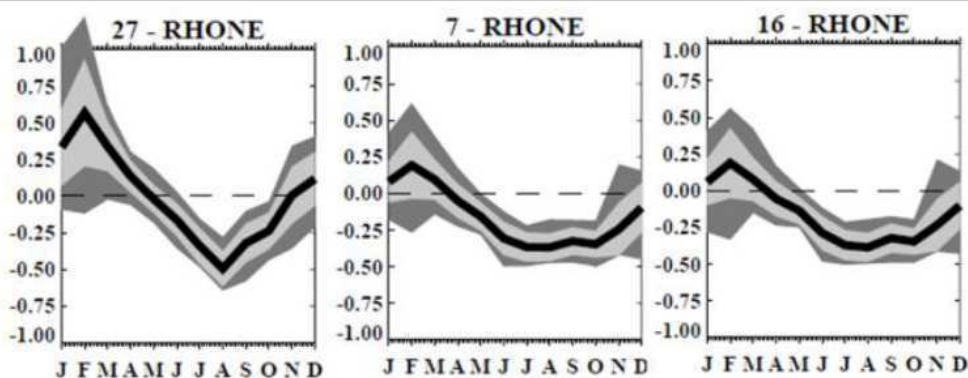


Figure 14 : Changements Climatiques et débits du Rhône

Extraits du Bilan des connaissances sur les Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse – Bilan des connaissances, Septembre 2012

Des travaux du Plan Bleu (Milano, 2010 in AERMC, 2012) ont porté sur l'évaluation de l'impact des débits de quatre grands fleuves méditerranéens, dont le Rhône, aux horizons 2050 et 2100. Selon ces travaux, les écoulements pourraient baisser de 30 à 40% en été, les étiages étant rallongés d'un mois environ. Les débits ne devraient pas être affectés en hiver.

Sachant que l'hydrologie du Rhône est perfectible (communication E.Mallet), les résultats ci-dessus sont les plus récents à cette échelle, mais nécessitent des mises à jour.

Impacts en chaîne sur le bassin du Rhône

Une baisse du débit du Rhône de 30 à 40% du débit actuel d'étiage aurait des conséquences même sur l'irrigation de la Camargue, remettant ainsi en cause la culture du riz et une grande partie de l'agriculture camarguaise : le manque d'eau entraînerait une **remontée du biseau salé**, possiblement jusqu'en en amont du delta (communication S.Arnassant).

De plus, **les prises sur le Rhône risquent d'augmenter** dans un contexte où les débits d'étiages seront plus sévères. Le projet Aqua Domitia (entre Beaucaire et Fourques) de transfert de l'eau du Rhône par le canal Philippe l'Amour jusque dans Pyrénées orientales puis en Espagne pose de grandes questions sur le territoire, surtout dans un contexte de baisse des niveaux d'étiage. Aqua domitia pourrait avoir effet direct sur le Petit Rhône notamment, qui est le plus soumis aux remontées de sel. Si les acteurs territoire du Pays d'Arles ne sont globalement pas favorables à ce projet, le monde agricole languedocien a tout intérêt à le défendre (il pourrait notamment permettre d'irriguer les vignes sur une grande partie du Languedoc).

Enfin, l'amoindrissement des débits de cours d'eau dont la qualité est déjà mauvaise (ex. du Rhône), pourrait augmenter la **concentration des polluants** qui se retrouveraient mécaniquement dans la riziculture puis dans les milieux naturels. En cas de restriction de droits d'eau en été, et combiné à une fréquence plus importante des épisodes de canicule, phénomènes d'eutrophisation pourraient avoir lieu (Commission Nationale Climat, 2009). La sensibilité ne pourra donc qu'être augmentée avec la baisse des apports d'eau, conjuguées aux effets des fortes températures et des périodes dites sèches.

Comme dans l'ensemble des secteurs étudiés, l'avenir de la ressource en eau en Camargue réside plus dans les choix de développement économique et d'aménagement du territoire qui seront faits dans les années à venir (notamment en répondant à la question des cultures alternatives à celle du riz que commence à se poser le monde agricole)².

² Sur l'avenir de la riziculture en Camargue en contexte de changement climatique, se reporter à la partie Agriculture, p. 161 et suivantes.



Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines

Les principales questions qui se posent face au changement climatique sont l'évolution de la recharge, des lignes d'eau, et la salinisation des aquifères littoraux du fait de l'élévation du niveau marin.

L'infiltration de l'eau dans le sol et donc la recharge des nappes dépendent directement des précipitations et de l'évapotranspiration. D'autres paramètres influent également sur l'infiltration, comme l'intensité des précipitations, la couverture végétale, le type de sol et les prélèvements anthropiques dans les nappes (Vernoux et Seguin, 2011).

Modélisations de l'évolution de l'évapotranspiration et de l'humidité des sols

Selon Milano (2010), l'ETP pourra augmenter significativement sur le bassin du Rhône à l'horizon 2100 (jusqu'à + 4 mm/jr en juillet et août). En effet, l'évapotranspiration potentielle (ETP) devrait augmenter significativement sur le bassin du Rhône à l'horizon 2100 : + 4mm/jour en juillet et août (Milano, 2010). Cela a pour conséquence de diminuer la ressource en eau disponible et influe sur l'impact des fortes baisses des débits moyens et d'étiage (AERMC, 2012). Les pluies dites « utiles » qui alimentent les aquifères seraient ainsi moins importantes.

Les travaux de Boé (2007) montrent également une augmentation de l'évaporation réelle à toutes les saisons à horizon 2050, sauf en été où elle pourrait baisser du fait d'une moindre humidité des sols à l'échelle nationale. L'indicateur SWI (SoilWetness Index) qui représente le rapport entre l'eau effectivement contenue dans le sol utilisable par le couvert végétal et le maximum d'eau utilisable par le couvert que le sol peut contenir montre que le Pays d'Arles pourrait connaître une diminution de l'humidité des sols de 3 à 8% d'ici à la moitié du siècle avec un « creux » automnal où elle devrait diminuer de 15 à 20%.

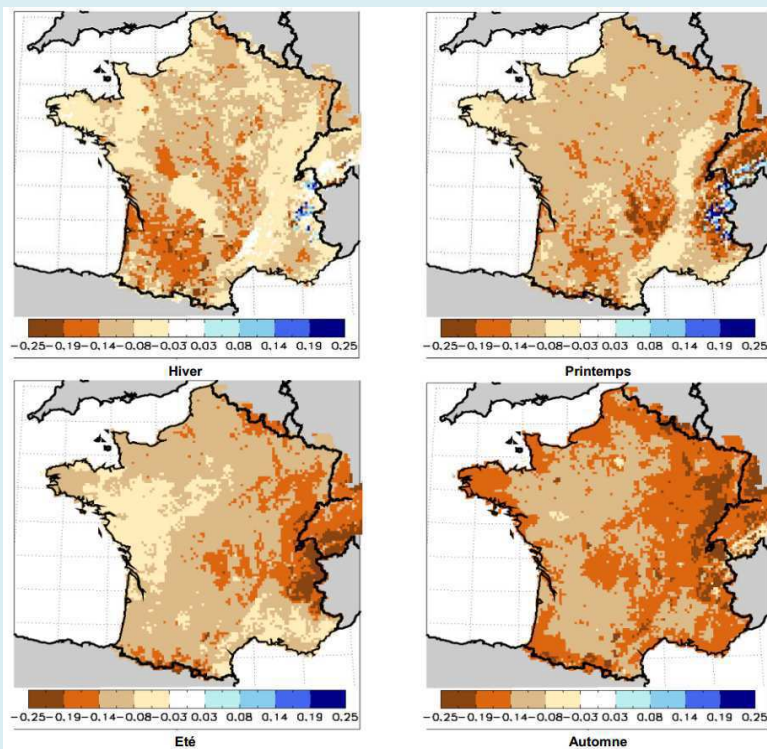


Figure 15 : Moyennes d'ensemble des changements de l'indice d'humidité des sols (SWI) entre 2046-2065 et 1970-1999, par saison. Tiré de Boé, 2007

Impacts sur les nappes de Crau et de Camargue

Impacts observés

La réponse au climat des nappes de Crau et de Camargue est très atténuée en raison de leur mode d’approvisionnement résultant principalement de l’irrigation gravitaire pour les besoins agricoles.

Ainsi, dans ce système, les années humides peuvent paradoxalement être moins favorables que les années sèches en ce qui concerne la recharge de la nappe de Crau. Par exemple au printemps 2013, les paysans estimaient qu’ils avaient reçu finalement assez d’eau et n’avaient pas besoin d’irriguer, 2 à 3 tours d’eau ont été perdus ce qui a été fortement préjudiciable pour la recharge de la nappe et de ce fait aussi pour sa qualité avec une plus forte concentration de polluants dans une moindre quantité (communication C.Alcazar).

Pour les gestionnaires de l’adduction en eau potable (un quart des prélèvements), l’enjeu ne porte pas aujourd’hui sur la ressource quantitative de la nappe de la Crau, qui est suffisamment abondante même en période d’été (hiver). Les chiffres de suivi des prélèvements de forage montrent une sécurité d’approvisionnement et même une marge de manœuvre dans le cas d’une hausse démographique (communication O.Pecault).

Le facteur climatique qui influence le plus les nappes souterraines aujourd’hui est la remontée du niveau de la mer qui accentue la pression de l’eau salée. Localement, les marégraphes ont mesuré l’augmentation du niveau de la mer de 22cm en Camargue et une perte de 450ha dans le delta auXXe siècle, ce qui se situe dans la fourchette haute de l’élévation constatée de la mer au XXe siècle (entre 12 et 22cm d’après le GIEC). A Marseille, on enregistre une augmentation de +1.2 mm/an entre 1896 et 2004 avec une accélération récente du phénomène (+ 3,1 mm/an entre 1993 et 2003).

Les nombreux facteurs influençant l’évolution du biseau salé

Le biseau salé, qui constitue la zone de transition naturelle entre l’eau salée et l’eau douce, n’est pas immuable. De nombreux facteurs influent sur sa position et *a fortiori* sur la salinité plus ou moins prononcée du milieu. Outre l’intrusion d’eau de mer, les pressions anthropiques telles que les pompages ou les changements de conditions climatiques vont largement contribuer à sa modification : le fort déficit hydrique (effets des faibles précipitations, de la forte évapotranspiration due notamment à l’ensoleillement et aussi aux vents violents) qui caractérise le milieu favorise alors la remontée par capillarité de la nappe (Mouret) et la salinisation du milieu.

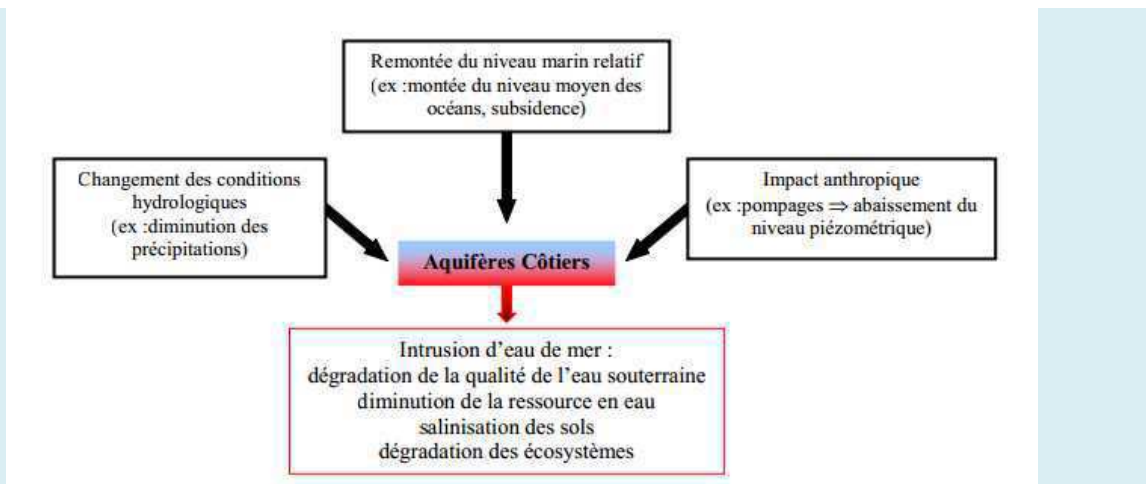


Figure 16 : Exemple des différentes pressions s'exerçant sur un aquifère côtier et pouvant influencer sur le niveau de sel de l'aquifère

Source : De Montety, 2008

Sur la base des suivis mensuels réalisés depuis 2000, on a observé un relèvement du biseau salé sur les mois de printemps : observation d'une hausse du taux de chlorure et de la conductimétrie de +30% en 15 ans. C'est le cas par exemple des points de captage de Mas Thibert (communication O.Pecault). Les riziculteurs qui pompent leurs eaux depuis le Rhône font la même expérience : en 2011, le débit trop faible du Rhône a entraîné une remontée des eaux saumâtres en profondeur qui ont été captée par les riziculteurs. Par extension, ce phénomène touche les récoltes puis les milieux³.

A noter que les prélèvements « sauvages » dans la nappe ont également un impact en période de crise et contribuent notamment accentuer le phénomène de remontée du biseau salé : les études réalisées par la Chambre d'Agriculture dans le cadre de la mise en place de l'OUGC, sur la base des données des années 2010 / 2011, estiment à 2/3 le nombre de forages non déclarés, ce qui peut impacter les grands équilibres et (communication O.Pecault).

Impacts attendus du changement climatique

Dans le cas où l'approvisionnement en eau des canaux serait amoindri en été du fait de plus forts étiages et/ou de conflits d'usages en amont sur le système Durance, une partie de la ressource quantitative de la nappe de Crau serait compromise.

Astuce & TIC : un programme de recherche multicritères sur la nappe de Crau

Le projet Astuce & TIC (INRA) a développé une analyse multicritère de l'impact de l'aménagement du territoire sur la ressource en eau et en sol. Le projet a pour but une aide à la décision en matière d'aménagement du territoire dans un contexte de changement climatique.

Les principaux résultats montrent que l'apport par drainage vers la nappe pourrait diminuer du fait de l'augmentation de l'évapotranspiration combiné à un abaissement des pluies.

La simulation rappelle qu'1/8 année avait vu une situation de déficit du rechargement de la nappe au cours des huit dernières années quand ce serait le cas de 7/11 année pour la période

³ Voir l'impact de la salinisation sur la biodiversité p.64 et suivantes



2025/2035 (Astuce et TIC, 2011). Cette recharge est d'autant plus mise en danger qu'elle se conjugue à une déprise agricole importante. Entre 1997 et 2009, 1600 ha ont été urbanisés sur des espaces agricoles et naturels. La diminution de la surface irriguée à 2030 y a été évaluée à -10% ce qui entraîne une baisse de la recharge de la nappe de Crau de 8%. La baisse de la disponibilité en eau pour l'irrigation de 30% en 2030 entraînerait une baisse de la recharge de la nappe de Crau de 35%.

Figure 17 Simulation du drainage et des rendements des prairies irriguées à l'échelle de l'aquifère de Crau

Drainage	Drainage sous prairie / irrigation	Drainage (hm ³)	Contribution de l'irrigation à la recharge
2003-2010	75 %	255	78 %
Climat 2025-2035 Occupation du sol 2009	74 %	256	81 %
Climat 2025-2035 Occupation du sol 2030 Irrigation : - 30 %	65 %	175	73 %

Source : EmmaH, Inra, SIRRIMED, Université d'Avignon, Astuce et Tic.

Les résultats un peu « caricaturaux » illustrent bien les impacts potentiels. Un des principaux résultats mis en avant est le rôle clair de l'irrigation dans le processus de recharge de la nappe (plus que les choix d'aménagement du territoire et notamment l'imperméabilisation des sols). Aussi il a été montré qu'une réduction de 30% des apports en eau, soit un approvisionnement durancien maintenu à 70%, conduirait à des rabattements de nappes allant jusqu'à 13 mètres.

Ces résultats seront explorés davantage dans le cadre du projet PRECOCE soutenu par la Climate-Kic avec cette fois-ci trois zones d'étude pilotes dont la Crau. A noter par ailleurs, que le modèle hydrogéologique, développé par l'INRA intègrera prochainement le SYMCRAU et devrait permettre une surveillance accrue de la nappe.

L'autre principal phénomène en lien avec la qualité de l'eau est la salinisation des masses d'eau qui risque de s'aggraver du fait d'une diminution des entrées d'eau douce qui s'opposent actuellement à la remontée du biseau salé et à l'élévation du niveau de la mer (on retient l'hypothèse de +50 cm à horizon 2100, voir partie Risques, p. 114 et suivantes). Les changements climatiques annoncés, sans adaptation, pourraient accentuer la demande sur les forages dont certains ne sont pas déclarés et pour lesquels les volumes peuvent être très importants. Etant donné l'irréversibilité du phénomène de biseau salé au-delà de certains seuils, il faut suivre de près les paramètres influant son évolution (débits d'étiage des cours d'eau, prélèvements agricoles, forages non déclarés...).

Impacts sur les nappes des Alpilles

Une simulation effectuée par EDF et communiquée dans le rapport de diagnostic de la ressource en eau du PNRA en 2011 simule les effets d'une réduction de la pluviométrie de 30 mm/an et de 50 mm/an dans les Alpilles. On y constate les effets sur l'augmentation de l'ETP et sur la diminution importante des précipitations « utiles ».

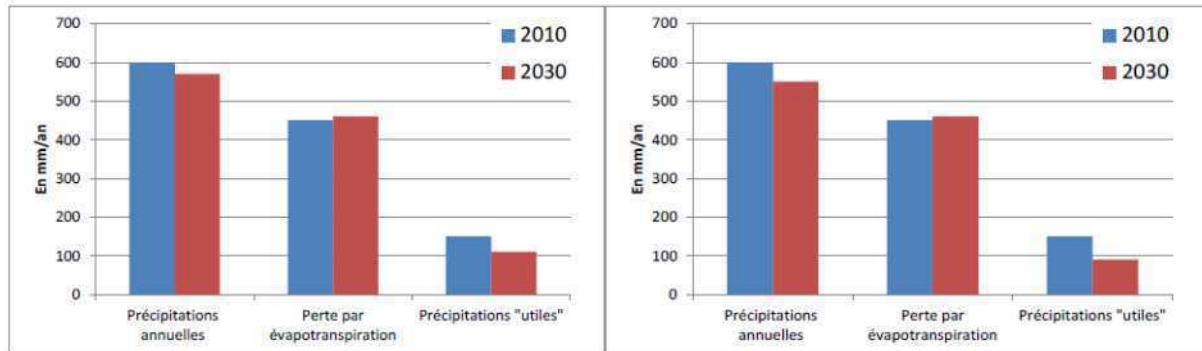


Figure 18 : Simulation d'une baisse des précipitations sur la ressource en eau - 30mm/an à gauche et - 50mm/an à droite

Source : EDF via PNRA, 2011

Toutefois le bilan hydrique effectué dans le cadre du rapport de diagnostic sur la ressource en eau du PNRA montre que l'exploitation de cette nappe demeure « limitée » puisqu'actuellement 13% de la nappe est utilisée soit 2,4 Mm³ prélevés par an pour une nappe annuellement rechargée à hauteur de 18Mm³ par an. Il reste donc une marge de manœuvre sur cette nappe en matière quantitative (PNRA, 2012). Les nappes karstiques pourraient présenter un potentiel en matière de ressource en eau très important.

Impacts du changement climatique sur la demande en eau

Vers des conditions climatiques asséchantes pour le Pays d'Arles

L'ensemble des modèles s'accordent sur une baisse des précipitations allant de -6 % à -14% à horizon 2050. A l'horizon 2080, les projections donnent à nouveau des signes de dispersion importante allant de 1% (non significatif) à -23%. D'ici 2030, les tendances montrent une dispersion importante allant de -69mm (-20%) à +5 mm (1,4%). C'est la projection « réchauffement modéré » qui affiche cette tendance (pour plus de détails se reporter au « Cahier Climat »).

Tous les modèles s'accordent également sur une diminution des précipitations de printemps notamment : -10% à -41% à l'horizon 2050 et -3% à -45% à l'horizon 2080. L'incertitude est toujours grande sur ces données. A l'horizon 2080 la quasi-totalité des modèles projettent une disparition des pluies d'été déjà rares (8mm en moyenne actuellement selon la climatologie de référence). En revanche, les modèles affichent des signaux contradictoires sur les saisons où se concentre l'essentiel des précipitations observées, en hiver et en automne. Il est donc difficile et risqué de dégager une tendance sur ces deux saisons.

Les projections concernant les sécheresses (nombre de jours secs consécutifs) s'accordent sur une hausse à tous les horizons. En l'occurrence, cette hausse pourrait être très significative selon la projection « chaude et sèche » et ce dès 2030 (jusqu'à 11 jours par rapport à la période

de référence). A partir de 2050, cette élévation serait comprise entre 3 et 31 jours puis entre 6 et 31 jours à l'horizon 2080. La tendance est claire mais l'incertitude sur l'ampleur du phénomène demeure grande. C'est en été que la tendance est la plus nette. Le printemps affiche aussi une tendance légère à l'élévation des sécheresses à partir de 2050 mais le signal reste toutefois très faible : +2 jours (0-4) en 2050, + 6 jours (1-6) en 2080.

Les chiffres concernant les canicules doivent être pris avec du recul tant l'échelle d'incertitude est grande. Toutefois, on se dirigerait vers une hausse de ces événements. Selon notre projection de référence le nombre de jours de très forte chaleur pourrait doubler à l'horizon 2030 (passant de 16 à 31 jours), et tripler à l'horizon 2080 (+32 jours). L'été concentrerait logiquement l'immense majorité de cette augmentation (14 jours en 2030 et 28 jours en 2080), toutefois, l'augmentation s'étale également sur l'automne. Notons que l'arrière du pays serait plus touché que la côte.

En conclusion, les trois paramètres température, précipitations et évapotranspiration montrent des signes annonceurs d'un besoin accru d'eau sur le territoire du Pays d'Arles, notamment en été.

Impacts sur les usages de l'eau

Les prélèvements pour l'eau potable dépendent surtout des paramètres démographiques. La consommation unitaire ne dépend que faiblement du climat et est surtout fonction de l'efficacité des réseaux de distribution et des équipements des ménages. Certains paramètres comme la fréquentation touristique ou les usages domestiques extérieurs (arrosage, piscines) peuvent cependant être influencés par le climat (source AERMC, 2012).

Pour l'eau industrielle, plusieurs types d'impacts peuvent être envisageables : augmentation de la demande énergétique en été du fait de la hausse des températures (climatisation), associée à de plus faibles débits, la baisse des débits et la hausse de la température de l'eau en été pourraient poser problème pour le refroidissement, etc.

L'eau agricole est l'usage qui semble être a priori le plus sensible aux évolutions climatiques. La hausse de l'évapotranspiration potentielle que l'on trouve dans les projections climatiques induirait nécessairement une hausse de l'évapotranspiration des plantes cultivées. Des études ont quantifié les évolutions de l'évapotranspiration maximale des cultures irriguées et estiment par cette méthode l'évolution des prélèvements pour l'irrigation. Certaines cultures comme la vigne ou l'olivier pourraient voir leurs rendements impactés par le stress hydrique et de nouvelles demandes pourraient apparaître pour l'irrigation. Mais dans un système d'irrigation gravitaire comme celui du Pays d'Arles dont la plupart des cultures ne consomme que 20% de l'eau qui entre sur les terres, le rôle de l'agriculture dans le cycle de l'eau, notamment dans la régulation de la restitution au milieu, est majeur.

Capacités d'adaptation des acteurs de l'eau

Des progrès notables dans la gouvernance locale mais une gestion loin d'être « intégrée »

Les évolutions récentes dans la gouvernance de l'eau sur le territoire sont encourageantes, avec la création de 2 contrats de canaux, d'un contrat de delta et d'un contrat de nappe. Ces progrès dans la gouvernance locale ont permis de mettre en place des dispositifs de gestion de crise, de consacrer la nécessité de veiller à la disponibilité et à la bonne qualité de la ressource en impliquant l'ensemble des gestionnaires et usagers.

Toutefois, les démarches citées ne vont pas sans antagonismes entre les différentes parties prenantes : oppositions d'ordre politique, culturel, et portant sur la notion d' « aménités » et de prise en charge par la collectivité du fonctionnement hydraulique de notre territoire.

Les évolutions liées au changement climatique ajouteront une tension supplémentaire à la fois sur les usages et la disponibilité des ressources en eau, dont la majorité sont des ressources dites de « transfert », amenées par les réseaux d'irrigation, et dépendant de nombreux usagers amont.

De plus, les financeurs que sont l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et la Région ne prennent pas en compte les micro-régions hydrauliques: aujourd'hui, les irrigants doivent prouver qu'ils réalisent des économies d'eau (même si cela n'est pas pertinent sur un territoire dont le système d'irrigation gravitaire alimente des nappes souterraines aux multiples usages).

La gestion de la ressource en eau dans un contexte de changement climatique nécessitera donc une évolution vers une gestion intégrée de la ressource en eau, comprenant également une véritable police de l'eau capable d'imposer la déclaration de l'ensemble des forages sur les nappes (rôle de l'OUGC et du SYMCRAU) : de nombreux conflits d'usage persistent sur ce point et pourraient être exacerbés par la remontée du biseau salé lié au changement climatique.

Le territoire face à des choix déterminants

Avec l'amélioration de la connaissance du fonctionnement hydraulique du Pays d'Arles, il devient de plus en plus évident que : a) l'ensemble des usagers de l'eau du Pays d'Arles est extrêmement dépendant de la ressource l'approvisionnement en eau agricole (par les réseaux de canaux, la riziculture) et que b) les crises liées à la gestion de la ressource quantitative (étiages du Rhône, gestion de la réserve agricole de Serre-Ponçon) seront de plus en plus fréquentes dans un contexte de changement climatique.

Si la gouvernance locale s'est nettement améliorée ces dernières années, on remarque une frilosité des acteurs à traiter de la question de l'avenir de la gestion de l'eau de manière intégrée: veut-on maintenir un système d'irrigation séculaire lié à un certain type d'agriculture, qui a façonné les activités humaines et les paysages? Veut-on un retour au climat méditerranéen et réduire la dépendance du territoire aux transferts d'eau du Rhône et de la Durance? Souhaite-t-on rechercher des ressources alternatives? Dans tous les cas de figure, comment supporter le coût de gestion, qui devient de plus en plus important du fait de la réglementation et des changements climatiques attendus?

Pour répondre à ces questions, une analyse multicritère doit être menée, en lien avec le monde agricole, et un temps de concertation et de pondération de ces critères par les décideurs sont nécessaires.




Avant de mettre en œuvre une stratégie dans le cadre d'un « Plan de gestion de la ressource » qui reste à définir (démarche en cours par le Contrat de canal Crau sur Alpilles), il faudra s'accorder sur l'option que l'on veut retenir pour l'approvisionnement en eau du Pays d'Arles.

Les acteurs clés à mobiliser	ASA, ASF, Syndicats Mixtes, CED, services de l'Etat, collectivités, chercheurs	
Les capacités actuelles (institutionnels/réglementaires/soc/techniques etc.)	Les leviers <ul style="list-style-type: none"> • ASA / ASF : gestion de proximité • Syndicats mixtes, Contrats de Canaux, Contrat de nappe 	Les freins <ul style="list-style-type: none"> • Difficulté de financement • Absence de gestion intégrée et de vision stratégique pour se faire « entendre » des échelons supra AERMC, Région, etc.
Les capacités futures (institutionnels/réglementaires/soc/techniques etc.)	Les opportunités <ul style="list-style-type: none"> • Bilan du SDAGE en 2015 est une bonne étape pour faire le point sur l'intégration du CC • Plan de Bassin d'adaptation au changement climatique • Dynamique actuelle via les Contrats de Canaux qui semblent offrir des espaces de discussions entre acteurs 	Les menaces <ul style="list-style-type: none"> • Quelle suite aux Contrats de Canaux ? • Antagonismes forts entre acteurs particulièrement en Camargue (Environnementalistes, Agriculteurs) • Urbanisation et déprise agricole • Augmentation des besoins de consommation (EA du fait de l'ETP et AEP) • Remontée du biseau salé particulièrement problématique en Camargue
Les pistes à approfondir	<p>Développer une vision politique commune (lutter contre la déprise agricole ? quel maintien des milieux naturels actuels et futurs ? etc.) et un gouvernement de l'eau.</p> <p>Creuser les opportunités de la notion de « Multifonctionnalité des systèmes irrigués » comme nouvelle source de financement et d'argumentaire politique (thèse Labki, INRA)</p> <p>Mieux connaître les besoins des milieux en eau douce et articuler finement consommation pour irrigation gravitaire, recharge des milieux en eau douce et besoins en eau des milieux naturels (en lien avec les gestionnaires de milieux) ;</p> <p>Mesures d'économies d'eau AEP et parcelles agricoles sans lien avec la recharge des milieux ;</p> <p>Mieux connaître la Nappe Karstique des Alpilles pour AEP.</p>	

Synthèse et cartographie








Une ressource vulnérable au changement climatique

- Raréfaction de la ressource 
- Sécheresses plus fréquentes et ETP plus importante 
- Salinisation et montée du niveau de la mer 



Dépendance actuelle envers les transferts d'eaux du Système Durancien

Impacts

- Baisse du débit d'étiage (estival dans les cours d'eau hors canaux, hivernal dans les canaux) 
- Baisse de la recharge des nappes souterraines et diminution de la ressource 
- Dégradation de la qualité et pollution 
- Salinisation accrue des nappes 
- Augmentation besoin en eau agricole estival 

Les impacts sur la ressource en eau en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Diminution de la ressource Rhône, augmentation et allongement de la baisse du débit d'étiage (EA / EM / EI) / été	++T et Tmax (canicules) '- P estivales, ++ S réduction couvert neigeux/débits été				
Baisse critique de la disponibilité de la ressource Durance, augmentation et allongement de la baisse du débit d'étiage (EA / EM / EI) /été	++ T et Tmax (canicules) '- P estivales, ++ S -- couvert neigeux/débits estivaux				
Augmentation des débits en hiver Durance et Rhône	++ fonte couvert neigeux ++ Pluie hivernale / automnale Alpes				
Baisse des apports en eau dans les canaux d'irrigation en été (EA)	++T et Tmax (canicules) '- P estivales, ++ S réduction couvert neigeux/débits été				
Dégradation de la qualité des eaux de surface/circulation en été(Durance/Rhône/canaux) (EA)	-- débits, étiages plus sévères et/ou plus longs ++ T de l'eau /eutrophisation				
Baisse de recharge des nappes souterraines (Crau, Basse-Durance, Alpilles) d'approvisionnement en EP/EA	++ T/baisse P '-débits et étiages Durance / -- des apports EA/incertitude hiver				
Baisse de la qualité des nappes EP/EA (Crau/Basse-Durance/ Alpilles/Rhône)	++ T/baisse P '-débits et étiages Durance / -- des apports EA/incertitude hiver				
Pollution accrue des nappes (Crau/Rhône/Durance/ Alpilles) consécutives au lessivage des sols EA, EP	incertitude P / Pmax (intensification automne/hiver à LT)				
Salinisation des nappes EA(Crau/Rhône) en lien avec le remontée du biseau salé	EANM / biseau salé +++S				
Augmentation des besoins en eau agricole, risque de conflits d'usage (EA)	++ S agricoles/météo/sols +++ ETP				
Légende	++ augmentation – diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elévation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertaine	bonne	faible ou incertaine
	EA Eau agricole EP potable EI industrielles EM milieux	très faible	très faible	très bonne	opportunité

Les impacts sur les milieux naturels

Synthèse : milieux naturels

- Des milieux exceptionnels, particulièrement pour les zones humides de Camargue et la steppe de la Crau
- Une forte densité d'espaces protégés, une diversité de statuts de protection
- Une dynamique du littoral qui pousse à la salinisation des milieux, qui s'accroîtra avec l'élévation du niveau de la mer (érosion, submersions...)
- Un bouleversement général lié à la hausse des températures : migration d'espèces, aires de répartition... de nouvelles menaces et de nouveaux besoins de protection
- Des dégâts liés aux risques (incendies, submersions)...
- D'importantes ressources scientifiques présentes sur le territoire, à mobiliser pour l'adaptation

Caractérisation

Le Pays d'Arles est un territoire composé de plusieurs grands ensembles variés. Le SCOT du Pays d'Arles se caractérise lui-même comme un « territoire de respiration » au sein des centres urbains méditerranéens de Montpellier jusqu'à Marseille. Il est vrai que ce territoire est faiblement urbanisé (3% du territoire) et qu'il jouit d'un patrimoine naturel exceptionnellement varié : pâturages, maquis et garrigues, littoral camarguais, zones humides (Camargue, vallée de Baux), steppe de la Crau. Etc.

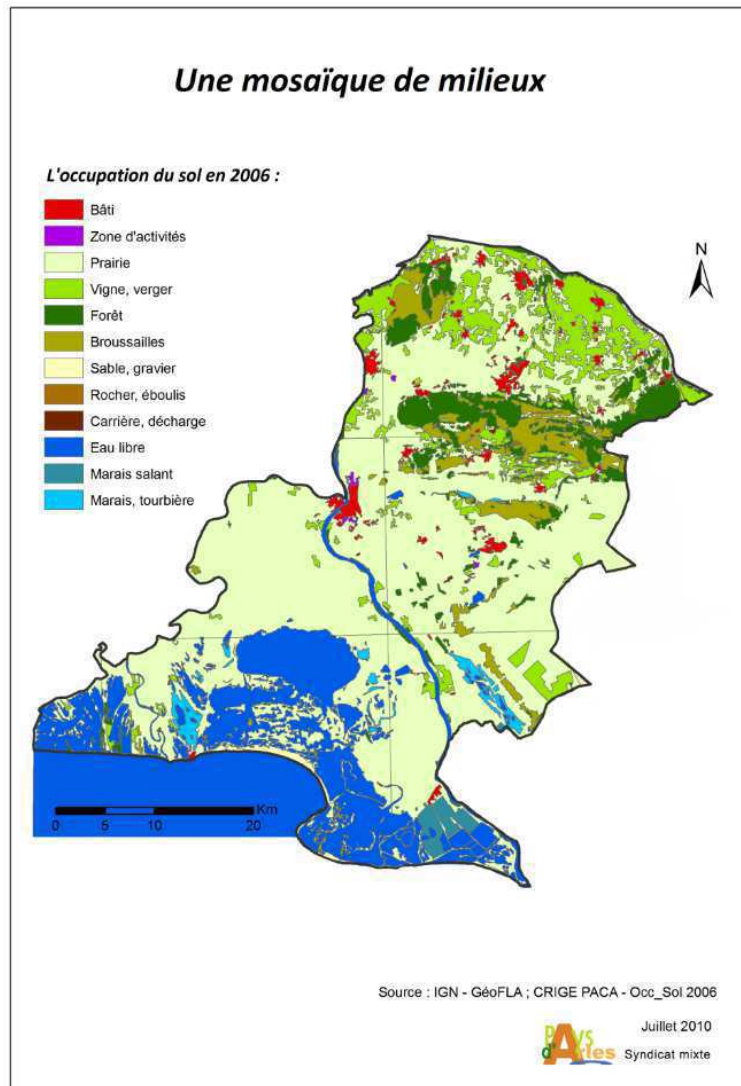


Figure 19 : Les milieux du Pays d'Arles Source : CRIGE PACA, SMPA

Le Pays d'Arles est enfin un territoire où s'exprime une biodiversité de premier plan s'intégrant dans des écosystèmes uniques. La carte ci-dessous montre ainsi à quel point le territoire est régi par des réserves et des Parcs organisant la relation entre développement économique et protection des écosystèmes.



Figure 20 : Les zones protégées des Bouches-du-Rhône. Source : baromètre de la biodiversité en PACA supplément de Terre sauvage n°237

Le pays d'Arles et la Région PACA sont des régions extrêmement riches en biodiversité. Une part très importante d'espèces et de sous-espèces représentées en Région PACA concerne plus de 50% des espèces de la famille concernées à l'échelle nationale, comme le montre l'infographie ci-dessous.

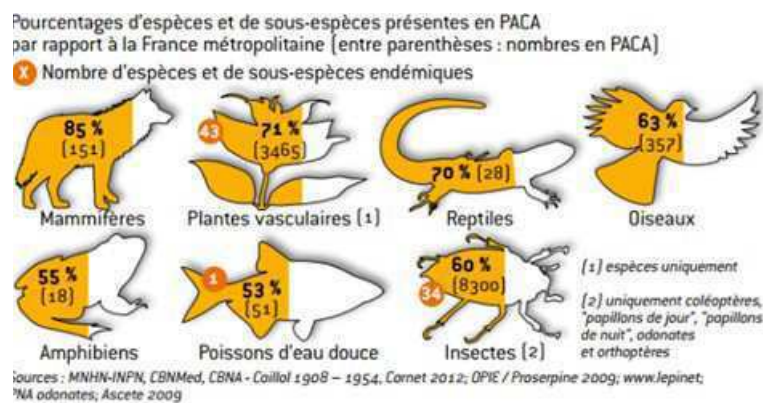


Figure 21 : Richesse spécifique continentale de PACA. Source (baromètre de la biodiversité en PACA supplément de Terre sauvage n°237)

Il s'agit également d'un territoire important pour la qualité et la variété de ses espèces floristiques.

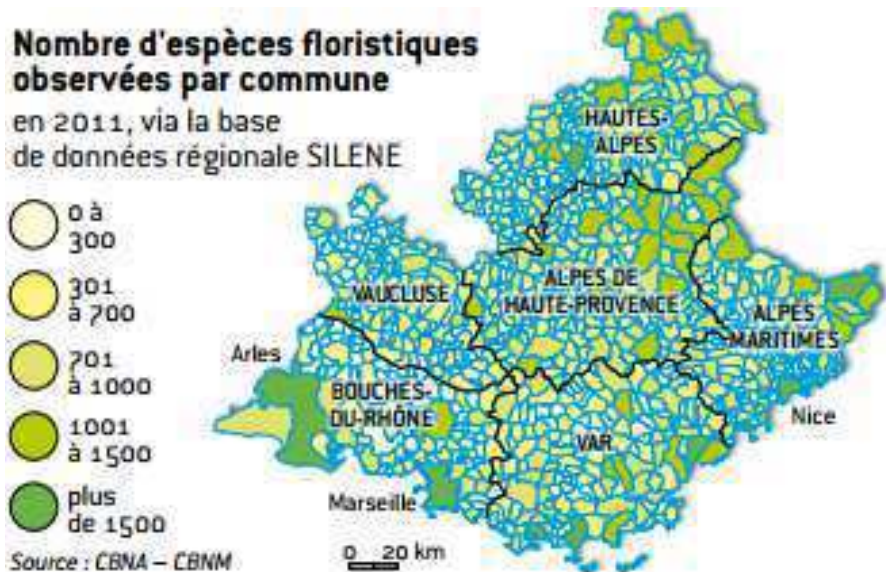


Figure 22 : Espèces floristiques observées par commune (Source CBNA –CBNM)

Les massifs des Alpilles et de la Montagnette

Le pays d'Arles est également caractérisé par ses reliefs que sont les Alpilles au centre du territoire ou encore, au Nord-Ouest, le massif de la montagnette. Le massif des Alpilles, conséquence du soulèvement des Pyrénées et des Alpes résulte d'un dépôt de sédiments calcaires érodés au cours des millénaires. On y trouve également de la bauxite en quantité (découverte de la bauxite début du XIXe siècle, exploitation des mines des Baux) qui permettent la fabrication de l'aluminium. Il s'agit d'un massif régi par le Parc naturel Régional des Alpilles qui se fixe comme objectif de « préserver l'identité » du territoire, faite de villages anciens fixés autour d'anciennes sources (200 sites archéologiques et une centaine de constructions classées), d'une agriculture traditionnelle (oléiculture, pâturages, vignes) et d'un patrimoine naturel là aussi très riche.

En effet, le parc des Alpilles mêle plusieurs types d'espaces favorables au développement d'une richesse écologique importante avec la présence de canaux, mares, forêts et de zones escarpées. Ainsi des espèces rares et menacées sont présentes, comme l'Aigle de Bonelli, le Vautour Percnoptère, le Hibou grand-duc. C'est également un lieu essentiel pour la nidification des chauves-souris dans le sud de la France. Le PNR des Alpilles veille particulièrement à limiter l'impact anthropique sur ce milieu, notamment celui du tourisme.

Le massif de la montagnette, est également un massif typiquement provençal composé de garrigues formées de chênes kermès et d'une forêt de chênes verts. On note enfin la présence de peupliers et de pin d'Alep. Cette forêt, en recul du fait des incendies, compose le territoire avec les terres de cultures sèches au sein du massif (olivier notamment). C'est un massif proche d'Avignon qui est fortement visité le week-end et qui voit une emprise de plus en plus importante de l'homme, comme pour les Alpilles, du fait du tourisme et de l'installation de populations âgées à la recherche d'une retraite dans une ambiance naturelle.

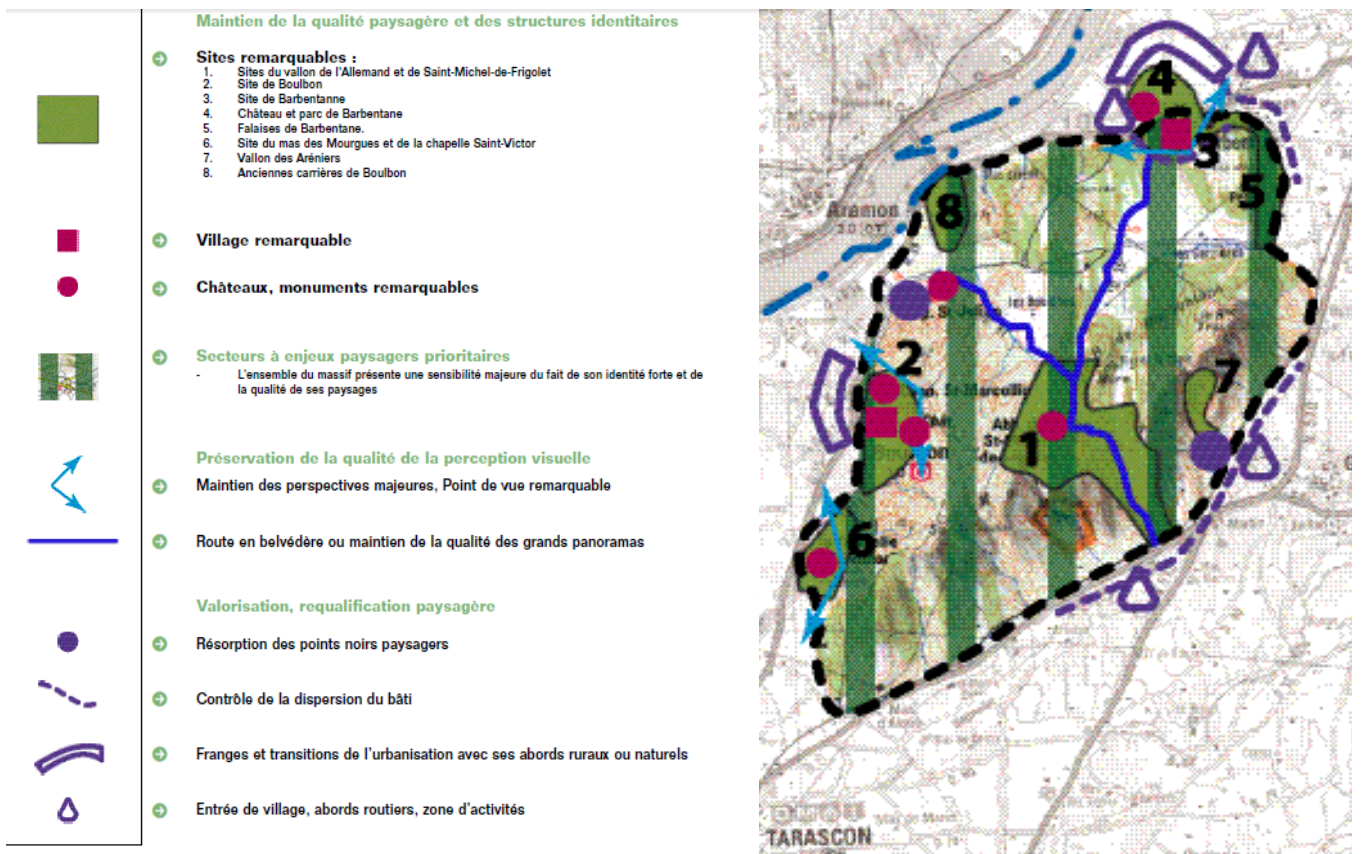


Figure 23 : Les enjeux de la Montagnette (Source : Atlas des paysages des BdR CG13)

Le couloir Rhodanien et la plaine de Durance

Ces deux espaces sont des plaines en majorité marquées par les activités humaines ainsi que par une urbanisation forte. La vallée du Rhône est marquée par les villes-centres que sont Arles et Tarascon. Celles-ci sont entourées de zones périurbaines où s'alternent zones résidentielles, zones d'activités industrielles et commerciales et grandes exploitations agricoles composées de vergers et de réseaux de haies. Il s'agit d'un corridor écologique important du fait des ripisylves, forêts riveraines qui bordent les cours d'eau.

La vallée de la Durance est une vallée particulièrement fertile qui en fait une plaine agricole importante. C'est une vallée parcourue de canaux et de roubines dont le maillage permet le développement d'un écosystème de bocages provençaux. En effet, cette vallée se trouve dans le couloir migratoire durancien et on y trouve plusieurs espèces protégées.

La Vallée des Baux

Dans la vallée des Baux, on peut distinguer les anciens Marais d'Arles et les anciens Marais des Baux. Considérant la régularité de l'inondation de ces terres, on peut toujours les considérer comme des zones humides, même si elles ont manifestement été très dégradées (assainissement par drainage puis assèchement par poldérisation) puisqu'elles ne couvrent plus que 370 ha sur les 2800 originels, soit 14 % (source A.Rocha). Les nombreuses inondations touchant la vallée ont montré que les zones basses ont une vocation humide et que leur assèchement ne constitue pas une solution durable, notamment dans un contexte de hausse du

prix de l'énergie. Ainsi diverses initiatives récentes tendent à revaloriser cette vaste zone humide. Pourtant à ce jour aucune stratégie d'ensemble n'a été définie.

La Crau

De l'autre côté du Grand Rhône, d'une zone allant d'Arles à Salon jusqu'à Port de Bouc, surgit l'unique steppe d'Europe de l'Ouest : la plaine de Crau.

L'origine de la Crau remonte à la fin de la dernière glaciation (10 000 ans), il s'agissait du delta de la Durance qui se jette désormais dans la Rhône au niveau d'Avignon. Le territoire est irrigué au nord par le canal de Craponne, construit au XVI^e siècle et qui forme la Crau humide, d'où est cultivé le Foin de Crau (seul foin labellisé AOC). A partir du XX^e siècle des cultures de type industriel y sont implantées (vergers, maraichage). Plus au sud, la Crau sèche ressemble à ce qu'était la Crau à son origine : une pelouse pastorale aride formant une végétation nommée Coussoul. Cette zone est désormais reconnue pour son patrimoine naturel unique et forme la réserve naturelle de la Crau.



Figure 24 : Situation Géographique de la Crau

Le site est en effet très atypique avec un micro-climat de type « steppe aride ». Il est composé de plusieurs espèces endémiques et rares : l'outarde canepetière, le Gaga oata (un oiseau qui ne niche qu'ici en France) ou encore le lézard ocellé pour ne citer que celles-ci. Outre la réserve naturelle, citons le projet de reconversion d'un verger industriel en végétation de steppe qu'est actuellement en train d'opérer la CDC biodiversité sur un espace de 10 hectares aux abords de la réserve naturelle.



Figure 25 : Coussouls de Crau



Figure 26 : Opération de réhabilitation de la CDC biodiversité

Les milieux en eau et zones humides ne couvrent qu'une très faible partie de la Crau. Ces milieux sont donc ici très discrets, en comparaison avec deux espaces protégés très proches que sont la Réserve Nationale de Camargue, et les Marais du Vigueirat. Pour autant, ces milieux naturellement riches en espèces apportent à la Crau un gain conséquent en diversité biologique. C'est particulièrement vrai pour la flore : si le coussoul n'abrite pas de plantes rares, il en va autrement pour les mares temporaires, prairies humides et marais qui l'entourent. On y compte pas moins de 30 espèces protégées parmi lesquelles : la Gratiolle officinale (*Gratiola officinalis*), la Linaire grecque (*Kickxia commutata*), la Nivéole d'été (*Leucojum aestivum*), la Salicaire à trois bractées (*Lythrum tribracteatum*), l'Orchis à fleurs lâches (*Orchis laxiflora* = *Anacamptis laxiflora*), l'Herbe de Saint-Roch (*Pulicaria vulgaris*), la Renoncule à feuilles d'ophioglosse (*Ranunculus ophioglossifolius*)... Il existe même une fougère rarissime, la Scolopendre sagittée (*Asplenium sagittatum*), qui ne pousse que dans quelques puits creusés dans le coussoul.

Exemples d'espèces représentatives des différentes menaces sur la biodiversité.

Une espèce présente sur le territoire et menacée : Le lézard ocellé (*Timon lepidus*) est une espèce non limitée aux Bouches du Rhône. Elle est présente sur un continuum allant de la frontière italienne à l'Espagne. Cette espèce fait partie des sept espèces de reptiles menacées d'extinction en France. Elle est victime de la fragmentation de son habitat (ce lézard a besoin de territoires de grande surface pour vivre, 3500 m² en moyenne) qui a entraîné une forte diminution de ses effectifs et la disparition de plusieurs populations isolées. S'il est encore présent dans les Bouches-du-Rhône, plusieurs facteurs pèsent sur sa survie comme dans la plaine de Crau, où les pollutions d'origine humaine réduisent fortement la disponibilité de ses proies. Les phénomènes de concentration de pollutions aggravés par le changement climatique (voir plus bas) constituent une menace pour la conservation de cette espèce.

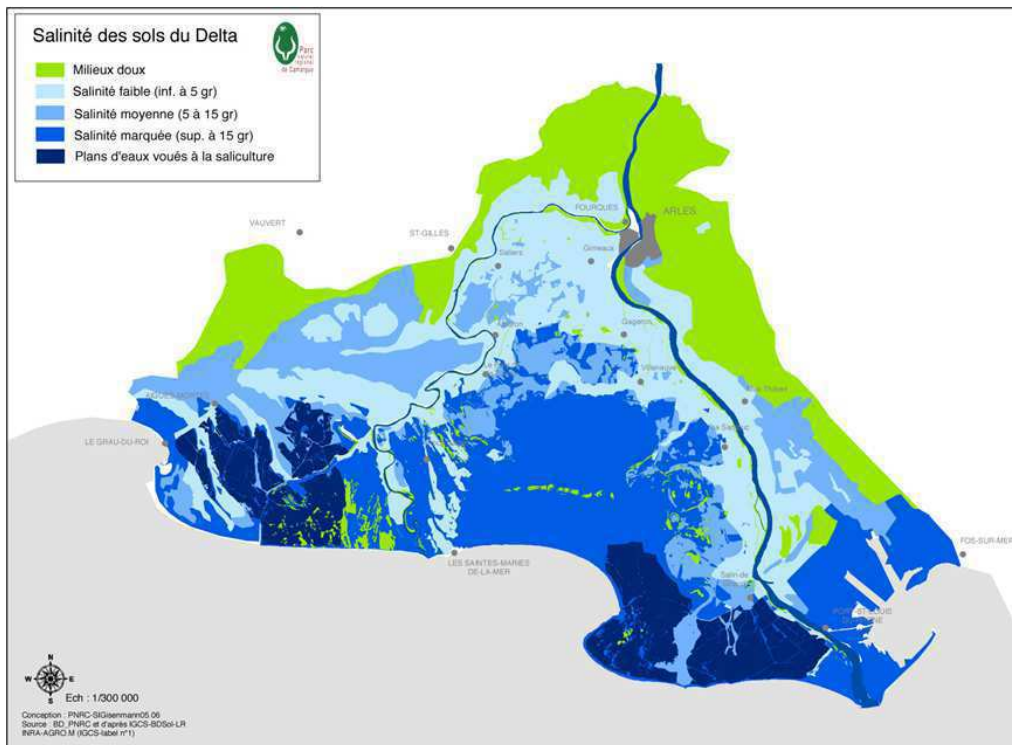
Une espèce endémique menacée : Le criquet de Crau (*Pryonotropis hystrix rhodanica*) illustre la situation de plusieurs espèces du territoire. Ce criquet ne se trouve que dans la plaine de Crau. Cette espèce est menacée de disparition du fait de la dégradation et de la réduction de son milieu de vie. Cette situation justifie sa protection actuelle.

La Camargue

- Les milieux naturels de Camargue

Au sud, la Camargue couvre un peu plus de 100 000 ha qui forment le delta du Rhône. Il s'agit d'un territoire où s'alternent marais salants, rizières et élevages, sur des dizaines de kilomètres. L'hydrologie de la Camargue est intensément aménagée (digue à la mer, endiguement du Rhône, irrigation) ce qui a permis le développement d'activités agricoles tout à fait spécifiques (culture du riz qui représente 25% de la Grande Camargue, vignobles, activités salinières). La résultante de ces aménagements hydrauliques est que la Camargue est un milieu naturel relativement doux. Sans les apports en eau douce estivaux (notamment du fait de la riziculture en ce qui concerne le pourtour de l'étang du Vaccarès), ce territoire serait un désert salé, du fait des aménagements limitant les inondations hivernales. Pour autant une trop forte prégnance des agrosystèmes rizicoles risque de réduire la période sèche et les rythmes naturels. La Camargue est une zone humide essentielle, notamment pour l'hivernage des espèces et la migration des oiseaux. Les interactions sont fortes entre, schématiquement, deux zones :

- une **zone fluvio-lacustre** au nord marquée par la présence de marais d'eau douce, de voies de communication, et d'un système de cultures marqué par la présence du riz et du blé dur ;
- une **zone laguno-marine** au sud marquée par un taux de salinité (Figure 27) fort du fait des intrusions marines récurrentes qui façonnent un paysage marqué par une forte présence de lagunes de faible profondeur, des sansouires, et enfin par les formations dunaires puis les plages et les ouvrages de protections qui forment la côte.



Source : PNRC

Figure 27 Salinité des sols du Delta



Figure 28 Affectation des sols de la Camargue et exemples de milieux-types du territoire

La création du parc naturel régional de Camargue, sur les communes d'Arles, de Saintes-Maries-de-la-Mer et de Port-Saint-Louis-du-Rhône, vise à concilier activités humaines et conservation de la nature. La réserve nationale de Camargue existe depuis 1927, et a été classée officiellement en 1975. S'y ajoute un ensemble de protections, dont l'empilement est particulièrement complexe (Figure 29).

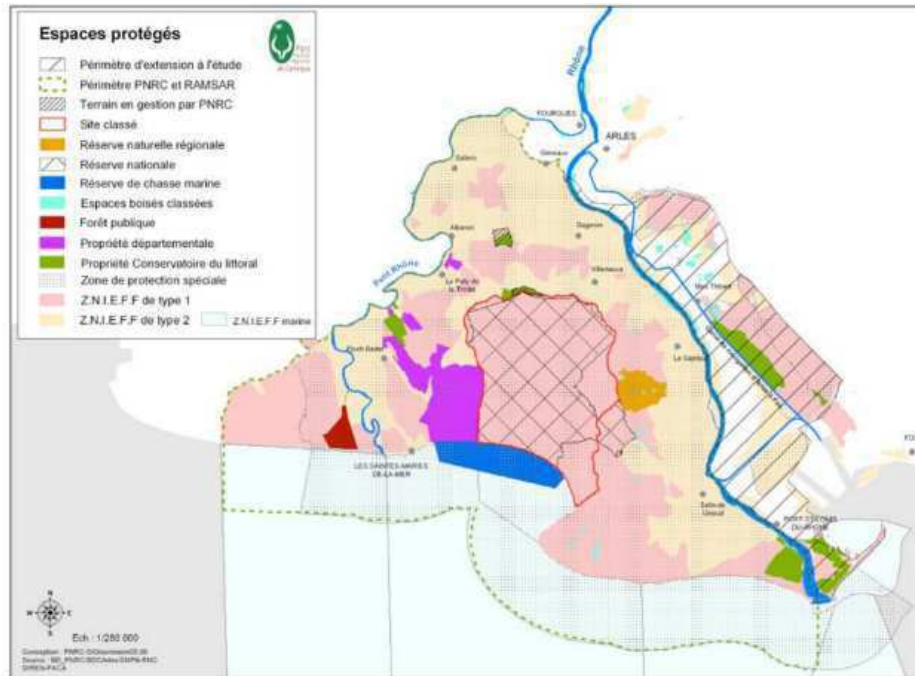


Figure 29 : Les statuts de protection de la Camargue (Source : PNR Camargue)

- Les liens entre activités économiques et milieux naturels en Camargue

Avant l'endiguement du Rhône, l'alternance crue d'eau douce et submersions marines permettait une adaptation cyclique des biotopes. C'était notamment cette alternance de phases douces et saumâtres, et le caractère parfois temporaire des mares qui faisant l'originalité et la richesse écologique des milieux. Aujourd'hui, l'irrigation est le principal apport en eau douce de la Camargue. L'écosystème camarguais actuel repose donc sur l'équilibre existant entre ces deux masses d'eau, douces et salées.

Dans le delta camarguais, les activités économiques conditionnent l'existence des milieux naturels que l'on connaît aujourd'hui. Les salins et l'agriculture notamment entraînent en effet d'importante modification de la gestion hydrologique du delta et modifient en conséquence les milieux et la géomorphologie du territoire.

L'apport d'eau douce par la saliculture

Pour la culture du sel, l'eau de mer était pompée au niveau du golfe de Beauduc (jusqu'en 2007, cf. ci-dessous) et était directement introduite dans les salins à hauteur de 80 millions de m³. Les neuf-dixième de cette eau doivent être évaporés ; pour ce faire l'eau circule dans des bassins successifs, de manière à ce que son épaisseur soit faible (30 centimètres). Des systèmes d'étangs, de digues et de pompes permettent ainsi la circulation des lames d'eau qui effectueront au total plus de 50 kilomètres avant d'être suffisamment concentrée en chlorure de sodium.

La zone est particulièrement propice à la nidification, les salins sont un site d'exception pour la biodiversité européenne.

Les salins, site d'exception pour la biodiversité, en voie de « renaturalisation » ?

On trouve dans les salins des habitats tout à fait particuliers : lagunes côtières, prés salés méditerranéens, fourrés salés méditerranéens, steppes salées à Saladelle, dunes grises, blanches ou boisées de pins sont autant de biotopes dont la configuration du territoire permet le développement. On y trouve une végétation particulière caractéristique de zones halophiles :

- Salicornes annuelles et pérennes (*Salicorniaspp.*, *Sarcocorniaspp.*, *Arthrocnemum spp.*), de Soudes (*Suaeda spp.*) et d'Obiones



Salicorne

(*Halimionespp.*)

- Jonc pointu dans les Prés salés

- Saladelle (*Limonietalia*)

Saladelle

- Genévriers de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), Filaire à feuille étroite (*Phillyrea angustifolia*) et Pistachier Lentisques (*Pistacia lentiscus*) sur certaines dunes

- Crucianelle maritime (*Crucianella maritima*), Lis de mer (*Pancreatum maritimum*) ou encore Immortelle des



Lis de Mer

Immortelle des sables

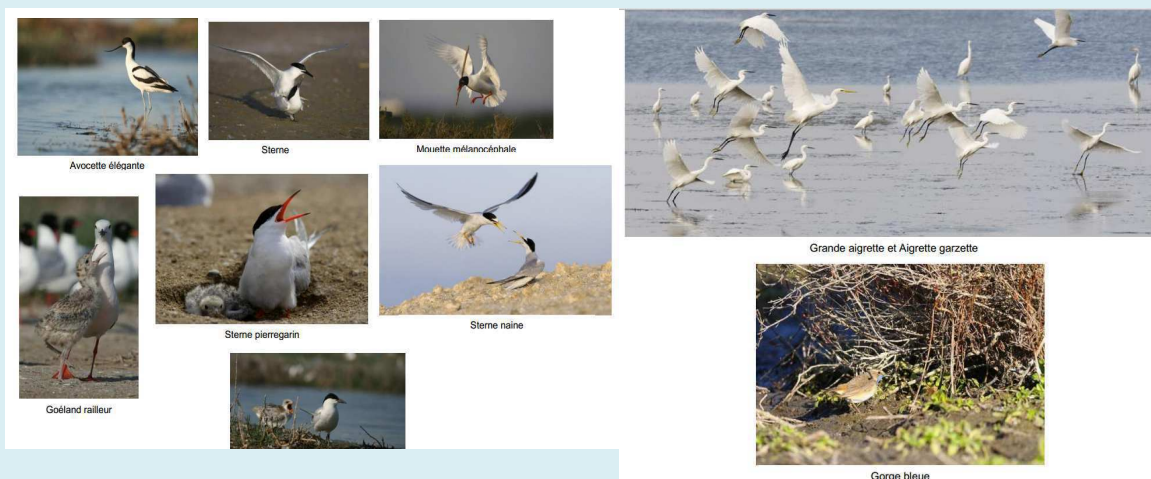
sables

(*Helichrysum stoechas*) sur les dunes grises

- Enfin on trouve des Saules blanc et peuplier blanc, des Pins d'Alep et des Pins pignons dans certaines dunes boisées.

De plus, 200 espèces d'oiseaux y nidifient dont 157 sont des espèces protégées. Les vastes plans d'eau calme et en eau au printemps et l'été permettent aux oiseaux migrateurs de se reproduire dans des zones à l'abri des prédateurs (ilots) et trouvant sur place les aliments nécessaires. Les étangs de faible salinité sont peuplés d'invertébrés aquatiques ainsi que de végétation et de poissons quand les étangs de fortes salinités accueillent beaucoup de crustacés (qui donnent leurs couleurs aux flamants).

Figure 30 Exemples d'oiseaux nidifiant dans la zone



Source : projet LIFE

Le projet LIFE NATURE « Gestion environnementale et restauration de salins méditerranéens et de lagunes côtières » met en place des mesures de protections et de restaurations de la biodiversité dans la zone jusqu'en 2016 : constitution d'îlots de nidification, restauration de martelière pour la circulation d'eau, limitation de l'implantation du goéland, etc.

Figure 31 Exemple d'îlot de nidification



Îlot de nidification créé pour les oiseaux sur le salin

Source : LIFE NATURE

Cette zone a connu des modifications importantes suite au plan social de 2007. Les surfaces évaporatoires situées à l'ouest du vieux Rhône ont été vendues au Conservatoire du Littoral et la pompe de Beauduc démantelée. **La gestion salicole est ainsi remplacée par une gestion hydraulique naturelle avec une reconnexion avec la mer et l'hydro-système de l'étang du Vaccarès.**

Une problématique importante actuellement posée par les acteurs du territoire est de savoir s'il convient de garder l'étang en eau de manière permanente ce qui favorise la reproduction des flamants roses ou bien s'il convient de laisser les rythmes naturels reprendre le dessus dans cette zone. En effet, si les flamants ont désormais une population importante il n'en demeure pas moins que l'îlot du Fangassier est le seul lieu de ponte de cette espèce en Europe et que les années sans eau ont été un échec en matière de reproduction (les îlots ne sont plus protégés des prédateurs). (Source : PNRC)

L'apport d'eau douce par la riziculture

La culture du riz entraîne une arrivée massive d'eau douce par pompage, avec une circulation complexe (repompage dans des canaux ou vers le Rhône pour les rizières poldérisées, irrigation gravitaire vers le Vaccarès pour les autres), et une hydrologie inversée (mise en eau estivale) par rapport au rythme naturel du climat méditerranéen. **Cette entrée d'eau douce** dans les milieux que ce soit par infiltration dans les sols ou par évacuation de l'eau superficielle vers le système lagunaire **transforme le milieu naturel** et favorise un biotope typique de zones humides douces alors qu'on serait naturellement plus dans un milieu halophile sans cette intervention humaine, avec un assèchement des milieux en été. Le graphique ci-dessous illustre ce propos en montrant que les rizières en eau attirent, tout comme les étangs salins, les oiseaux d'eau.



Source : J.Jabert, JMZH, Pole relais lagunes, PNRC et Tour du Vallat 02/2014

Figure 32 Interdépendance entre riziculture et oiseaux d'eau

Les zones humides ont été relativement épargnées en Camargue et permettent le développement d'oiseaux dans leurs zones spécifiques. En revanche, les oiseaux de milieux secs ont drastiquement diminué avec notamment le développement de la riziculture à l'origine de la destruction de l'habitat de ce type de faune (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Par ailleurs, **la qualité de l'eau injectée dans le milieu varie en fonction des intrants phytosanitaires**. La lutte contre l'enherbement des rizières suppose le traitement des terres. On constate ainsi que les pics de concentration dans la réserve naturelle de l'étang de Vaccarès en produits phytosanitaire principalement utilisés comme désherbants se situent juste après le semis du riz au mois de Juin (CCA BdR, 2010).

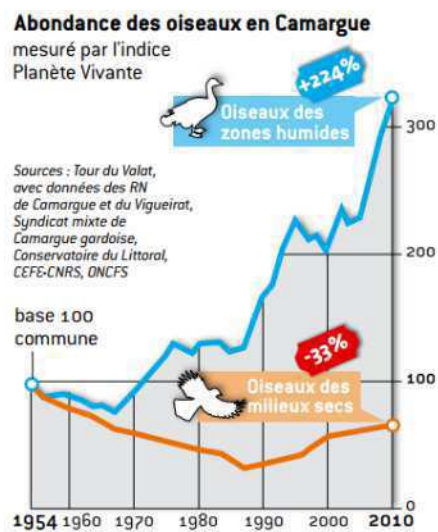


Figure 33 Abondance des oiseaux en Camargue (Tour du Valat, traitement baromètre de la biodiversité en PACA supplément de Terre sauvage n°237

Le Pays d'Arles est donc un espace très diversifié en habitats et en milieux, riches en biodiversité. Plusieurs espèces endémiques et rares font la richesse biologique de ces milieux que sont les garrigues et maquis, les forêts, les zones humides ou encore la steppe aride de la Crau.

L'ensemble de ces milieux est évidemment lié à la conjonction de caractéristiques géographiques (géologie) et climatiques, susceptibles d'évoluer grandement avec le changement climatique. On estime que d'ici 2050, de 25% à 50% de la biodiversité mondiale pourrait disparaître sous le double impact du changement climatique et des activités humaines.

Des possibilités non mutuellement exclusives :

- Extinction locale ou totale de l'espèce
- Persistance avec ou sans adaptation aux nouvelles conditions de milieu, grâce à une « réponse évolutive » rapide
- Migration ou modification des aires de distribution des espèces
- De nouvelles interactions biotiques...

Introduction sur la notion de services éco systémiques

Les écosystèmes et plus généralement la biodiversité soutiennent et procurent de nombreux services dits **services écologiques** ou **services écosystémiques** qu'on classe parfois comme bien commun et/ou bien public, souvent vitaux ou utiles pour l'être humain, les autres espèces et les activités économiques, y compris en ville rappelle l'UICN.

Les moyens d'apprécier et quantitativement mesurer ces services qui sont souvent holistiques, diffus ou liés à des réseaux écologiques et complexes sont encore en débat, mais de nombreuses expériences ou tentatives de mesures ont lieu depuis la fin du XX^e siècle, en particulier dans le domaine des ressources en eau, des forêts, du cycle du carbone et des puits de carbone.

L'exemple de la forêt

Les forêts remplissent plusieurs types de services notamment identifiés par le « *millennium ecosystem assessment* » du PNUE : 1) Services d'approvisionnement (biomasse, bois et fibres, etc.), 2) Services de régulation (hydrologie, rafraîchissement du climat, etc.), 3) Fonctions de bases (cycle des nutriments, cycle de l'air,...), 4) Services culturels (récréatifs, esthétiques, traditions,...).

Ces services intéressent à la fois les secteurs privé et public et ne sont que partiellement mesurés dans les revenus économiques : par exemple la valeur du bois énergie est intégrée dans le calcul d'un PIB, la fonction de régulation hydrologique d'une forêt, pourtant essentielle, ne l'est pas.

Par conséquent, la ressource en bois d'une forêt ne représente qu'environ 20% de la valeur totale. En France par exemple, le service rendu par les forêts en qualité d'eau distribuée représenterait une économie (et donc une valeur) de 29€/an pour la facture d'un ménage pour un ha de forêt supplémentaire.

La forêt est donc un élément protecteur des milieux. En effet, elle assure un rôle d'épuration de l'air mais elle permet également de contrôler les écoulements d'eau, le degré d'hygrométrie, les mouvements de terrain ainsi que l'érosion. Elle permet également un stockage du carbone

Les effets multiples d'une hausse des températures sur les espèces

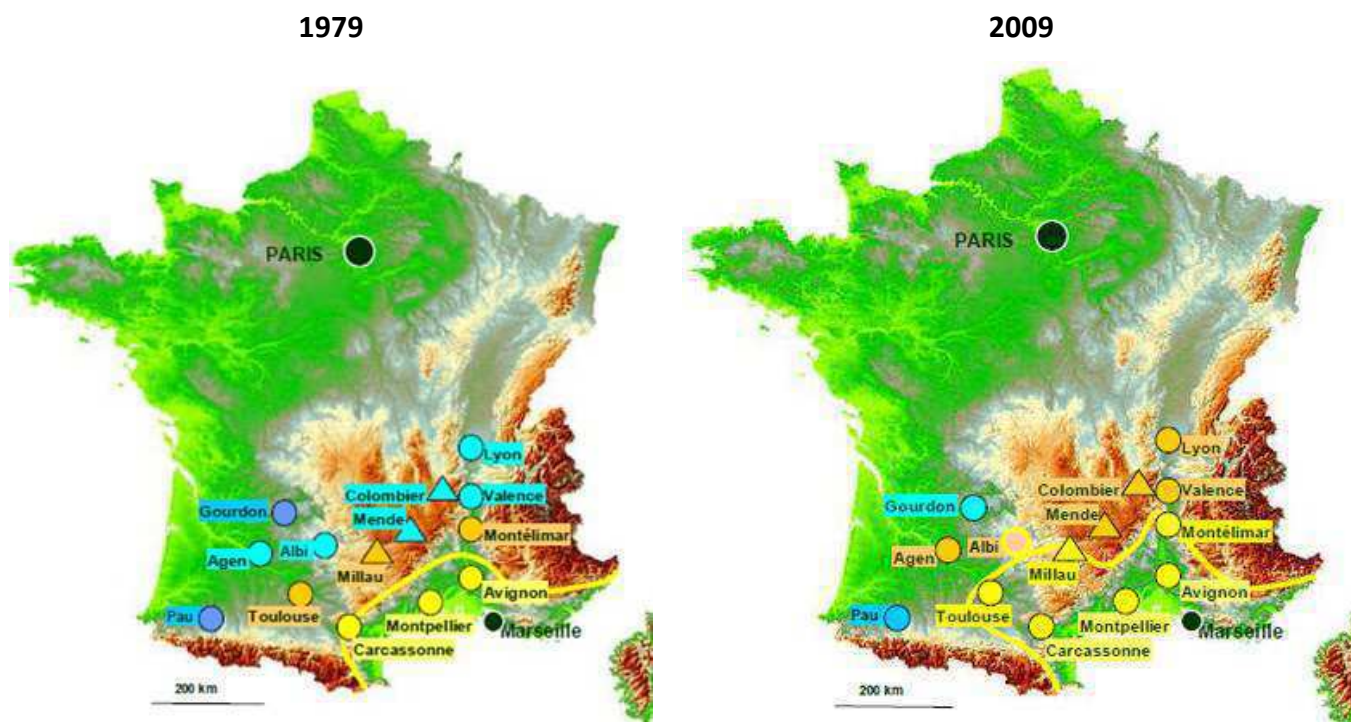
Attention, comme pour les autres secteurs, il est difficile d'étudier directement les impacts du changement climatique sur les milieux naturels car les effets des changements climatiques se mêlent à ceux de l'impact anthropique et des choix d'aménagement du territoire.

En effet, les milieux naturels existants en Pays d'Arles sont extrêmement dépendants du type d'activité agricole présent et notamment de la pérennité de l'irrigation agricole de la Crau et de Camargue, de la réglementation (cf. espaces protégés, débits réservés), etc.

Migrations, modifications d'aires de répartition et espèces invasives

L'augmentation des températures se poursuit dans toutes les projections : à l'horizon 2030, l'augmentation des températures est d'environ $+1,3^{\circ}\text{C}$ ($0,4^{\circ}\text{C}$ - $1,8^{\circ}\text{C}$). **A l'horizon 2050, les températures continuent de croître.** La tendance affichée par la projection de référence est de $+2,2^{\circ}\text{C}$ ($1,3^{\circ}\text{C}$ - $2,6^{\circ}\text{C}$). **A l'horizon 2080, le réchauffement est beaucoup plus marqué : $+2,8^{\circ}\text{C}$ (2°C - $3,6^{\circ}\text{C}$).**

La hausse constatée des températures dans le passé entraîne déjà une extension du climat méditerranéen et une perturbation générale des conditions écologiques. L'INRA a récemment montré l'évolution récente du climat méditerranéen (cf. cartes ci-dessous).



Source : INRA, projet CLIMFOUREL (Climat-Fourrages-Elevage)

Figure 34 : Représentation de la limite du climat méditerranéen

Cette évolution entraîne des migrations des espèces méditerranéennes qui colonisent le nord et les zones d'altitude. Le Papillon Apollon (*Parnassius Apollo*) en est une illustration : il colonise ces zones, suivant le déplacement de sa zone d'habitation originelle. La même dynamique est à l'œuvre sur l'ensemble des composantes des écosystèmes, le pin d'Alep élargit son aire de répartition actuelle quand le pin sylvestre la réduit.

Le changement des températures déjà à l'œuvre implique également une multiplication d'espèces invasives dans le milieu provençal :

- en Arles, avec la Jussie, une plante aquatique herbacée flottante, extrêmement résiliente (il en existe une espèce terrestre), a colonisé l'ensemble des milieux méditerranéens et la façade atlantique. Lorsque la quantité de biomasse est trop importante, elle provoque l'eutrophisation du milieu (oxygène en diminution et PH qui augmente) ;
- en mer, l'algue *Caulerparacemosa* est présente depuis les années 1990. Elle est favorisée par des eaux plus chaudes ;
- la chenille processionnaire du pin sert d'indicateur pour l'ONERC afin de suivre la modification du climat. La migration de cet organisme est en corrélation avec les températures. L'espèce est symptomatique des impacts des invasions biologiques dues au changement climatique. L'hiver très doux de 2006/2007 a engendré une remontée des populations en 2007.



Exemple de nid de chenilles processionnaires



Figure 35 : Evolution de l'aire de répartition de la chenille processionnaire du pin. Source (Martin 2005p.19)

- l'année 2007, particulièrement chaude avec un déficit hydrique important à l'échelle départementale, a vu une recrudescence des attaques de scolytes (insecte coléoptère) sur les pins d'Alep qui ont profité de l'affaiblissement des arbres. D'autres essences d'arbres sont touchées par le même type de phénomènes ;
- des ravageurs apparaissent également dans le département : le Brun de Pelargonium (*CayreusMarshalli*) apparu en France en 1997 et a gagné rapidement le département. Dans sa région d'origine, ses populations sont limitées par un grand nombre de prédateurs absents dans les Bouches-du-Rhône ;

Il a déjà été constaté que les animaux migrent plus tôt ou ont modifié leurs habitudes migratoires pour retrouver des habitats appropriés : les voies de migration évoluent. La superficie des sites d'hivernage, de reproduction et de stationnement de populations se modifient également. Les populations migratrices remontent moins au nord, ou restent sur leur

zone d'hivernage plus longtemps comme les flamants roses en Camargue, qui y séjournent plus de temps qu'auparavant, non sans poser quelques problèmes comme la dégradation de certaines rizières (Richoux P. et Lebreton p.9) ;

Ceci peut également s'avérer particulièrement problématique lorsqu'il s'agit d'espèces exotiques introduites par migration « naturelle » ou du fait des activités humaines qui n'ont pas de prédateurs locaux ou qui surpassent les espèces originelles du territoire. Les fourmis d'Argentine, importées accidentellement, forment désormais une super-colonie depuis l'Espagne du Sud à la pointe de l'Italie et remplacent les espèces de fourmis locales. Ces migrations invasives concurrencent l'accès aux ressources alimentaires et aux habitats (exemple : la tortue de Floride concurrence la Cistude, espèce de tortue européenne). Elles peuvent également provoquer la transmission des pathogènes aux espèces locales comme l'écrevisse américaine qui est porteuse d'un champignon responsable de la peste des écrevisses européennes (présentes dans les Marais du Vigueirat par exemple).

La hausse globale des températures constatée ces dernières années, et qui va se prolonger, entraîne donc une modification et une migration des zones d'habitat des espèces. Il en résultera une poursuite des migrations d'espèces forcée par cette augmentation de températures. Le risque est de voir un mouvement plus important encore que celui déjà constaté et mentionné ci-dessus. **Le *BirdLife International* (Huntley et al. 2007) parle d'un glissement des aires de répartition des espèces d'oiseaux européennes de 550 km vers le nord-est d'ici 2100 si la température moyenne mondiale augmente de 3°C.**

Le climat méditerranéen devrait donc poursuivre son expansion vers le nord et entraîner avec lui une propagation de certaines espèces. La question est de savoir quel sera le climat du Pays d'Arles avec hausse de 2,8°C sur la période 2080-2100 ? Il faut en effet ajouter à cette modification des températures les canicules, les sécheresses et l'évolution d'autres paramètres climatologiques (évapotranspiration, précipitations intenses, hydrologie...).

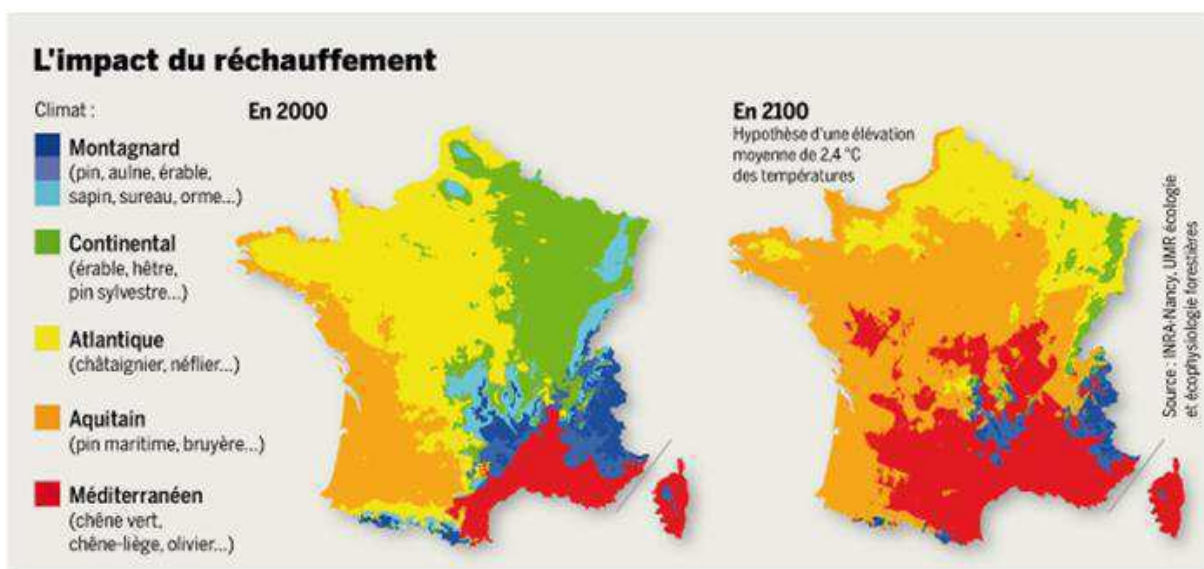
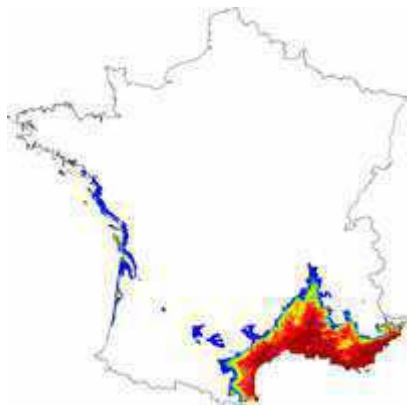
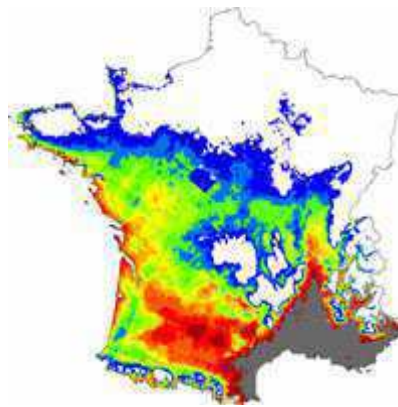


Figure 36 : L'impact du réchauffement sur les climats 2000 – 2100 (Source : INRA Nancy)

Une étude de l'INRA de Nancy montre ainsi qu'il n'est pas aisé de connaître quel est l'avenir du chêne vert sur notre territoire vers la fin du XXI^{ème} siècle, tant le réchauffement risque d'être important. En revanche, il est clair qu'il aura colonisé une plus grande partie de l'hexagone selon cette étude.



Répartition actuelle du chêne vert



Répartition prévue du chêne vert en 2100

Figure 37 : Evolution de l'aire de répartition du chêne vert (Source : projet Carbofor, modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises » juin 2004.)

Les différentes couleurs de la Figure 37 représentent les probabilités de présence : forte en brun, rouge et orange, plus faible en bleu clair puis foncé. La zone grisée signifie qu'il n'est pas possible de savoir si le chêne vert sera présent sur le territoire méditerranéen actuel en fin de siècle.

Des évolutions similaires sont à attendre des autres espèces méditerranéennes : olivier, pin d'Alep, pin parasol, cyprès, etc. La migration des espèces provoque un effet d'entraînement. La disparition du chêne vert sur le territoire pourrait entraîner la disparition du Cèpe tête de nègre, une espèce qui lui est associée, ainsi que d'autres espèces inféodées aux écosystèmes de forêts de chênes verts.

Enfin, **les invasions d'espèces provenant du Sud devraient se poursuivre**. Cela concerne notamment certains parasites et vecteurs de maladies. C'est le cas du moustique tigre qui s'est installé en Camargue, arrivé d'Italie en 2005 avec des premiers cas recensés dans les Alpes-Maritimes, ou encore de la punaise de lit qui remonte de plus en plus sous nos latitudes. Certaines espèces actuellement visibles risquent également de multiplier le nombre de générations annuelles sous l'effet des hausses de température. Les Scolytes, un parasite du pin d'Alep, ont ainsi produit une génération supplémentaire en 2003 suite à la canicule.

Une modification de la croissance végétative et de la phénologie

Les **températures ont également pour effet de modifier la phénologie des espèces**, c'est-à-dire leurs phases de croissance, de développement et de reproduction. L'augmentation des températures a entraîné à l'échelle nationale une avancée des dates de floraison et un retard dans la coloration et la chute des feuilles en automne. La Figure 39 donne un exemple agricole, avec la relation entre maturité du raisin et températures moyennes. Ceci est aussi vrai pour les arbres fruitiers et n'est pas sans poser problème sur les cultures plus sensibles aux épisodes de gel, à de mauvaises fécondations, à des problèmes de levée de dormance sur les arbres fruitiers ou encore aux modifications potentielles de relations plantes-parasites (Séguin, d'après le diagnostic Agricole du Pays d'Arles, 2012).

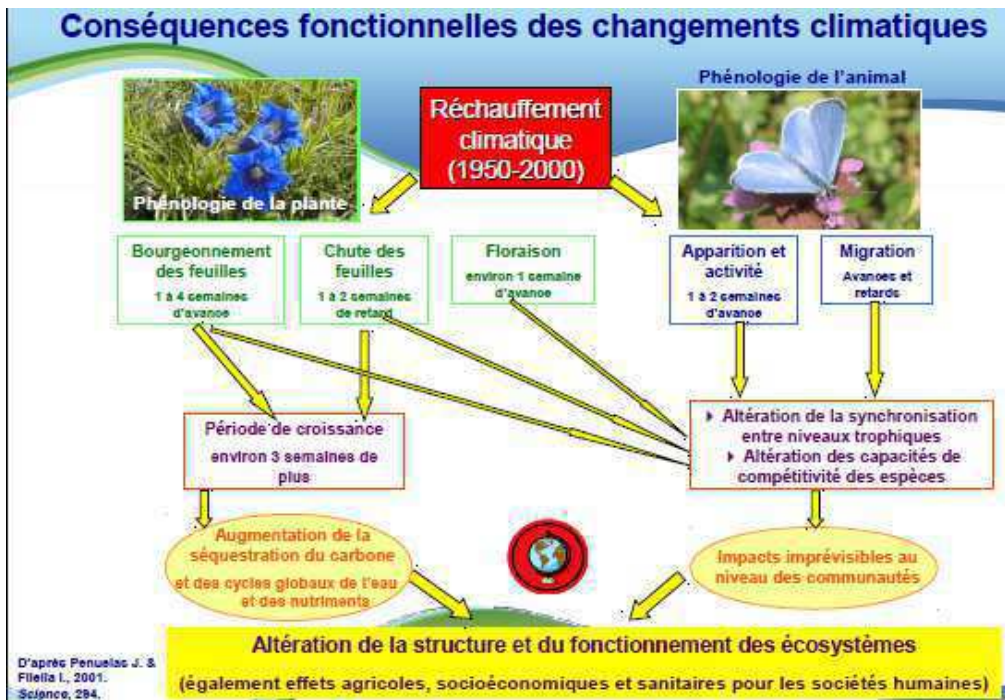


Figure 38 : Les conséquences du changement climatique sur le fonctionnement des écosystèmes

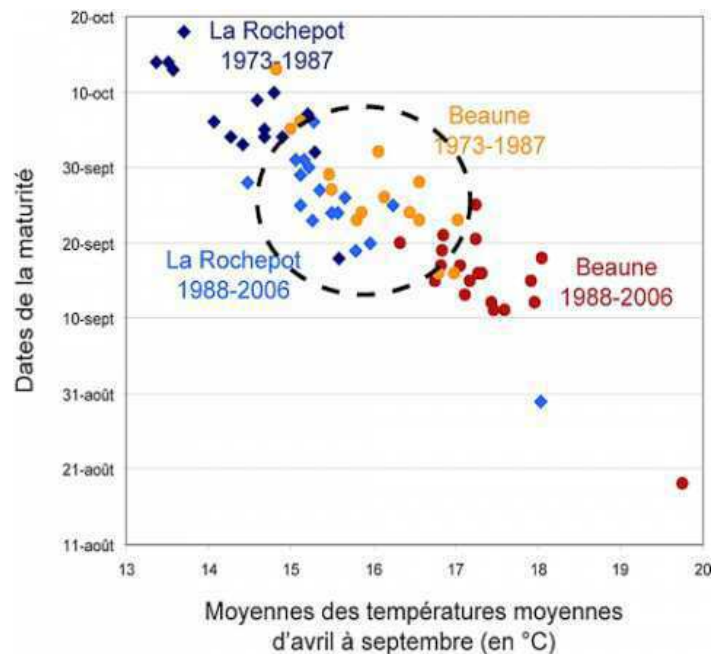


Figure 39 : Relations entre températures moyennes (avril - septembre) et dates de maturité - vendanges du Pinot noir à Beaune et la Rochepot. (Source : Chabin et al. 2007)

Un réchauffement limité est *a priori* positif pour la croissance des végétaux. S'il est trop important ou trop rapide, l'effet peut s'inverser.

Le changement climatique aura d'abord pour effet **d'influer toujours plus sur la précocité des évènements printaniers et à une plus grande tardivité des évènements automnaux** (Root et al. 2003). Cet allongement de la saison végétative (période pendant laquelle se fait la croissance des végétaux) va favoriser un accroissement de la production de la biomasse végétale du fait :

- du nombre de gels qui vont en diminution et disparaissent en hiver à l'horizon 2030 (Ils sont déjà particulièrement faibles avec 5 jours par an en moyenne de gel, 0,1j / an de neige sur la période 1981-2010) ;
- de l'augmentation globale des températures.

En fin de siècle, l'augmentation des températures aura cependant pour effet d'entraîner des risques de malformations de feuilles et des fleurs ainsi que de perturber la dormance des bourgeons. Il devrait par conséquent y avoir une baisse de la productivité des écosystèmes dans la deuxième partie du siècle. La biomasse devrait ainsi avoir une productivité plus importante induite par le changement des températures et la concentration plus importante de CO₂ dans l'atmosphère à l'horizon 2050. Ensuite, cette productivité devrait décroître d'une part parce que les hivers doux lèvent la dormance des bourgeons et d'autre part du fait des sécheresses et des canicules estivales répétées.

L'impact du changement climatique sur les écosystèmes forestiers

La modification du régime des précipitations marquée par l'augmentation des jours de sécheresse et par une potentielle diminution des pluies – augmentation de l'intensité des pluies en automne et diminution au printemps ainsi qu'en été à l'horizon 2050 puis 2080 (cf. cahier climat, p.50-54)- aura des impacts notables sur les différents milieux, sur les massifs forestiers en particulier. En effet les organismes auront, du fait de l'augmentation de la température, des canicules et des sécheresses, un besoin accru en eau. Une baisse des pluies, combinée à une hausse des canicules – dont certaines pourraient avoir lieu en automne- risque d'annuler les gains de productivité dont nous avons parlé ci-dessus. Dans tous les cas, elle aura un impact très important à la fin du siècle.

Le projet ANR Drought, piloté par le CNRS avec l'IRSTEA, l'INRA et l'Université d'Aix-Marseille, a montré, dans le cas des écosystèmes forestiers méditerranéens, que si le réchauffement a pu être bénéfique pour la productivité des forêts jusqu'en 1998, l'on passe aujourd'hui un seuil critique en terme de résistance des arbres (encadrés).

Pin d'Alep et sécheresse : une histoire d'adaptation

Connu longtemps pour sa capacité à adapter sa croissance aux variations climatiques, le pin d'Alep est étudié depuis les années 1990 au centre Irstea d'Aix-en-Provence. Il sert d'espèce référente pour évaluer le changement climatique et son impact sur les forêts. Dernièrement, le projet de recherche Drought a mis en avant des résultats inédits : l'influence des conditions climatiques sur l'architecture des arbres (nombres de branches, tailles de aiguilles, densité du houppier, etc.). Ce projet est aussi une étude originale sur le suivi en continu des écosystèmes sur 4 niveaux de végétation (pins d'Alep, chênes verts, filaires à grandes feuilles et chênes kermès).



Peuplement déperissant de pin d'Alep. © M. Vennetier / Irstea

Pour tester l'effet de la sécheresse, les chercheurs ont établi en forêt naturelle des zones de 900 m² où l'on contrôle la pluviométrie : des zones privées de 30 % de leur eau, des zones auxquelles on ajoute 30 % d'eau et enfin des zones témoins dont la disponibilité en eau n'a pas été modifiée. Ce dispositif est alors utilisé pour comparer la croissance et le fonctionnement physiologique des organes des

différentes espèces présentes sur les parcelles.

Au cours des 30 dernières années, les études ont montré que la croissance du pin d'Alep accélérât depuis le début du XXe siècle. Cependant depuis 1998 et avec la série de sécheresses qu'a connue la région méditerranéenne française entre 2003 et 2007, le pin d'Alep s'est révélé fortement stressé par le manque d'eau, la chaleur ou le froid. Face à ces stress, sa croissance se ralentit et ses branches arrêtent de se ramifier : les arbres s'affaiblissent progressivement. En effet, après plusieurs années de fortes chaleurs et de privations d'eau, le pin d'Alep manque de branches actives portant des aiguilles. Comme il ne peut en produire de nouvelles qu'à l'extrémité des rameaux en cours de croissance, il lui est impossible de combler rapidement les vides laissés à l'intérieur du houppier (cime des arbres). Ce déficit de branches limite pour de nombreuses années le nombre potentiel d'aiguilles, donc la productivité associée à la photosynthèse. De plus, les arbres ne peuvent pas suffisamment régénérer leurs réserves énergétiques pour supporter de nouvelles périodes difficiles. Cette fragilité se répercute sur la capacité du pin d'Alep à résister aux maladies et aux parasites.

Si les scénarios du climat du futur se confirment, alors il est important que les gestionnaires prennent en compte cet impact négatif qui influencera la productivité forestière à long terme.

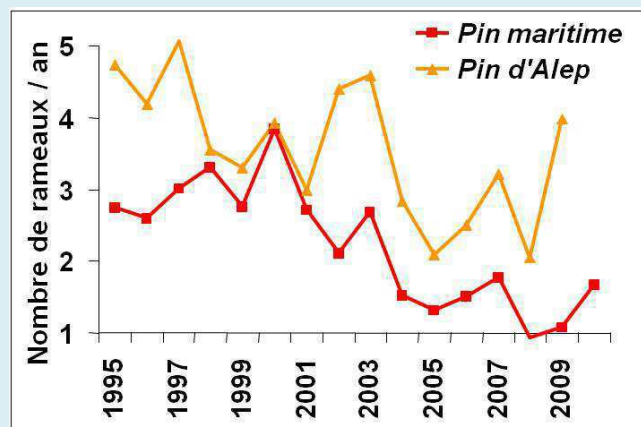


Figure 40 : Réduction du taux de ramification des houppiers en forêt méditerranéenne © M. Vennetier / Irstea
Source : projet DROUGHT

Les conséquences de la canicule de 2003 sur les écosystèmes forestiers

« Cette étude porte sur les conséquences directes et différées de l'épisode climatique exceptionnel de l'année 2003 sur les forêts de la région PACA. D'une part l'impact de la canicule et de la sécheresse sur des peuplements répartis de 300 à 1500m d'altitude a été mesuré précisément, d'autre part on a cherché généraliser ces observations à partir de l'étude d'images satellites. La canicule et la sécheresse de l'été 2003 ont eu un impact négatif fort sur la croissance et l'état de santé des deux principaux résineux de la forêt méditerranéenne, le pin d'Alep et le pin sylvestre. Cet impact a aussi été fort sur le pin maritime et sur la plupart des feuillus, notamment le chêne blanc. Les espèces arbustives des sous-bois et des garrigues n'ont pas été épargnées. Les conifères ont perdu au cours de l'été 2003 une forte proportion de leurs aiguilles (30-60%), ce qui s'est traduit par un houppier très clair et un fort déficit pluriannuel de leur capacité de photosynthèse. Le cerne de croissance de 2003 est étroit et présente un bois final exceptionnellement mince et léger, traduisant un stress hydrique violent qui a stoppé net leur croissance au cours du printemps. Les feuillus ont perdu leurs feuilles avec 2 à 3 mois d'avance. Beaucoup ont produit en automne de nouvelles pousses. Loin d'être favorable, cette reprise d'automne a épuisé leurs réserves, et ces pousses ont été pour la plupart détruites par le gel. A cet impact direct, s'ajoutent des séquelles



pluriannuelles liées à l'affaiblissement des végétaux, accentuées et prolongées par une série ininterrompue de sécheresses printanières de 2004 à 2007. Cette série de déficits pluviométriques conjuguée à des températures élevées n'a pas d'équivalent depuis qu'existent dans la région PACA des données météorologiques. Il en résulte une dégradation générale de l'état sanitaire de la forêt, et des mortalités massives du pin sylvestre dans l'arrière-pays varois et du sapin dans les Alpes Maritimes. Les sous-bois et les garrigues ne sont pas épargnés : même les espèces typiquement méditerranéennes comme les cistes, le romarin, le thym ou l'argelas dépérissent sur les sols superficiels et présentent ailleurs une proportion élevée de biomasse morte. Le risque d'incendie en est largement accru. Depuis 2004, les cernes de croissance en diamètre des arbres sont très étroits, conséquence de la sécheresse, du manque de réserves et du déficit foliaire. Les aiguilles des pins sont 30 à 50% plus petites que la normale. La croissance en hauteur et l'élongation des branches stagnent également à des niveaux très faibles. Le chêne blanc a même souvent perdu de la hauteur avec la mort d'une partie de ses branches hautes. Sur les pins, un déficit important de fructification est observé, avec très peu de cônes arrivant à maturité entre 2003 et 2007. Une très légère amélioration de la croissance en diamètre et de la taille des aiguilles des pins a été observée en 2007 sur certains peuplements, malgré une sécheresse exceptionnelle, et les fruits formés en 2006 sur les pins d'Alep ont massivement survécu, ce qui pourrait marquer l'atténuation des effets différés de 2003. La dégradation de l'état sanitaire des peuplements et la perte d'une partie de la surface foliaire a pu être observée sur les images satellites. Par rapport aux années de référence 1995 et 2002, considérées comme bonnes, on observe en 2003 dans les peuplements de pin sylvestre une baisse modérée (-17%) mais significative des indices de végétation, qui perdure jusqu'en 2005 avant un effondrement très net (-40%) en 2006. Ces effets sont particulièrement marqués entre 700 et 1000 m d'altitude, ainsi qu'à plus haute altitude sur les versants nord et ouest, peu habitués aux stress hydriques. Il est nécessaire de poursuivre les observations sur les peuplements forestiers, car la crise amorcée en 2003 est loin d'être terminée. La sécheresse de 2007 pourrait se faire sentir en 2008, accentuant les dépérissements et relançant à la baisse la productivité forestière. Les méthodes testées pour l'interprétation des images satellites sont opérationnelles à l'échelle de petites régions naturelles, mais nécessitent des améliorations et de nouvelles calibrations, notamment sur d'autres espèces, pour être utilisées à l'échelle régionale. »

Source : Vennetier, M. ; Borgniet, L. ; Thaabet, A. ; Gadbin-Henry, C. ; Ripert, C. ; Vila, B. ; Prévosto, B. ; Esteve, R. ; Martin, W. ; N'diaye, A. 2008; Impact de la Canicule 2003 sur les peuplements résineux de la région PACA. Rapport final.

Les impacts du changement climatique sur les zones humides

D'après la Convention Internationale de Ramsar sur les Zones humides (1971), la définition d'une zone humide est la suivante : « Les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres. »

Sur le territoire du Pays d'Arles, les habitats humides se présentent sous des formes très diverses : gaudres, mares, prairies humides, anciens marais, mais aussi canaux d'irrigation ou de drainage et plans d'eau artificiels. Les habitats humides, à la fois garde-manger, abreuvoirs, lieu de vie et de reproduction, jouent donc un rôle fonctionnel primordial pour de nombreuses espèces du territoire.

De par leur nature même les zones humides évoluent constamment avec le climat, à des échelles de temps variées allant de la saison pour les zones alluviales à plusieurs siècles pour certaines tourbières. Cependant la rapidité des changements climatiques attendus, cumulée à d'autres stress et à des effets rétroactifs envisagés, risquent d'impacter profondément le fonctionnement des zones humides et la biodiversité qu'elles accueillent.

Le changement climatique aura des conséquences sur la température, les précipitations, l'évaporation, et la disponibilité des eaux de surface et souterraines, autant de paramètres qui influent sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Au-delà de la gestion quantitative, les évolutions climatiques impacteront donc aussi les efforts d'atteinte et de maintien du bon état des eaux et des milieux.

Les autres principales menaces qui pèsent sur ces habitats sont la régression progressive de leur surface et l'altération de la qualité de l'eau. Les mutations agricoles, l'urbanisation et le manque d'entretien, menacent directement la pérennité des canaux agricoles et des prairies humides.

Impacts sur les zones humides internes

Les zones humides internes seraient sensibles à une baisse des niveaux d'eau qui pourrait être causée par le changement climatique, impliquant des conflits d'usage plus important sur la ressource durancienne et sur la réserve agricole de Serre-Ponçon. En effet, c'est aujourd'hui l'eau agricole qui alimente le territoire et les milieux naturels en eau (voir la partie « eau »).

La baisse des niveaux d'eau dans les zones humides peut se traduire par des assecs plus fréquents et plus prolongés, voire par un assèchement total de ces zones (source : AERMC). Cependant, à ce jour, aucune modélisation ne vient appuyer ces propos.

La hausse des températures associée à une baisse de précipitations entraînerait une baisse des niveaux d'eau et un échauffement des étangs peu profonds. La concentration en oxygène dissous s'en trouverait diminuée. L'activation du métabolisme par la hausse des températures stimulerait la production d'oxygène mais aussi sa consommation par la respiration. En cas d'augmentation trop importante de la température, cet équilibre mouvant de l'écosystème entre consommation et production d'oxygène risquerait de se rompre, avec comme conséquences possibles la désoxygénation de l'eau, la dystrophisation, et des risques sanitaires (Richoux et Lebreton, 2008).

En ce qui concerne un assèchement éventuel de ces étangs, il dépend certainement davantage de la gestion anthropique du système, déjà entièrement artificialisé, que des variations de précipitations.

Quel devenir des zones humides intérieures ?

L'agriculture comme les milieux naturels de la Crau, des Alpilles et du Comtat sont gérés par un réseau de canaux multi centenaire, à l'impact multiple : irrigation agricole, aussi recharge des nappes et humidification de milieux qui seraient sinon plus arides, assèchement et drainage de marais naturels.

Avec le changement climatique, les agriculteurs irrigants vont se retrouver dans un effet de ciseau : d'un côté une réduction de la ressource estivale offerte par la Durance, de l'autre côté une augmentation de la demande en raison des sécheresses locales et d'une évapotranspiration plus importante et enfin difficulté à gérer les eaux pluviales et la problématique inondation.

Demain une agriculture moins et mieux irriguée et des milieux naturels plus secs ?

Face à ce constat, les contrats de canaux pourront bénéficier de la bonne gouvernance locale, avec à la fois une meilleure réactivité face aux événements climatiques (gestion de crise de quelques heures à quelques semaines ou mois à l'avance) et de meilleures pratiques d'irrigation, dans un réseau rénové. Une gestion fine des canaux et des parcelles, des protocoles d'arrosage rénovés pourraient permettre, à condition que les investissements et expérimentations nécessaires soient menés, de bien amortir le choc à venir du changement climatique.

Cependant, le résultat pourrait être de réduire les apports d'eau douce au milieu, et donc d'impacter les autres fonctions jouées par cette irrigation. Des zones humides pourraient disparaître ou devenir plus temporaire, l'alimentation en eau potable des villes ou villages devrait être adaptés pour pallier cette baisse de l'apport d'eau par l'agriculture....

L'exemple des Marais des Baux et des potentiels bénéfiques de changement de pratiques

Un exemple pertinent de « re-naturalisation » en contexte de changement climatique pourrait être celui de la remise en eau des marais de Baux. En effet, le territoire entier pourrait en tirer des bénéfices dits « éco-systémiques » : maîtrise des crues & des inondations (retour à sa fonction de zone d'expansion de crue), recharge des nappes phréatiques, épuration des eaux, piégeage du carbone, tourisme et biodiversité, etc.

Ces questions structurantes pour l'avenir du territoire demandent une gestion concertée et une planification sur plusieurs décennies, au sein du monde agricole, mais aussi avec le reste de la société.

La conservation des habitats humides et des canaux s'inscrit largement dans la Charte du PNRA et dans la politique globale de gestion de l'eau. La question des débits réservés de la Durance, qui est d'actualité, doit permettre à notre territoire en situation de « péninsule hydraulique » de s'organiser et d'évaluer les besoins en eau de ses milieux naturels pour en assurer la pérennité en contexte de changement climatique.

Impacts sur les zones humides littorales

Les principaux impacts attendus du changement climatique sur les zones humides littorales sont l'accroissement de la salinité et les submersions temporaires et permanentes.

- Les impacts du changement climatique d'ores et déjà observés en Camargue

En Camargue, sur la base des suivis mensuels réalisés depuis 2000, on a observé un **relèvement du biseau salé** sur les mois de printemps. Par exemple, une hausse du taux de chlorure et de la

conductimétrie de +30% en 15 ans a été observée sur points de captage de Mas Thibert (communication O.Pecault).

Les riziculteurs qui pompent leurs eaux depuis le Rhône font la même expérience : en 2011, le débit trop faible du Rhône a entraîné une **remontée des eaux saumâtres** en profondeur qui ont été captée par les riziculteurs.

Par extension, ce phénomène touche les récoltes puis les milieux. Par exemple, sur 23 000 m³ que reçoit un hectare de rizière, 9000 à 11000 sont évapotranspirés et 5000 à 10 000 m³ s'infiltrent quand 8000 à 12 000m³ sont exportés dans l'environnement via le réseau de drainage. Dans ce dernier cas, l'évacuation d'une eau fortement salinisée dans l'étang de Vaccarès, qui est une zone humide douce (du fait de la riziculture) modifierait le milieu dans la mesure où les espèces qui y sont présentes ne sont pas eurhalines (résistantes au sel) comme dans la zone saumâtre de la Camargue.

Ce phénomène s'est accru du fait de la déprise agricole et des changements climatiques d'ores et déjà observés, notamment :

- **La baisse de l'apport en eau douce** liée à une moindre ressource en eau en période estivale, des difficultés de drainage en hiver face à une arrivée probablement plus importante d'eau, la baisse des précipitations constatées sur les bassins versants du Rhône réduit les apports de l'irrigation et donc l'opposition aux infiltrations d'eau salée.
- Les **submersions**, conjuguées à l'enfoncement du delta et à l'élévation du niveau de la mer, ont eu pour conséquence une élévation relative du niveau de la mer de 22 cm en un siècle et la perte de 450 ha dans le delta.



Figure 41 : Paysage d'une sansouire en Camargue

Dans le cadre de l'élévation du niveau de la mer et dans un milieu figé par les aménagements anthropiques, les gestionnaires du PNRC observent déjà la **disparition d'habitats sur les secteurs les plus soumis à l'érosion comme la Camargue saintoise, avec une perte observée de 5 à 10m par an** sur certains points (communication S.Arnassant).

- Avec le changement climatique, un risque de perte sèche d'habitats en Camargue

Par l'élargissement des graus existants et la formation de nouveaux graus (Verger, 2008 ; Romani et al. 2008), la salinité des lagunes méditerranéennes pourrait se rapprocher de celle de la mer, menant à une perturbation de la faune et de la flore des étangs.

L'étude Explore 2070 sur les effets des changements climatiques sur les zones humides méditerranéennes montre que la remontée du biseau salé et la submersion temporaire pourraient affecter les habitats les plus sensibles, entraînant le développement d'une végétation tolérant une salinité plus élevée, avec pour conséquence **le remplacement d'habitats naturels par d'autres**, qui pourrait être important, sans que cela entraîne une perte nette d'habitats terrestres.

Impacts des changements climatiques sur les zones humides méditerranéennes

L'étude Explore 2070 a étudié la sensibilité de zones humides méditerranéennes (en l'occurrence les étangs de Thau, de Mauguio et de la Narbonnaise) et leur exposition aux aléas que sont la salinisation, la submersion temporaire et la submersion permanente.

Ci-dessous, la liste des habitats (semi)naturels humides en sensibilité faible, moyenne et forte vis-à-vis des menaces de salinisation des sols, de submersion temporaire et permanente :

Menace	Salinisation des sols (remontée du biseau salé)	Submersion temporaire	Submersion permanente
Sensibilité faible	Eaux saumâtres sans végétation, Eaux saumâtres végétalisées, Formations annuelles sur laisses de lagune Fourrés halophiles à <i>Limoniastrum</i> , Fourrés halophiles à salicomes vivaces, Fourrés de <i>Tamaris</i> ouest-Méditerranéens, Gazons pionniers halonitrophiles Plages de sable avec groupements annuels Prés salés halo-psammophiles, Prés salés à <i>Aelurop</i> et <i>Puccinellia</i> , <i>Salicornia</i> annuelles Steppes salées	Eaux saumâtres végétalisées Roselières	Eaux saumâtres végétalisées
Sensibilité moyenne	Scirpaies halophiles, Prés salés à <i>Junc subulé</i> , Prés salés à <i>Junc maritime</i> , Prés salés à <i>Chiendent</i> , Prés salés à <i>Carex divisa</i> Plages de sable sans végétation Gazons méditerranéens amphibies halonitrophiles	Steppes salées Scirpaies halophiles <i>Salicornia</i> annuelles Prés salés à <i>Junc subulé</i> , Prés salés à <i>Junc maritime</i> , Prés salés à <i>Chiendent</i> , Prés salés à <i>Carex divisa</i> , Prés salés à <i>Aelurop</i> et <i>Puccinellia</i> , Prés salés halo-psammophiles Plages de sable sans végétation, Plages de sable avec groupements annuels Fourrés halophiles à salicomes vivaces, Fourrés halophiles à <i>Limoniastrum</i> , Fourrés de <i>Tamaris</i> ouest-méditerranéens, Gazons méditerranéens amphibies halonitrophiles, Gazons pionniers halonitrophiles Formations annuelles sur laisses de lagune Dunes mobiles, Dunes embryonnaires, <i>Peupleraies</i> , Formation riveraine de saules	
Sensibilité forte	Dunes embryonnaires, Dunes fixées à <i>Crucianelle</i> ou <i>Ephedra</i> , Dunes mobiles Eaux eutrophes à végétation flottante libre et/ou enracinée immergée Roselières, Typhaies Prairies humides (améliorées), <i>Frénaies</i> , <i>Peupleraies</i> , Formations riveraines de saule	Dunes fixées à <i>Crucianelle</i> ou <i>Ephedra</i> Eaux eutrophes à végétation flottante libre et/ou enracinée immergée Typhaies Prairies humides (améliorées)	L'ensemble des habitats naturels humides



De manière générale, l'étude montre que la remontée du biseau salé et la submersion temporaire pourraient affecter les habitats les plus sensibles, entraînant le développement d'une végétation tolérant une salinité plus élevée.

Le remplacement d'habitats naturels par d'autres, pourrait donc être important sans que cela entraîne une perte nette d'habitats terrestres.

L'exposition à l'aléa a également été étudiée par l'estimation de la proportion des surfaces non submergées, submergées de manière temporaire ou de manière permanente à l'horizon 2070 (élévation du niveau de la mer de 50 cm) par rapport aux surfaces actuelles (sources de données : cartes du BRGM superposées aux couches SIG d'occupation des sols actuelle (IGN 25) et la cartographie des habitats recensés au sein des sites Natura 2000.

Il pourrait être intéressant de mener ce type d'étude pour la Camargue.

Source : Explore 2070

Si cette étude montre que le changement climatique ne devrait pas avoir pour conséquence la perte nette d'habitat dans les zones humides de Languedoc Roussillon, le contexte est différent en Camargue.

L'élévation du niveau de la mer associée à l'éventuelle augmentation de l'intensité ou de la fréquence des tempêtes mèneraient à une **aggravation de l'érosion des dunes et à une migration vers l'intérieur**. Du point de vue du fonctionnement des zones humides littorales, ces phénomènes pourraient relancer la dynamique naturelle de recolonisation du milieu. De plus, si les lagunes disposent d'un espace suffisant pour migrer vers l'intérieur des terres, les submersions n'auraient pour conséquence qu'une nouvelle répartition de la profondeur des lagunes (Romani et al., 2008).

Or l'endiguement de la Camargue (Rhône et digues à la mer) constitue une difficulté supplémentaire pour l'adaptation des milieux à tous ces changements structurels. Le delta du Rhône paraît particulièrement vulnérable à des événements de submersion dus à des ruptures soit du cordon dunaire soit des levées latérales du Rhône (Verger, 2008 ; Chauvelon, 2008). La dynamique naturelle du delta a été entravée par l'action humaine, et celui-ci ne dispose donc plus d'une grande marge de mouvement pour s'adapter aux variations du niveau de la mer et des apports de sédiments.

L'avenir des dunes de Camargue

La Camargue est une mosaïque de milieux évolutifs qui se déplacent avec l'évolution géomorphologique. Les milieux littoraux se sont souvent adaptés à des variations fortes de la salinisation. Certaines dunes, qui fonctionnent avec les nappes d'eau douce, peuvent disparaître du jour au lendemain (disparition de pins, etc...), mais une même dune va se créer à côté.

Au niveau écologique, le delta s'est toujours bien adapté jusqu'à l'endiguement. On voit depuis la tempête de 1982 que les espaces sensibles touchés n'ont pas pu se reconstituer, surtout sur l'ouest. On constate tout d'abord la disparition des plages (il ne reste plus que les digues avec derrière des dunes ou des sansouires), facteur le plus évident des dernières décennies.

Mais bientôt ce seront les pinèdes littorales qui seront condamnées : les espaces plus à l'intérieur des terres sont déjà occupés, essentiellement par le milieu agricole, ce qui constituerait une perte sèche potentielle des espaces dunaires sans recul des activités agricoles.

Communication S.Arnavant PNRC



Par ailleurs, en Camargue, on ne peut parler du fonctionnement hydrologique futur sans questionner l'avenir de la riziculture et de la saliculture. Le changement climatique pourrait amener un facteur de fragilité supplémentaire, et son impact sur l'apport en eau douce pourrait entraîner des évolutions en chaîne sur les milieux naturels : la remontée du biseau salé due à la baisse des débits estivaux du Rhône et à l'élévation du niveau de la mer pourrait à terme condamner la culture sur les parties de la Camargue les plus sujettes à la salinité. L'arrêt de la riziculture et la fin programmée de la saliculture entraîneraient une baisse drastique des apports d'eau douce, ce qui augmenterait la salinité, dans le cadre d'une « renaturalisation » du fonctionnement du delta.

Le changement climatique est donc susceptible de bouleverser l'équilibre de gestion actuel des zones humides et des milieux naturels littoraux. Les pressions anthropiques qu'elles connaissent actuellement limitent fortement leur capacité d'adaptation.

D'après Chauvelon (2008), dans les décennies à venir il ne sera plus possible de maintenir la Camargue dans son état de fonctionnement actuel. Le maintien du fonctionnement hydrologique ne pourra être assuré que par un pompage artificiel d'eau, avec une gestion et des moyens qui restent à inventer, et la perte sèche d'habitat ne pourra être évitée que si l'on adopte une politique d'aménagement du territoire volontariste.

Des impacts incertains sur le milieu marin

L'investissement dans le milieu marin littoral est récent pour le parc naturel régional de Camargue, bien qu'il ait toujours compté la zone des 3 miles dans son périmètre. Il s'est concrétisé par la création d'une réserve marine sous statut de cantonnement de pêche de 450 ha, situé dans le cœur de la baie. Ce cantonnement a été créé suite à la demande des petits pêcheurs, en réaction à la présence illégale de grands chalutiers benthiques non sélectifs. Sa gestion passe notamment par un effort d'amélioration des connaissances (protocole de pêche scientifique avec GIS Posidonie et centre d'océanologie de Marseille).

La zone marine est sableuse, turbide, et donc assez difficile à étudier. Elle joue un rôle de nurserie (le PNRC prévoit notamment d'étudier l'impact des récifs artificiels qui y ont été implantés). Elle comprend notamment un herbier de zooster naine à la pointe de Bauduc, protégée au niveau régional, et en progression (implantation dans les petits fonds). Cette espèce peu sensible à l'augmentation de température des eaux car à l'aise dans les lagunes chaudes. Elle vit par contre plutôt mal les arrivées massives d'eau douce. Le milieu reste imparfaitement connu, on n'y connaît pas d'espèces invasives. Lors des épisodes chauds (2003), les huîtres et les moules sont connues pour avoir souffert.

Globalement les risques liés au changement climatique apparaissent relativement faibles. La gouvernance et la capacité d'adaptation sont donc en progression, mais encore de niveau moyen (réserve marine, Natura 2000, appui des pêcheurs...)

Par ailleurs, le climat influe également sur les écosystèmes marins côtiers dont la productivité est conditionnée par **l'apport de nutriments et de matières organiques apportées par le Rhône**. Or, cet apport est dépendant du débit du fleuve résultant des précipitations dans son bassin versant, qui dépendent elles partiellement du phénomène des oscillations nord-atlantique NAO). L'augmentation de NAO positifs (hivers doux et pluvieux) dans les années 1980 a par exemple apporté une augmentation des prises de soles dans les communes du Golfe du Lion (Salen-Picard et al. 2002). Les crues ont également cet effet. La crue centennale de 1994 a



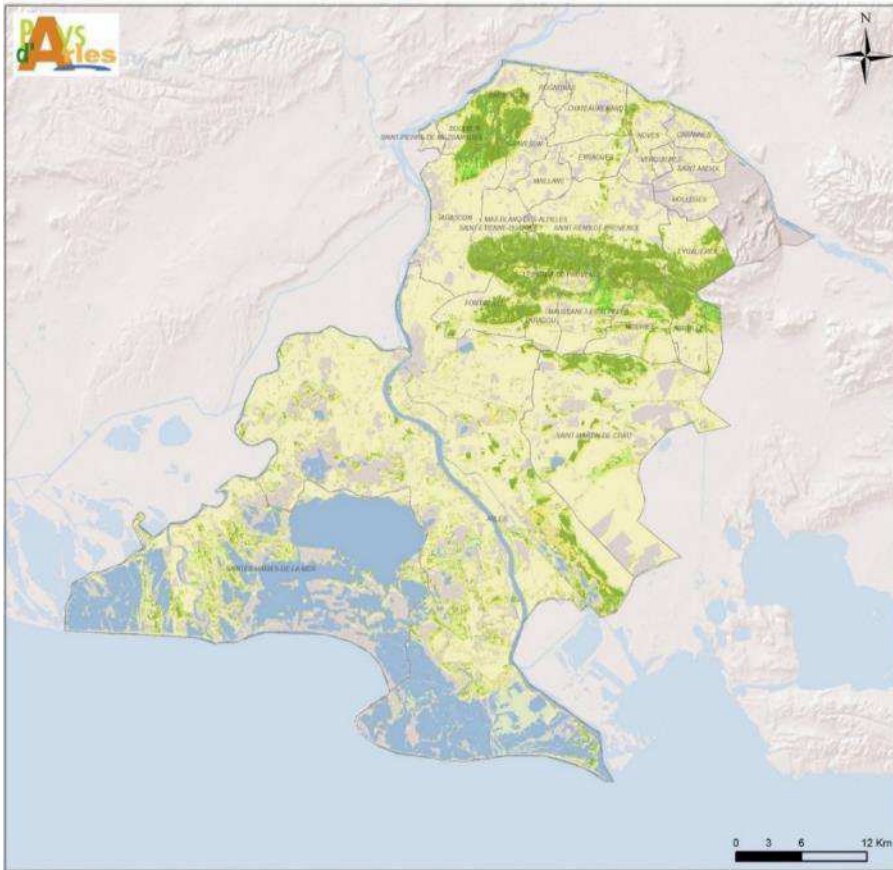
entraîné une multiplication par 3 des populations de polychètes (vers marins) au large du Rhône. Ces fluctuations de débit et d'apport en matière organique jouent également un rôle dans les blooms de méduses (Molinero et al. 2005). **Il n'y a pas ici de tendance claire, l'évolution de l'hydrologie de l'aval du Rhône dans un contexte de changement climatique étant mal connue (voir partie « Eau »).**

Les conséquences des risques naturels et des phénomènes extrêmes

L'augmentation des canicules projetée est de l'ordre de +18 jours (0-18 jours), en 2030, +27 jours (0-27 jours) en 2050, + 36 jours (0-36 jours) en 2080, celle des périodes de sécheresse pouvant s'élever entre 3 et 31 jours puis entre 6 et 31 jours à l'horizon 2080. Il n'est pas aisé de savoir si les espèces actuellement présentes sur le territoire résisteront à la modification locale du climat. Tout dépend de la rapidité des phénomènes, de l'existence de corridors permettant la migration des espèces, de la synergie avec d'autres pressions sur la biodiversité (une espèce déjà sous pression sera d'autant plus menacée par le changement climatique) et des capacités adaptatives propres à chaque espèce. Au niveau de la biodiversité marine en revanche, il est clair que les épisodes de stress thermique dus à une augmentation de la température de la Méditerranée sont la cause d'épisodes de maladies et de surmortalité dans le bassin Nord-Occidental (épisode de mortalité des gorgones en 1999 par exemple). On manque cependant d'études relatives aux littoraux à fond sableux de Camargue, *a priori* moins fragiles.

Les **sécheresses contribuent aux dépérissements et à la mortalité forestière**. Le stress hydrique fragilise les essences d'arbres qui résistent moins bien au gel, ou encore aux attaques de parasites. 2007, année marquée par de fortes chaleurs et une baisse des précipitations, a connu une mortalité accrue des jeunes plants ainsi qu'une population forestière globalement en moins bonne santé que pour d'autres années.

Enfin, **les risques naturels sont liés aux conditions climatiques et ont des impacts sur la biodiversité**. Les feux de forêts au même titre que les glissements de terrains faisant suite aux pluies torrentielles détruisent les habitats des espèces. Les massifs des Alpilles et de la Montagnette sont notamment particulièrement concernés par le niveau de risque incendie, surtout en période estivale.



**LOCALISATION DE
L'ALEA FEUX SUBI
SUR LE TERRITOIRE DU
SCOT DU PAYS D'ARLES**

Intensité et Extension potentielle du phénomène incendie

- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort
- Exceptionnel

■ Périmètre du SCot du Pays d'Arles

Source: DDTM 13, IGN Bd Carto

Conception: 

Octobre 2012

Figure 42 : Localisation de l'aléa feu sur le pays d'Arles

PIDAF	Niveau de risque (1 = Moyen ; 3 = élevé)
Alpilles	3
Côte Bleue	3
Étoile	3
Garlaban	3
Concors Sainte-Victoire	3
Quatre Termes	3
Arbois	2
Chaîne des Cotes - Trévaresse	2
Étangs	2
Marcouline	2
Montagnette	2
Régagnas	2
Pas des Lanciers	2
Piémont de l'Étoile	2
Pont de Rhaud	2
Roques	2
St-Chamas, Lançon, La Fare	2
Montaiguet	1
Plan d'Orgon	1
Rougadou	1

Figure 43 Diagnostic des PIDAF (Plan Intercommunal de Débroussaillage) dans les BdR

Enfin, les destructions « physiques » des habitats liés aux événements extrêmes risquent d'augmenter. Les tempêtes, les crues de forte intensité et les feux de forêts détruisent et fragilisent les écosystèmes. Ces derniers sont suffisamment résilients pour pouvoir reprendre « possession » de leurs habitats et se reconstruire : le suivi de l'étang de Vaccarès suite aux inondations de 1993 a montré que les espèces typiques des lagunes méditerranéennes ont très bien résisté aux variations de salinité. En 10 années, les poissons et plantes sont revenus à leur état initial.

Ce qui posera problème au XXI^e siècle, et particulièrement dans sa deuxième moitié, c'est la fréquence de ces événements (les écosystèmes n'auront peut-être plus 10 ans pour se reconstruire) et l'aménagement du territoire toujours plus contraint.

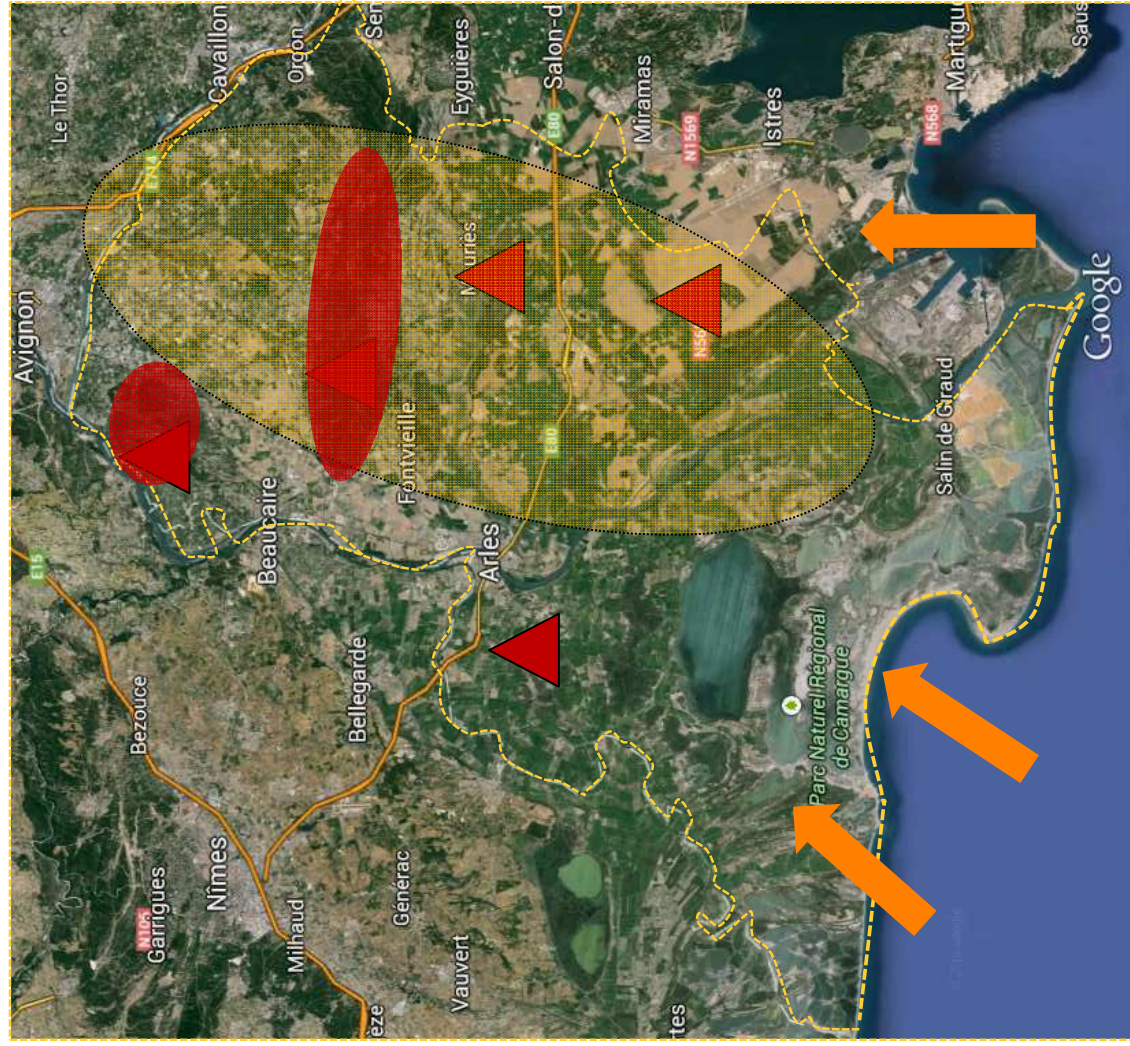
Les capacités d'adaptation

L'adaptation des milieux naturels au changement climatique demande de s'appuyer :

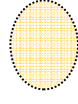
- sur les capacités de recherche et de suivi écologique, très présentes en PACA et sur le territoire du Pays d'Arles. Dans certains domaines comme les zones humides (réserve naturelle de Camargue, fondation Sansouire- Tour du Valat), on peut même dire que le territoire dispose de véritables centres d'excellence, bien que ce ne soit pas toujours perçu par les acteurs du territoire ;
- sur les gestionnaires d'espaces naturels (protégés ou non) et autres acteurs de la conservation, qui vont être en première ligne pour adapter leurs mesures de gestion, traiter les nouvelles menaces ou accompagner l'évolution des milieux. Ici aussi, le territoire est bien doté (conservatoire du littoral, PNRA et PNRC, réserves naturelles, aire marine protégée...) ;
- plus largement sur les acteurs de l'aménagement du territoire, et sur tous les dispositifs permettant une meilleure intégration des questions de biodiversité dans les politiques sectorielles. Le développement des corridors écologiques doit s'inscrire dans les documents d'urbanisme, la réduction des pressions environnementales passe par les études d'impact, les études d'incidences Natura 2000, la réglementation...

<p>Les acteurs clés à mobiliser</p>	<p>Organismes technique et de recherche (IRSTEA, INRA, CNRS, ONF, fondation Sansouire tour du Valat)</p> <p>Structures de protection de la nature : réserve nationale de Camargue, Parcs naturels régionaux de Camargue et des Alpilles, conservatoire du Littoral, marais du Vigueirat...</p>	
<p>Les capacités actuelles (institutionnels/réglementaires/soc/techniques etc.)</p>	<p>Les leviers</p> <p>Leviers réglementaires (PNRA/PNRC, Natura 2000, directive cadre etc.)</p> <p>Rôle stratégique du SCOT qui détermine les espaces à aménager et à préserver à horizon 2030</p>	<p>Les freins</p> <p>Aménagements empêchant la migration des espèces</p> <p>Conflits territoriaux (eau, usages des terres, etc.)</p>
<p>Les capacités futures (institutionnels/réglementaires/soc/techniques etc.)</p>	<p>Les opportunités</p> <p>Meilleure gouvernance du milieu marin (cantonement de pêche, Natura 2000)</p>	<p>Les menaces</p> <p>Faible niveau de priorité donné à la biodiversité</p> <p>Faiblesse des financements disponibles</p>
<p>Les pistes à approfondir</p>	<p>Corridors écologiques, trames vertes et bleues, recherche et suivi écologique,</p>	

Synthèse et cartographie



Changements climatiques



Raréfaction de la ressource en eau



Sécheresses plus fréquentes et ETP : stress hydrique



Impacts physiques liés aux crues à l'horizon 2100 ?



Impacts physiques liés aux crues à l'horizon 2100 ?



Salinisation et montée du niveau de la mer



Impacts

- 
 Dégradation écosystèmes marins
- 
 Dégradation des zones humides alluviales, et internes
- 
 Dégradation des zones littorales
- 
 Développement d'espèces invasives et translation des aires de répartition
- 
 Stress accru sur la forêt

Les impacts sur les milieux naturels en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'air	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Dégradation des écosystèmes marins	++ T de l'eau de mer Acidification de la mer (pH) -- P				
Modification de la phénologie (précocité des événements printaniers/activité automnale)	++ T (toutes saisons et Tmax (canicules d'ont automne) -- P estivales, ++ S				
Modification des zones saunâtre et du système lagunaire	++ EANM ++ Remontée biseau salé ++ vents (érosion) ++ Submersions marines				
Modification des zones humides (eau douce) littorales	-- P ++ S (apport en eau douce) ++ EANM, ++ Remontée biseau salé, ++ Vents, ++ Submersions marines				
Dégradation des zones humides alluviales et internes (mares, plan d'eau) et milieux aquatiques	++ T, -- P, ++ S				
Stress accru sur la forêt (stress hydrique et de dépérissement et de coup de gel)	++ T, ++ S, -- P				
Prolifération d'espèces invasives (aquatique-jussie, terrestre etc.)	++ T				
Modification et translation des aires de répartition des espèces (faune/flore)	tous les paramètres				
Légende	++ augmentation -- diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elevation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertain	bonne	faible ou incertain
		très faible	très faible	très bonne	opportunité

Les risques naturels et le changement climatique

Un territoire marqué par les risques naturels

Vue d'ensemble

Le territoire du Pays d'Arles est exposé à **divers risques naturels**. Le caractère « extrême » du climat méditerranéen (sécheresses estivales, précipitations intenses automnales etc.), la géographie physique (relief, réseau hydrographique, littoral etc.) ainsi que les modes d'aménagement et d'occupation conditionnent largement cette exposition.

Toutes les communes sont ainsi soumises à au moins un risque naturel

Les principaux risques naturels du territoire sont les inondations, les incendies de forêt, les submersions marines, les mouvements de terrain.

Les communes ne sont pas exposées de la même manière à ces différents risques :

- **le risque feux de forêt** concerne 70% des communes mais est principalement concentré sur les massifs à savoir les **Alpilles, la Montagnette et le Rougadou** qui présentent une végétation avec d'importants niveaux d'inflammabilité et de combustibilité ;
- **le risque d'inondation** est présent sur près de 62% du territoire. Les aléas peuvent prendre différentes formes : crues du Rhône, crues torrentielles de la Durance, ruissellement pluvieux intenses sur les reliefs, débordements des canaux ou submersion marine. Ils sont explicités ci-après ;
- **le risque d'érosion et de submersion marine**, qui correspond à une inondation temporaire de la zone côtière par les eaux d'origine marine, est présent sur les Communes d'Arles et des Saintes Maries-de-la-Mer.
- **les mouvements de terrain** se caractérisent par un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou. Ils constituent souvent des phénomènes ponctuels, de faible ampleur et d'effets limités. Le risque de mouvement de terrain est particulièrement présent sur les communes des piémonts des Alpilles et de la petite Crau (glissement, éboulement, coulée, effondrement).

A cela s'ajoute des **risques climatiques directs de type tempête, neige, fortes pluies qui peuvent impacter tout ou partie du territoire.**

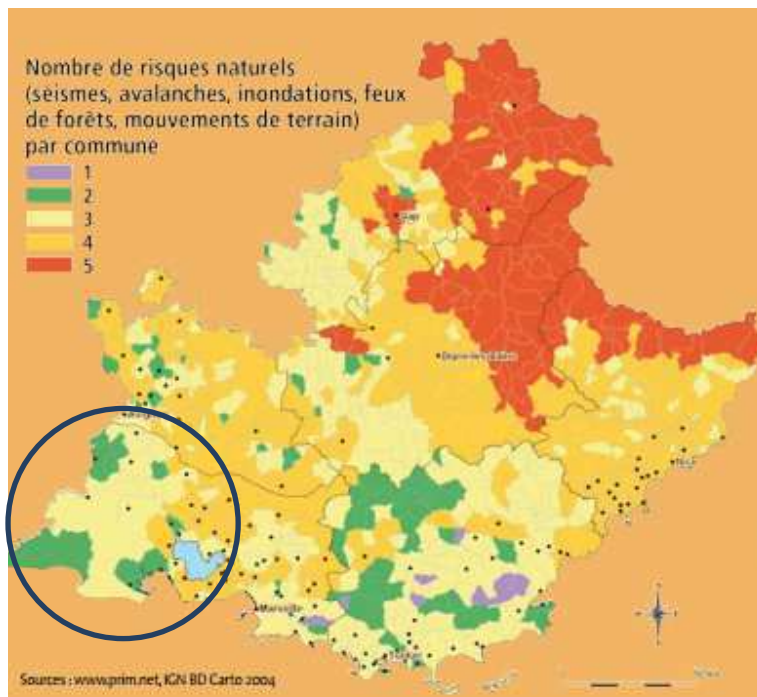


Figure 44 : Nombre de risques naturels par commune en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Source : Site Internet de l'Observatoire Régional des risques PACA

Les catastrophes naturelles sur le Pays d'Arles

Toutes les communes ont fait l'objet entre 1982 et 2012 d'au moins un arrêté de catastrophe naturelle. **Arles** est de loin la commune la plus touchée avec plus de 20 arrêtés recensés. Sans surprise se sont les inondations et des mouvements de terrain qui leur sont associés (coulées de boue etc.) qui représentent la principale cause des arrêtés pour l'ensemble des communes.

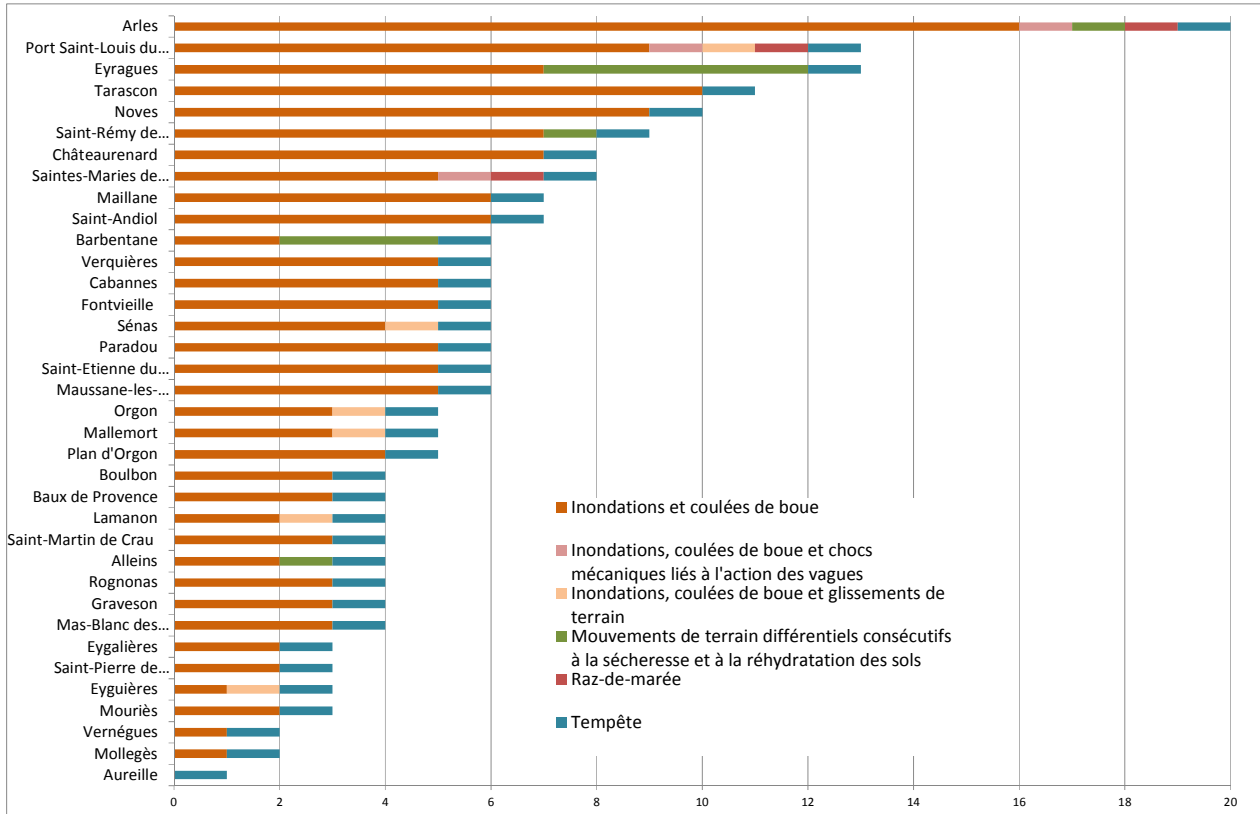


Figure 45 : Nombre d'arrêtés et nature des catastrophes naturelles pour les communes du Pays d'Arles depuis 1982

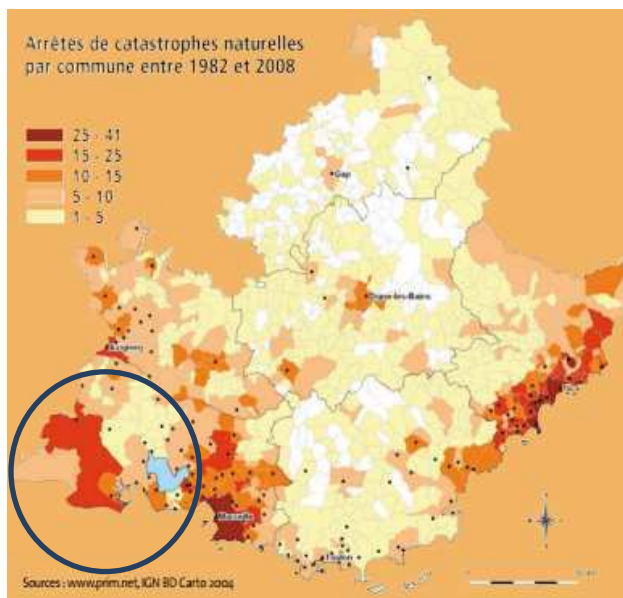
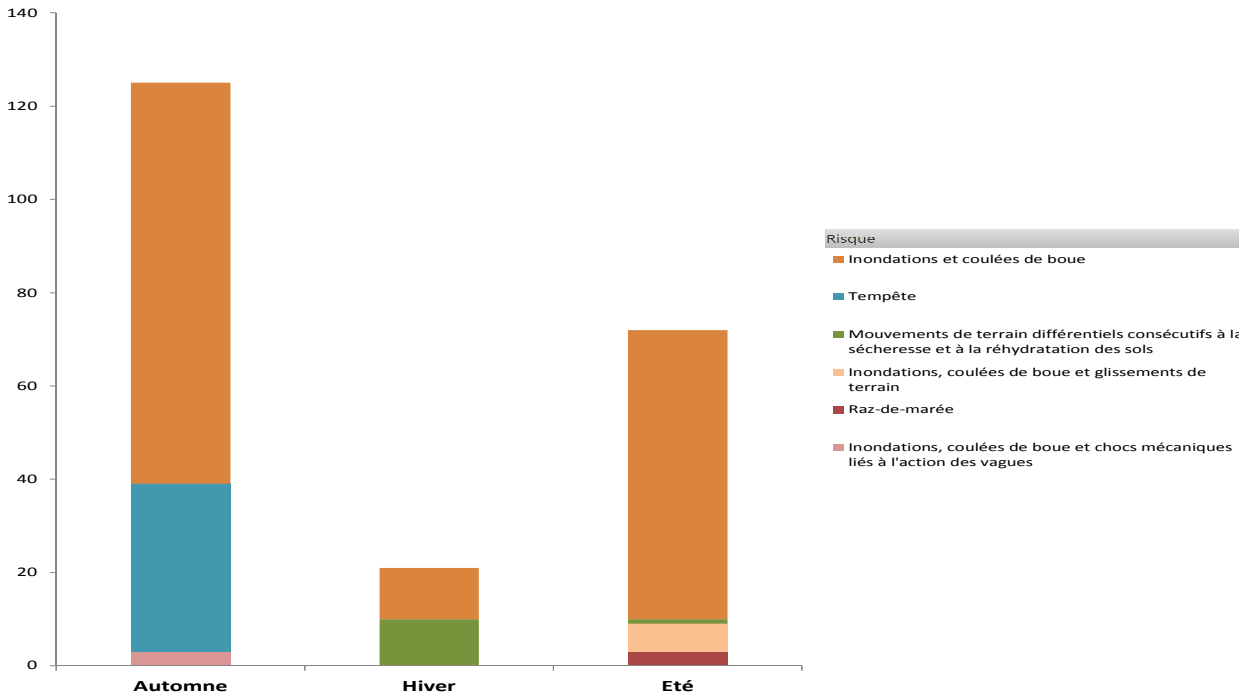


Figure 46 : Carte des arrêtés de catastrophe naturelle en PACA entre 1982 et 2008

Source : D'après la base de données Gaspar et le Site internet de l'Observatoire Régional des risques PACA.

La majorité des catastrophes naturelles et notamment les inondations/submersions interviennent à l'automne, saison propice aux fortes pluies et à la formation des crues des fleuves. Elles peuvent aussi se produire en été, et dans une moindre mesure en hiver. Les mouvements de terrain, consécutif à la sécheresse puis la réhydratation des sols se concentrent sur la période hivernale.



Source : D'après la base de données Gaspar et le Site internet de l'Observatoire Régional des risques PACA.

Figure 47 : Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles par saison sur le territoire du Pays d'Arles (1982-2010)

Les inondations constituent un risque quasi-permanent sur l'ensemble du territoire, qu'elles soient « intérieures » (inondations de plaine, crues torrentielles etc.) ou « marines » (submersion, raz de marée). L'ampleur géographique de ces catastrophes peut être évaluée grâce à l'histogramme ci-dessous, représentant le nombre de communes concerné par événement. Parmi les événements marquants du territoire, on notera les inondations de 2003, 2010 et 2002 ainsi que la tempête de 1982.

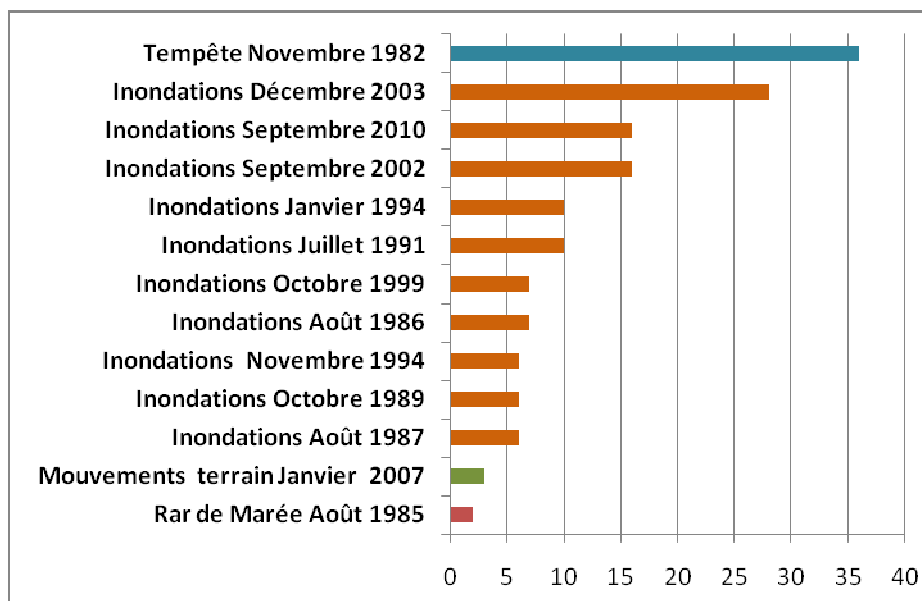


Figure 48 : Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles par catastrophe (1982-2010)

Source : D'après la base de données Gaspar.

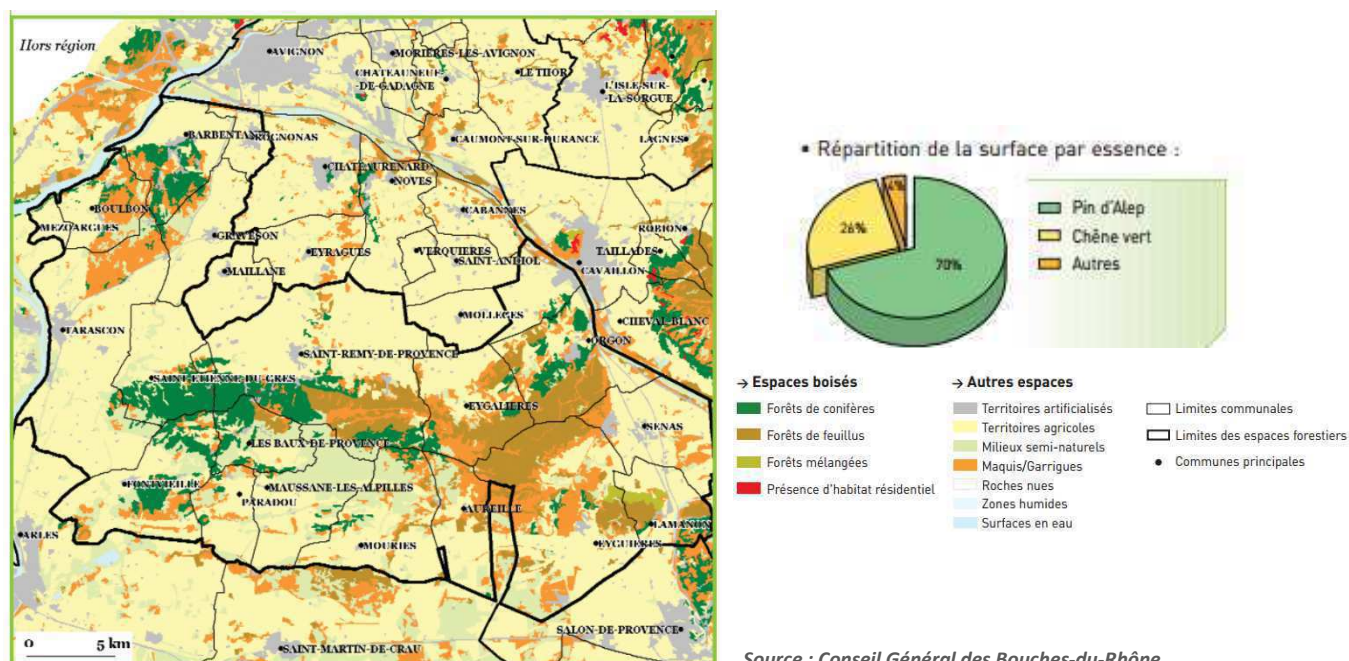
Les feux de forêt

Caractérisation

Le risque de feux de forêt n'est pas exempt du territoire du Pays d'Arles. Il est principalement concentré sur les massifs des **Alpilles**, de la **Montagnette** et du **Rougadou**.

Favorisé par les plantations et les incendies, le **pin d'Alep** constitue l'espèce prédominante des massifs. On trouve encore des boisements de chênes verts, et de chênes blancs qui témoignent de la forêt originelle des massifs.

Figure 49 : L'occupation des sols secteur Montagnette/Alpilles



Source : Conseil Général des Bouches-du-Rhône.



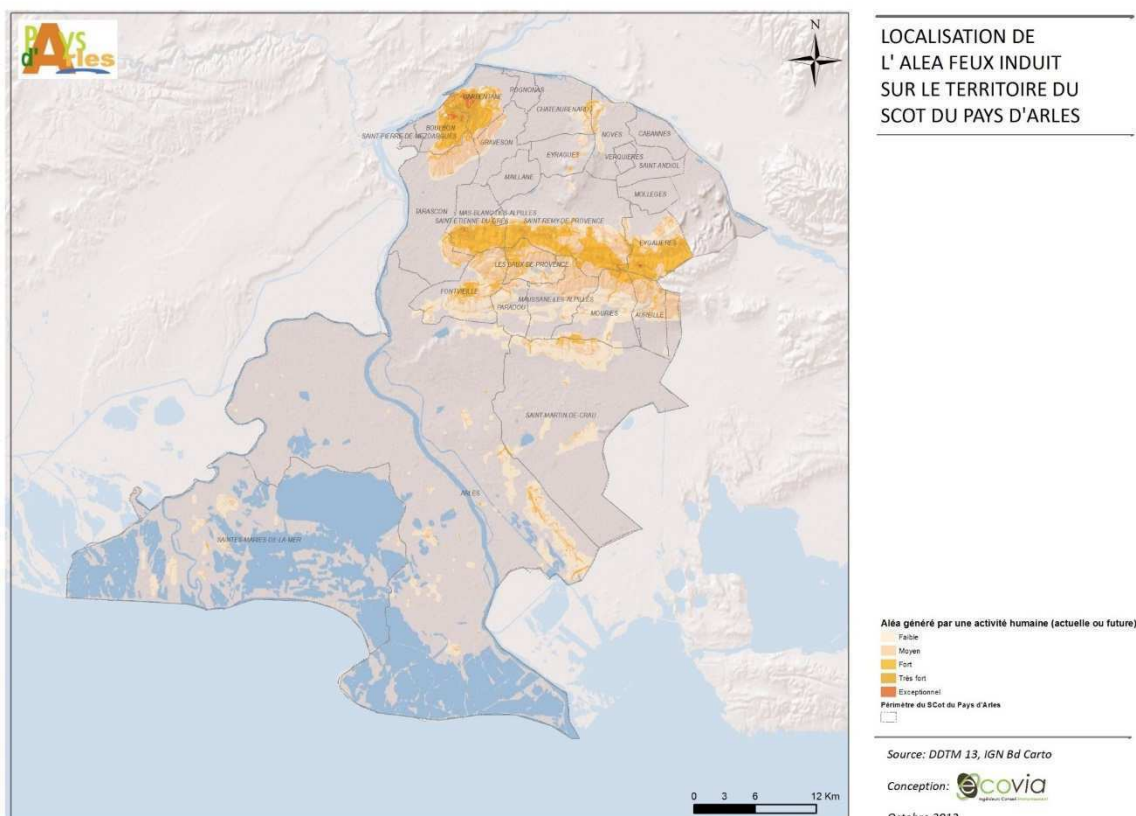
Le pin d'Alep est une espèce qui supporte bien la sécheresse estivale grâce à un système de transpiration particulièrement efficace. Son optimum de précipitation est de 300 à 400 mm mais il peut supporter moins. Il présente par contre une forte sensibilité à l'incendie du fait de l'ambiance sèche qui l'accompagne, des cônes persistants qui contribuent à la propagation de l'incendie et de la présence d'un sous-bois particulièrement combustible. Trop de chaleur ou de sécheresse consécutives peuvent cependant le fragiliser (voir page 64).

Cette formation forestière est donc particulièrement touché par le risque incendie. En moyenne ce sont 308 hectares par an qui sont brûlés. Les départs de feux, dont la principale cause reste humaine, interviennent principalement en période estivale, en pleine saison touristique. Les autres se produisent majoritairement en hiver.

L'aléa feux de forêt est donc élevé sur une grande partie des massifs, comme le montre l'illustration ci-après. On observe que les zones d'aléa induit « très élevée » correspondent principalement à des interfaces entre espaces inflammables (forêts, landes, garrigues etc.) et espaces urbanisés. Les zones les plus critiques sont ainsi les parties **Nord des Alpilles et de la Montagnette**, lieux de mitage des massifs.

La fréquentation touristique de ces massifs, la pression foncière (habitat diffus, etc.), le morcellement parcellaire, l'abandon des terres agricoles augmentent également les risques de départ de feu dans ces secteurs.

Figure 50 : localisation de l'aléa feux induit sur le territoire du Pays d'Arles



Si les surfaces brûlées sont en diminution du fait d'une meilleure gestion et stratégie de lutte contre les feux de forêt (débranchement, intervention précoce, brûlage dirigé etc.), le changement climatique pourrait remettre en cause cette tendance. En effet, les forêts sont particulièrement influencées par les conditions météo-climatiques : les conditions asséchantes

projetées par les modèles climatiques et confirmées par les travaux de recherche récents sur le sujet vont dans le sens d'une amplification des risques.

Au-delà de l'incendie, ce sont bien les fonctions de la forêt qui pourraient être remises en cause :

- Son rôle écologique avec la présence d'une forte biodiversité (ZNIEFF et Natura 2000 couvrant une grande partie des zones forestières) ;
- Son rôle social : loisirs, tourisme et paysage mais aussi et surtout **sa participation à la lutte contre le ruissellement et les inondations** ;
- Son rôle économique : activité sylvicole pouvant se développer potentiellement remis en cause (même si les potentialités pour son exploitation demeure relativement faible).

Impacts attendus du changement climatique

- **Impact sur le régime des feux**

L'indice forêt météo (IFM) estime le risque d'occurrence d'un feu de forêt. Il est utilisé par plusieurs services météorologiques nationaux dont Météo-France. Cet indice est calculé à partir de données météorologiques simples : température, humidité de l'air, vitesse du vent et précipitations. Ces composantes alimentent un modèle numérique qui simule le temps ou le climat, pour représenter l'état hydrique de la végétation et le risque d'incendie qui en découle.

Il est utilisé dans les Bouches-du-Rhône par les départements forestiers durant la période estivale pour prévenir les risques de départ de feu. C'est ce même indice qui a été exploité par Météo-France pour le compte de la mission interministérielle relative à l'extension des zones propices aux incendies de forêt en lien avec le changement climatique.

Les résultats de ces travaux sur la France sont sans appel. Les simulations montrent une **augmentation constante de la fréquence des jours avec un risque de feux de forêt** ainsi qu'une saison propice aux incendies plus longue, débutant plus tôt au printemps et se finissant plus tardivement en automne. Sur la France, la valeur moyenne de l'indice a augmenté de 18% entre 1961 et 1980 et 1989-2008. A l'horizon 2040, l'IFM moyen devrait progresser de 30%. Certaines simulations affichent des valeurs extrêmes jusqu'à 75%. 2003 deviendrait ainsi la norme à cette échéance. Ces travaux confirment donc les tendances en termes de projections climatiques qui vont dans le sens de l'allongement des périodes sèches (Augmentation des sécheresses de printanières et estivales, canicules automnales etc.).

Plusieurs travaux de recherche sur les feux de forêt méditerranéenne confirment cette tendance.

Si la forêt méditerranéenne a su s'adapter au feu de forêt en privilégiant des espèces pyrophytes comme le pin d'Alep qui multiplie ses graines et se régénère facilement après les feux, on prévoit tout de même une **accentuation du risque sur ces zones déjà sensibles**.

Les travaux de l'INRA (Rigolot, 2007), qui synthétise par ailleurs les travaux sur la thématique à l'échelle méditerranéenne apportent les précisions suivantes sur l'avenir des feux de forêts :

- **augmentation de la fréquence et de la gravité des feux de forêts** (Piñol et al 1998 ; Terradas et al 1998 ; Pausas 2004) ;

- augmentation possible de la fréquence des épisodes orageux dans l'hémisphère nord (Fosberg et al 1990, Price & Rind 1994) et de feux liés à la foudre ;
- **augmentation de la combustibilité des formations dépérissantes** (plus de nécromasse) ;

Le risque pourrait s'étendre aussi de manière géographique, en atteignant des formations et territoires aujourd'hui peu concernés.

Si les feux devenaient trop fréquents, bien qu'elles soient adaptées à ce régime en zone méditerranéenne, les formations forestières pourraient alors peiner à renaître de leurs cendres. Le sol serait mis à nu et la matière organique pourrait elle aussi brûler ce qui empêcherait alors toute reconstitution forestière.

Une extension des feux vers les zones de Marais ?

Les marais de l'Ilon, Vallée des Baux

« La faiblesse des précipitations depuis l'hiver 2003-2004 est tout à fait exceptionnelle. Les propriétaires témoignent qu'ils n'avaient jamais vu les marais à sec en hiver... Les truffes semblent avoir disparues... Les risques incendies sont très forts actuellement. Si le volume des précipitations printanières ne permet pas de rattraper le déficit hydrique, une sécheresse grave et à redouter pour l'été 2005. »

Source : Journée mondiale pour les zones humides, 2005, Compte-rendu de la visite de terrain aux Marais de l'Ilon.

- **Les conséquences pour le cadre de vie**

Ainsi, l'augmentation des risques de feu pourraient induire des effets en chaîne sur le territoire avec :

- **une dégradation des écosystèmes limitant leur productivité et amenuisant leurs diverses fonctions : zones de biodiversité, conservation des eaux dans le sol, limitation du ruissellement sur les versants.** Le risque d'érosion irréversible des sols serait accru. Le paysage tendrait également à s'homogénéiser ;
- **une augmentation des risques aux biens et aux personnes :** Les zones les plus sensibles aux feux de forêt font l'objet d'une pression foncière toujours plus importante (zones d'interface entre l'habitat et la forêt) et de problèmes spécifiques qui tendent à accroître le risque (déprise agricole, morcellement des propriétés). Le risque devrait tendre à croître et menacer donc potentiellement le cadre de vie dans ces territoires. Au-delà des habitants, les touristes qui pourraient être confrontés à des fermetures encore plus fréquentes de l'accès aux massifs, notamment en période estivale ;
- **une augmentation des difficultés de lutte :** les feux devenant plus puissants et rapides, cela devrait se traduire par une augmentation des difficultés de lutte contre les feux (Rigolot, 2007) et une **augmentation des coûts de gestion pour les collectivités** (feux puissants et rapides, accessibilité) ;
- **des conséquences économiques à ne pas négliger :** le développement d'une filière bois pourrait être compromis et certaines activités pâtir largement de cette recrudescence des feux en premier lieu desquelles le tourisme (perte de biodiversité, de paysages d'intérêt etc.). L'agriculture aux abords pourrait être aussi menacée.



Capacité d'adaptation

Plusieurs outils de gestion de la forêt concourent aujourd'hui à la prévention du risque de feux de forêt sur le territoire du Pays d'Arles avec notamment :

- **Le Plan Départemental de Protection des Forêts contre les Incendies (PDPFCI)**

Dans les Bouches du Rhône, un PDPFCI a été approuvé par arrêté préfectoral le 14 mai 2009. Les objectifs du plan sont déclinés à l'échelle des massifs. Il précise l'aléa, les aménagements nécessaires à la prévention et les moyens de lutte. Il renforce ainsi le poids des PIDAF dans le dispositif de Défense de la Forêt Contre l'Incendie (DFCI).

Le document pointe notamment que l'autoprotection des zones habitées est encore très insuffisante, du fait d'une organisation de l'habitat et des dessertes pas toujours adaptée au risque d'incendie de forêt qui les menace, mais aussi d'un respect encore trop modeste des obligations légales de débroussaillage. Le plan permet par ailleurs de hiérarchiser les priorités pour la prescription des Plans de Prévention des Risques d'Incendies de Forêt qui prendront en compte le risque induit et subi. De plus, il met en garde sur les **nécessités de vigilance et de gestion des extensions d'urbanisation dans les zones boisées**.

- **Les Plans Intercommunaux de Débroussaillage et d'Aménagement Forestiers (PIDAF)**

Ces plans sont aujourd'hui les outils privilégiés de mise en œuvre des actions de protection des forêts contre les incendies sur le territoire du Pays d'Arles. Le principal objectif d'un PIDAF est la Défense de la Forêt Contre l'Incendie (DFCI). Il a pour objet de planifier les équipements et aménagements d'un massif forestier sur une période de 10 ans, afin de :

- prévenir les incendies (information, détection) ;
- ralentir leur progression (débroussaillage, sylviculture) ;
- favoriser les actions de lutte (coupures vertes, création, entretien et sécurisation des accès, création de point d'eau).

Quatre PIDAF sont présents sur le territoire du Pays d'Arles (Le rougadou, Plan d'Orgon, Montagnette, Alpilles). A noter que les Bois de Santa-Fe et de Chambremontau Sud des Alpilles ne bénéficient pas, à l'heure actuelle, d'une démarche PIDAF.

Toutefois, dans un contexte de changement climatique, se posera alors encore plus d'acuité le problème de l'urbanisation dans les zones à risque de feu de forêt. Des outils réglementaires tels que les **Plans de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRIF)** pour protéger les constructions existantes et limiter les nouvelles constructions dans ces zones pourraient voir le jour sur le territoire.

Des réflexions devront aussi voir le jour le devenir des activités économiques pouvant largement contribuer à diminuer le risque comme l'élevage extensif aux abords des forêts ou à contrario l'augmenter, comme certaines activités touristiques. Ces questions sont à replacer dans un contexte plus global relatif aux devenirs des activités économiques sur le territoire et aux modes d'occupation des sols.

Enfin, il semblerait qu'il existe encore des marges de manœuvre importante en termes de sensibilisation des touristes et des habitants sur les feux de forêt. Au-delà des actions de prévention et de comportements de sauvegarde pendant les crises, il s'agit aussi d'apprendre à vivre avec le feu et le changement climatique sur le territoire.

Les inondations intérieures

Synthèse : inondations

- Un aménagement du territoire en partie conditionné par la prise en charge du risque inondation, une actualité marquante avec l'élaboration des PPRI
- Pas de signal univoque sur l'augmentation du risque de crue du Rhône et de la Durance avec le changement climatique, mais des indices (hausse des précipitations extrêmes), tendance à la hausse des débits hivernaux
- Un risque lié au ruissellement sur le territoire encore imparfaitement pris en compte, peut-être plus important dans l'avenir
- Une période de transition, avec une prévention des risques en chantier et une période caractérisée par la mise en œuvre du Plan Rhône et de ses ouvrages protecteurs

Caractérisation

Le territoire du Pays d'Arles, à la confluence du delta du Rhône et de la Durance, est fortement structuré par son réseau hydrographique et la mer. Les aléas sont multiples : crues du Rhône, crues torrentielles de la Durance, débordements des canaux, ruissellement pluvieux intenses ou épisodes de crue généralisée. Ces aléas ont des origines diverses, souvent liées à des épisodes pluvieux intenses et/ou prolongés, qu'ils aient lieu sur le territoire (ruissellement pluvieux) ou en dehors (en amont sur la Durance par exemple).

Outre les caractéristiques des régimes pluviométriques sur le territoire et en aval, l'impact est accentué par la croissance des enjeux dans les zones à risques, par l'imperméabilisation croissante des sols, et par la disparition des zones naturelles de débordement liées à l'urbanisation des lits majeurs.

Aujourd'hui 62% du territoire est situé en zone inondable et de nombreuses zones urbanisées sont protégées par des digues. La récurrence d'événements pluviométriques intenses et d'épisodes d'inondation associés durant ces 20 dernières années a mis en évidence la vulnérabilité effective du Pays d'Arles à cet aléa. Si le risque inondation a toujours été géré sur le territoire, depuis 2003, les moyens en faveur de la bonne gouvernance, de la gestion et de la protection contre les inondations sont et seront largement renforcés dans une optique de diminution significative de la vulnérabilité du territoire.

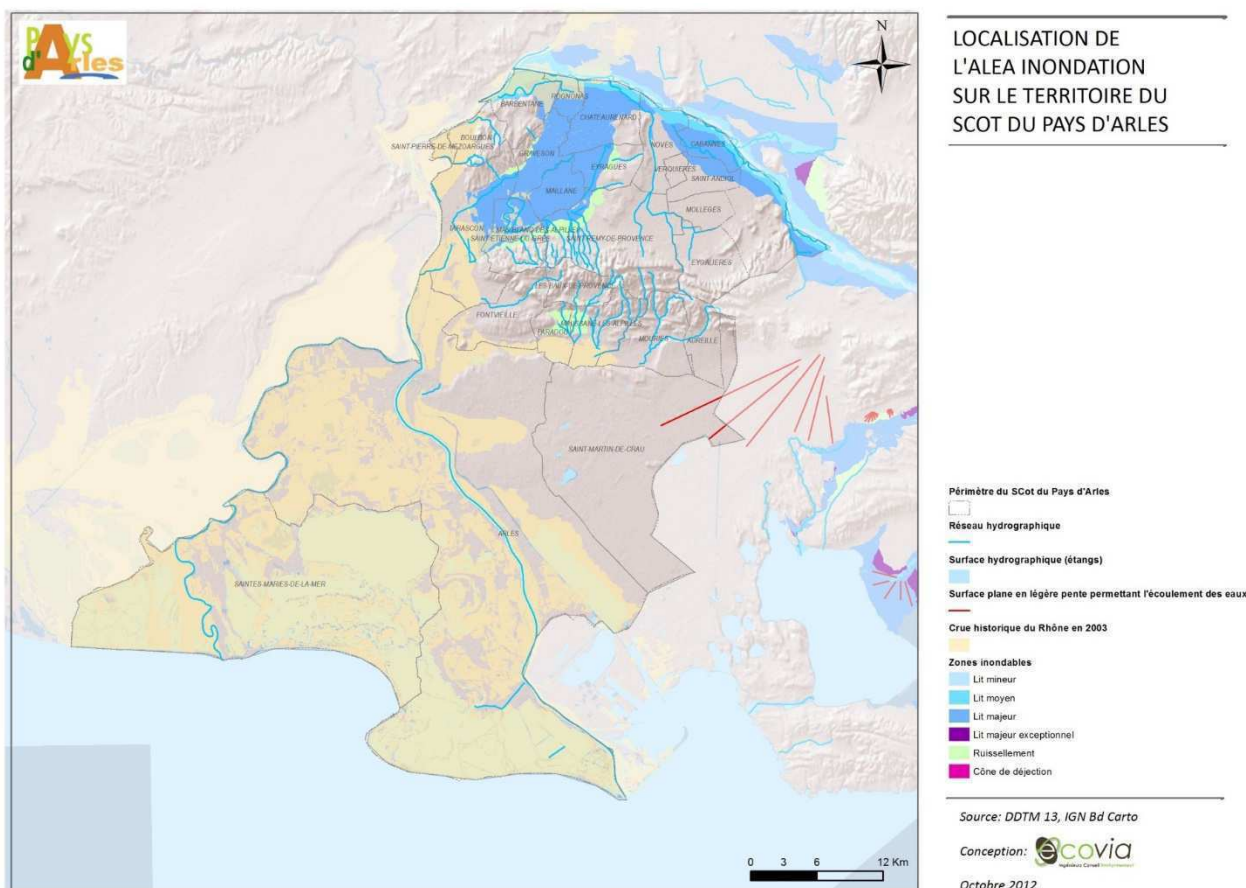


Figure 51 L'aléa inondation sur le territoire du Pays d'Arles

Sur ce territoire, les inondations ou leur aggravation proviennent aussi de la mer. Les tempêtes en provenance de Méditerranée, sous l'effet de fort vent de secteurs sud-est à sud-ouest sont redoutées car généralement accompagnées de fortes pluies, levant de fortes houles génératrices des surcotes marines. Des submersions marines peuvent avoir lieu sous l'effet combiné « houle-vagues-surcote » notamment sur les terres les plus basses. La houle perturbe par ailleurs l'écoulement du Rhône ce qui peut aggraver fortement les épisodes de crues en bloquant les écoulements.

Or c'est bien la coïncidence entre crue, ruissellement pluvial et surcote marine qui est susceptible d'aggraver largement les impacts des inondations, comme ce fut le cas en 2003.

En dépit des incertitudes qui entourent l'évolution du Rhône et de ses affluents et les phénomènes de surcotes, l'élévation du niveau de la mer serait le facteur le plus influencé par le changement climatique qui contribuerait à augmenter la vulnérabilité du territoire aux inondations. L'impact de la coïncidence entre les aléas submersions et crue sous l'effet du changement climatique reste mal connu. La question de la gouvernance intégrée des inondations demeure plus que jamais d'actualité.

Les inondations de 2003, une vision transversale des enjeux à l'œuvre

- **Caractérisation de l'aléa**

La crue du Rhône de décembre 2003 est la plus intense des crues récentes. Elle s'inscrit dans un contexte météorologique exceptionnel, caractérisé par un épisode pluvio-orageux intense et généralisée sur le quart sud-est de la France. Il a été provoqué par un phénomène

méditerranéen classique lié à une perturbation issue de la collision entre des masses d'air froid et de l'air chaud saturé en humidité en provenance de Méditerranée. Toutefois ce n'est pas tant l'intensité de l'événement de 2003 qui a été exceptionnelle mais trois de ses caractéristiques :

- l'amplitude géographique (toute la vallée du Rhône au sud de Lyon) ;
- une durée qui a excédé 48 heures (les épisodes méditerranéens ne dépassent habituellement pas 24 à 36 heures) ;
- une arrivée très tardive dans la saison.

Alors que la rupture de digues a été la cause de débordements majeurs, l'événement de 2003 a aussi mis en évidence des inondations dans la plaine du Rhône dues seulement aux précipitations locales et non au débordement du Rhône (PPRi Rhône). Par ailleurs, la coïncidence entre la crue et une surcote marine a augmenté la hauteur des lignes d'eau et retardé l'évacuation de l'eau dans les zones proches de la mer, comme le montre la figure ci-dessous (Provensal et Vianet, 2012).

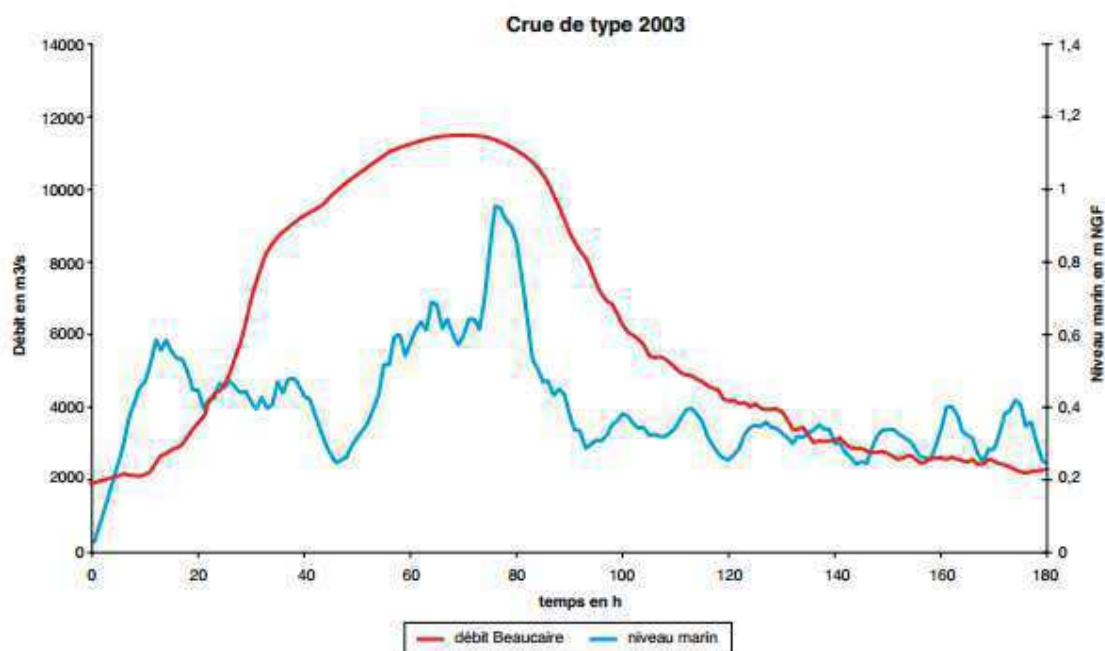


Figure 52 : La coïncidence de la crue de décembre 2003 avec une surcote marine.

Source : © G. Raccasi, Aix-Marseille Université

Cette coïncidence a aggravé les hauteurs d'eau dans le chenal du Grand Rhône et gêné les opérations de ressuyage en Camargue Gardoise.

- **Les conséquences économiques et sociales**

Sur le cours aval du Rhône, la crue forte de 2003 a été la troisième en termes de gravité après celles de 1856 et 1840, d'après le classement des crues établi depuis 1800. L'évaluation des dégâts a permis d'estimer le coût des dommages à un minimum de 846M€ pour le Grand Delta. Les montants réels diffèrent de manière significative par rapport aux estimations de l'Etude Globale du Rhône (EGR) comme le montre les montants réels par rapport à ceux estimés (voir tableau ci-après).

Libellé	Montants	Pourcentages	Chiffres EGR
Dommages aux particuliers (sur biens assurés)	320 M€	37,8 %	238,7 M€
Dommages aux entreprises, commerce, artisanat	367,2 M€	43,4 %	297,3 M€
Dommages à l'agriculture (cultures et réseaux hydrauliques)	76,8 M€	9,1 %	121,5 M€
Dommages aux digues et rivières	31,4 M€	3,7 %	non estimé
Réseaux et équipements publics	51,2 M€	6 %	non estimé
TOTAUX	846,6 M€	100 %	657,5 M€

Figure 53 : Coût des dommages de la crue de 2003

Les inondations ont causé des dommages considérables sur l'ensemble du territoire. Aucun secteur n'a été épargné. La plaine du Trébon et les quartiers Nord d'Arles ont été fortement impactés.



Figure 54 : les dommages causés par les inondations de 2003

Source : Symadrem.



Impacts sur le régime des crues de plaine du Rhône et de la Durance

Le Rhône et la Durance sont les deux grands fleuves du territoire qui peuvent engendrer des crues de plaine. Ces crues sont associées aux pluies abondantes et durables au niveau du bassin versant qui provoquent des débordements directs du lit mineur vers le lit majeur ou de manière indirecte des remontées des nappes alluviales ou des réseaux d'assainissement. Enfin la rupture d'ouvrage de protection est également un cas de figure majeur qui peut entraîner une inondation rapide. L'importance des dégâts varie selon la hauteur d'eau, la vitesse du courant, l'occurrence du phénomène, la durée de submersion, la vitesse de la montée des eaux ou encore la charge de l'eau.

Le niveau d'aléa relatif à une crue est principalement lié à :

- sa fréquence / période de retour ;
- sa soudaineté : de quelques secondes à quelques jours ;
- sa vitesse d'augmentation ;
- son ampleur : approche / dépassement des niveaux historiquement connus ; extension spatiale ;
- sa durée : de quelques minutes à plusieurs jours : Temps de montée.

Les zones inondées par les crues sont néanmoins très souvent considérées comme à risque en liaison avec leur occupation humaine (habitat, voie de circulation, zone industrielle/commerciale). Elles sont maintenant assez bien répertoriées en France dans chaque plan de prévention du risque inondation communal.

Source : Helga-Jane LAGANIER, Risque d'inondation et aménagement durable du territoire, Presses universitaires du Septentrion, novembre 2004, 242 p, p. 51

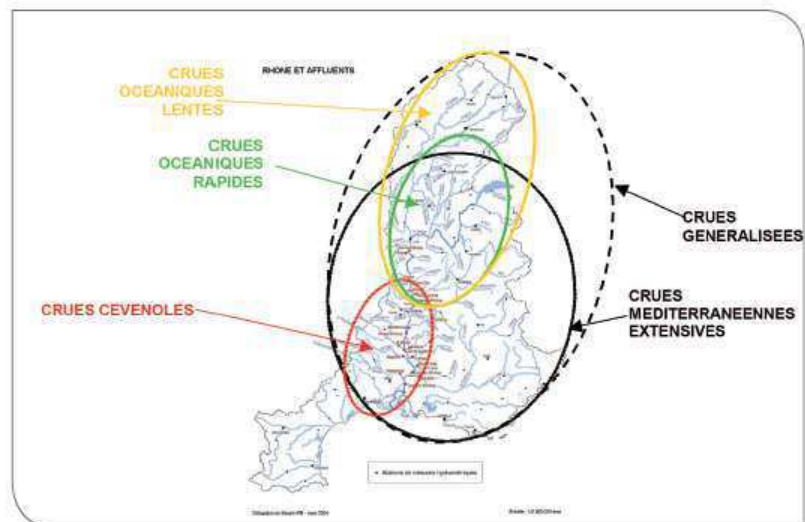
- **Impacts sur l'hydrologie du Rhône**

L'hydrologie du Rhône Aval est modifiée par les apports des affluents cévenols et sud-alpins : l'Ardèche et le Gard sont responsables des crues rapides, dites « cévenoles » aux effets souvent dévastateurs, la Durance, affluent le plus important, amplifie souvent les crues d'amont en durée et en débit (Provansal et Vianet, 2012). La Drôme, l'Aigues et l'Ouvèze ne jouent que très peu sur le débit du Rhône (Mosseri et Radakovitch, 2012).

Une typologie des crues du Rhône a donc pu être établie en fonction de la nature des événements météo-climatiques qui affectent donc le Rhône et ses affluents. Elles peuvent être de nature : océaniques (évolution plutôt lente), cévenoles (violentes et importantes en volumes), méditerranéennes extensives (plutôt rapides), généralisées (exemple : crue historique de 1856).

Ces catastrophes sont ainsi majoritairement liées à des épisodes pluvieux intenses de type méditerranéen ou océanique. Ces événements interviennent généralement à l'automne mais aussi au printemps et exceptionnellement en été ou en hiver. Les crues plus lentes, touchent davantage le nord du bassin du Rhône, sachant que la concomitance des crues lentes et rapides est toujours possible (crues généralisées en 1856). Contrairement aux autres fleuves français, le Rhône peut donc connaître des crues rapides sur son cours intérieur en réaction à ses affluents méditerranéens.





Type de crues du Rhône (source: D. DURAND [7])

Figure 55 : Les types de crue du Rhône

Source : SYMADREM, 2012.

Les inondations en aval peuvent largement être aggravées par des phénomènes de surcote marine (effets couplés des tempêtes, du vent et des vagues) qui entravent l'écoulement des eaux vers la mer, comme ce fut d'ailleurs le cas en 2003.

Pendant de nombreuses décennies **les crues du Rhône** n'ont pas atteint le seuil de référence de celle de 1856 (crue supérieure à la centennale). Puis **pendant la décennie 1993 – 2003 une série de crues intenses se sont succédé** dont celle de 2003.

Les débits de pointe de référence (Beaucaire/Tarascon)

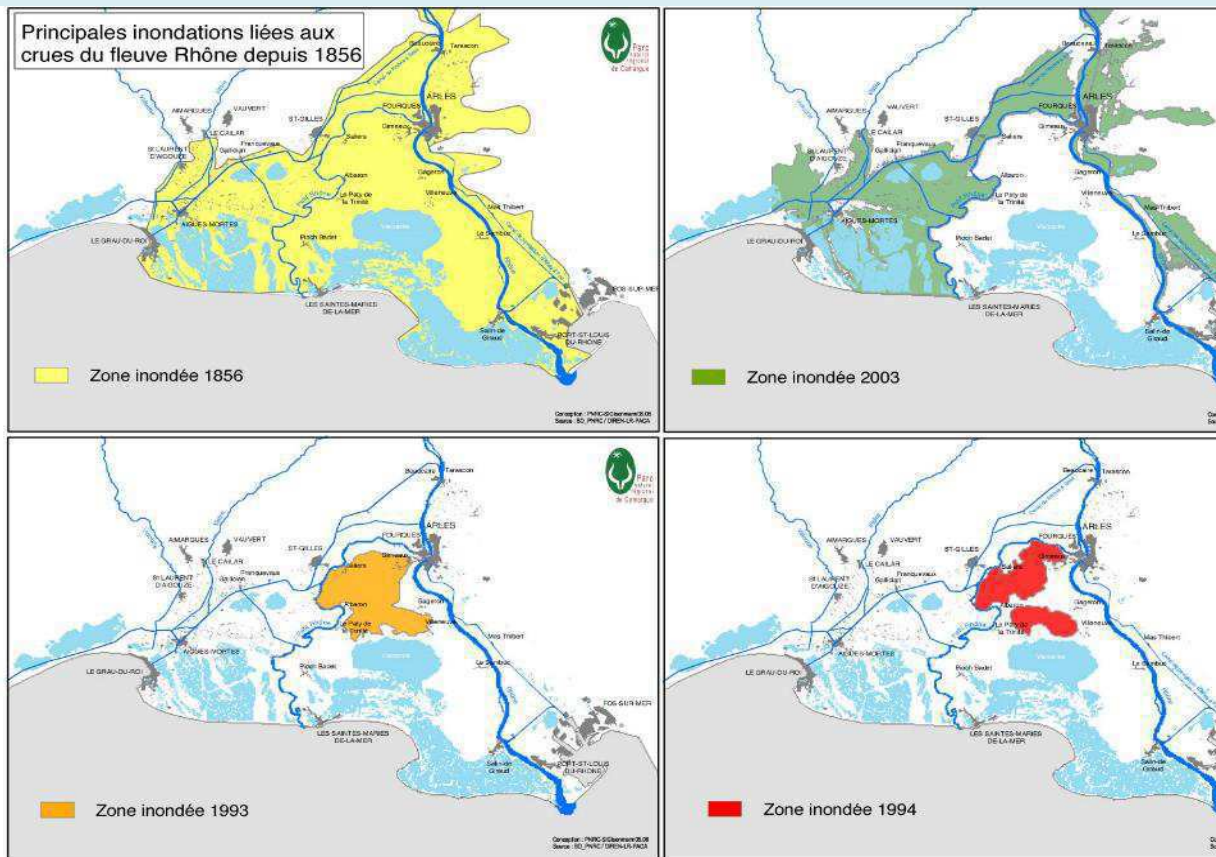
Crue centennale (type 2003) : 11 500 m³/s

Crue 250 ans (type 1856) : 12500 m³/s

Crue exceptionnelle : 14 160 m³/s



Figure 56 : Cartes des principales inondations liées aux crues du fleuve Rhône

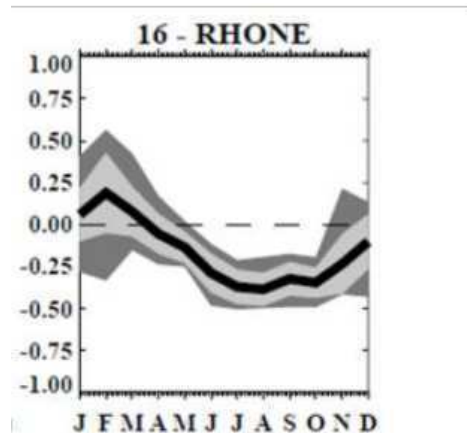


Source : PNRC

- Crue généralisée de 1840, débit estimé : 13 000 m³/s à Tarascon ;
- Crue de Mai - juin 1856, débit estimé : 12 500 m³/s à Tarascon ;
- Crues de l'hiver 1993-94, débits estimés : 9 500 m³/s à Tarascon en octobre, 10 500 m³/s à Tarascon en janvier ;
- Inondation de décembre 2003, débit estimé 13 000 m³/s à Tarascon.

L'ensemble des projections climatiques du Pays d'Arles vont dans le sens d'une élévation des très fortes pluies en hiver mais surtout en automne. La thèse de Boé (2007) a porté sur les méthodes de régionalisation des projections climatiques sur la France, incluant une modélisation des impacts sur le cycle hydrologique des grands fleuves. Ses travaux envisagent un recul très marqué du glacier du Rhône, ce qui est conforme à l'ensemble des prévisions concernant les glaciers alpins. **Cela se traduirait par une accentuation de la variabilité saisonnière de la ressource Rhône, dont le débit baisserait entre 25 et 50% de juillet à octobre sur l'ensemble du fleuve. Il augmenterait ou resterait stable en hiver. Les incertitudes demeurent élevées particulièrement pour la période hivernale ou sur les débuts de crue, comme en témoignent les graphiques ci-dessous (Boé, 2007).**





Echelle de -1 à +1 (pour 100%)

Extraits du Bilan des connaissances sur les Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse – Bilan des connaissances, Septembre 2012

Figure 57 : Evolution du débit du Rhône à Beaucaire à l'horizon 2046-2065 par rapport à la période de référence 1970-1999

Des travaux du Plan Bleu (Milano, 2010 in AERMC, 2012) ont porté sur l'évaluation de l'impact des débits de quatre grands fleuves méditerranéens, dont le Rhône, aux horizons 2050 et 2100. Selon ces travaux, les débits ne devraient pas être affectés en hiver. Sachant que la connaissance de l'hydrologie du Rhône est perfectible (communication E.Mallet), les résultats ci-dessus sont les plus récents à cette échelle, mais nécessiteront encore des mises à jour.

Si les données disponibles à ce jour convergent vers un signal à la stabilité voire à l'augmentation des débits, il n'est pas possible de conclure sur une augmentation possible du risque de crue à l'automne et en hiver. Ces signaux appellent toutefois à la plus grande vigilance d'autant plus que les projections climatiques annoncent des tendances à l'augmentation des pluies les plus intenses. La mission d'expertise par le CGEDD de schéma de protection entre Tarascon et Arles a conclu qu'aucune étude sur les crues du Rhône n'avait aujourd'hui été réalisée.

- **Impacts sur l'hydrologie de la Durance**

La Durance connaît également des épisodes de crue. Son régime est à la fois alpin (eau forte au printemps lors de la fonte des neiges) et méditerranéen (pluies intenses en automne provoquant des crues violentes en automne). Le régime des crues de la Durance en aval de Serre-Ponçon a été fortement modifié par les aménagements hydroélectriques, les crues de faible et de moyenne amplitude étant absorbées ou écrêtées par les ouvrages. En revanche, les aménagements ne modifient pas le risque des grandes crues ni en intensité ni en occurrence. Ceci est principalement dû au fait que les grandes crues de la Basse Durance se forment surtout en Moyenne Durance et le bassin à l'Amont de Serre-Ponçon ne contribue que peu (SMVAD).

Les débits des crues de référence pour la Basse-Durance

Crue centennale : 5000 m³/s en Basse-Durance

Crue exceptionnelle : 6500 m³/s en Basse-Durance



Si la vulnérabilité des territoires est limitée en cas de crue faible ou moyenne, les grandes crues peuvent provoquer des dégâts considérables comme ce fut le cas en janvier 1994, mai 2008 ou Novembre 2011.

Crue majeure en basse vallée du Rhône et sur la Durance, inondations en Camargue (6 et 7 janvier 1994)

Trois mois après le débordement spectaculaire du Rhône en Camargue, le fleuve connaît à nouveau une crue exceptionnelle dans sa partie aval. Des inondations se produisent à nouveau en Camargue. La Durance enregistre également un fort débit. Cet événement a provoqué plus de 10 victimes. L'épisode de fortes pluies de janvier 1994 est atypique car il touche principalement l'est du Rhône et qu'il se produit hors de la traditionnelle période automnale. Une partie des bassins versants de la Durance, en aval de Serre-Ponçon, du Verdon, ainsi que du Rhône (en Ardèche et Drôme) reçoivent en 36 heures 150 à 250 mm, jusqu'à 300 mm sur le plateau d'Albion et la montagne de Lure. Le 8 janvier le Rhône enregistre un débit de pointe de 11 000 m³/s à Beaucaire (Source CNR). Pour la deuxième fois en trois mois, la violence des eaux rompt des digues: des milliers d'hectares sont inondés principalement en Camargue.

Source : Météo-France, Site Pluies Extrêmes.

Par ailleurs, les éléments partagés par l'ensemble des modèles étudiés dans le projet R2D2 (voir partie « ressources en eau ») montrent une diminution des débits estivaux pour les bassins en amont de Mallemort (communication E.Sauquet). Cela rejoint les conclusions des travaux de Boé (2007) et Boé et al. (2009) qui montrent que la Durance pourrait voir son débit baisser entre mai et octobre. En revanche, les modélisations réalisées dans le cadre de R2D2 ne donnent pas de signal robuste sur l'évolution des débits en période hivernale (communication E.Sauquet). Les résultats de Boé (augmentation des débits hivernaux de + 5° à + 75% selon les modèles) montrent la même incertitude.

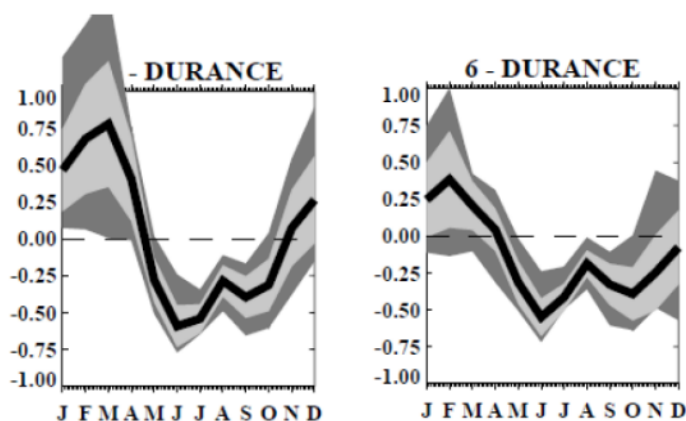


Figure 58 : Evolution du débit de la Durance en amont (gauche) et aval (droite) à l'horizon 2046-2065 par rapport à la période de référence 1970-1999

Source : Boé, 2007, in « Bilan des connaissances sur les Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, AERMC 2012

Si des signaux convergent vers une **baisse des débits de printemps et une hausse des débits d'hiver (signal plus incertain)**, l'état actuel des connaissances ne nous permet pas de conclure de façon certaine sur l'évolution du régime de crue en basse-Durance.



Impacts sur les pluies torrentielles et les inondations par ruissellement

Au-delà des inondations, les pluies torrentielles locales constituent également un risque important pour les biens et les personnes. Certains **orages typiques des régions méditerranéennes** (parfois appelés « épisodes cévenols ») peuvent apporter des quantités d'eau représentant la moitié ou plus de la moyenne annuelle en seulement quelques heures. A titre de référence, 200 mm d'eau frappant une surface de 100 km² correspondent à 20 millions de m³ d'eau déversée. Les variations de température, lorsque les vents de sud chargés d'humidité se trouvent au contact des versants sud des massifs montagneux (Cévennes, Alpes, Pyrénées), provoquent ces violents orages chargés de fortes quantités d'eau. Lorsque ces précipitations tombent sur le bassin versant des Alpilles, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans les Gaudres du massif, qui traversent ensuite les villages en piémont. Ces événements peuvent avoir des conséquences très rapides et de forte ampleur comme des ravinements et des coulées de boue ou des quantités d'eau importantes sur les voies de circulation. Ce risque impacte tout particulièrement la circulation routière. Certaines communes, comme Saint Rémy de Provence, ont subi des dégâts importants à la suite d'épisodes pluvieux exceptionnels, comme les 7 et 8 septembre 2010 : dégâts sur les chemins et routes, bâtiments publics et écoles endommagées etc.

8 et 9 septembre 2002	Barbentane	245 mm en 2 jours
Décembre 2003	Barbentane Marseille	135 mm 200 mm, 2 victimes à Marseille

Figure 59 : Quelques événements météorologiques exceptionnels sur Barbentane

Source : Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

En dépit de son importance, le risque d'inondation par ruissellement pluvial reste peu étudié sur le territoire du Pays d'Arles.

Le développement de l'urbanisation des communes a entraîné une imperméabilisation croissante du territoire. Cela se traduit par un accroissement et une accélération des ruissellements urbains et périurbains vers les cours d'eau, les systèmes d'assainissement et les ouvrages d'irrigation dont la vocation a ainsi insidieusement évolué ces dernières décennies. Parallèlement, la rénovation des canaux est freinée par un manque de moyens croissant. La sollicitation plus forte d'ouvrages fragilisés induit ainsi des risques de rupture et de débordement, qui concernent aujourd'hui tant les secteurs agricoles que les secteurs urbanisés.

Les débordements des canaux peuvent donc être liés à des épisodes de précipitations intenses, aux ruissellements, aux épisodes de crue ou à des épisodes généralisés qui peuvent entraîner des débordements ou des saturations totales des réseaux. Leur montée est souvent lente mais peuvent donc aggraver les inondations en cas de débordement.

Au regard des événements pluvieux exceptionnels relevés au cours des dernières décennies et des dégâts occasionnés, la prise en compte des ruissellements urbains et périurbains sur le territoire apparaît comme indispensable.

Les tendances relatives affichées par les modèles sont à la **hausse des pluies extrêmes à partir de 2050 mais surtout à l'horizon 2080**. La tendance serait de +1 jour (0,3-1,4 jours)



soit presque 50% de plus. Les tendances sont aussi légèrement à la hausse pour le printemps avec toutefois une occurrence qui reste plus faible.

L'ensemble des modèles envisage une élévation des épisodes de très fortes pluies en hiver à tous les horizons. Le signal est néanmoins un peu moins robuste que pour l'automne.

On peut donc estimer que le risque d'occurrence de pluies de très forte intensité augmenterait en fin de siècle, notamment à l'automne. Toutefois, compte tenu de la complexité du phénomène des pluies intenses, il convient de rester prudent quant aux résultats car la prise en compte des épisodes convectifs dans les modèles globaux doit encore être améliorée.

Il est donc possible de conclure que le risque d'inondation par ruissellement risque d'augmenter avec le changement climatique. Il s'aggravera aussi par le facteur anthropique en l'absence d'action : imperméabilisation croissante des sols empêchant l'infiltration des eaux, disparition des zones naturelles, insuffisance des réseaux d'évacuation des eaux usées etc. Le changement climatique pourrait être un facteur aggravant d'une situation déjà alarmante.

Les submersions marines sont susceptibles d'amplifier les inondations

Selon les travaux de Ullmann et Sabatier (2007), si la fréquence et l'intensité des surcotes marines devraient rester stables dans le siècle à venir, en revanche, la montée du niveau de la mer, en élevant la hauteur du plan d'eau élèvera aussi le niveau d'attaque des vagues sur les digues et les dunes. Des niveaux marins extrêmes (seuil d'érosion actuel de 40cm nGF), se produisant pendant 1% des jours par hiver pourraient atteindre en 2100 entre 20 à 80% de jour selon les seuils de projection choisis (se référer à la sous-partie submersions marines pour plus de détails). Par conséquent l'impact des surcotes pourrait accroître la vulnérabilité du littoral aux phénomènes de submersions marines. De même, niveau de la mer et surcotes marines pourraient bloquer de façon plus récurrente l'évacuation des eaux en période de crue du Rhône. La coïncidence entre les deux phénomènes, bien que souvent mise en évidence, demeurent peu étudiée de façon corrélée sous une perspective de changement climatique.

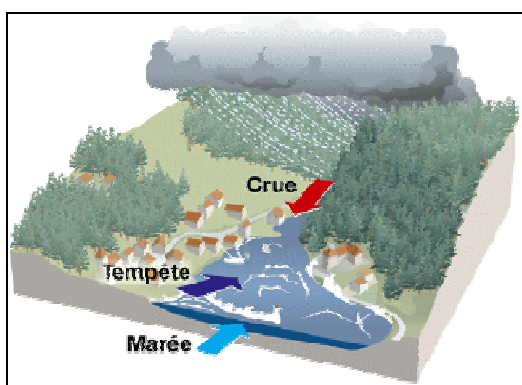


Figure 60 : Effet de la conjonction d'une crue et d'une surcote due à une tempête

Source : ORSEC PACA, 2009



Capacité d'adaptation

Le risque de crues

Le territoire du Pays d'Arles est concerné par plusieurs outils et démarches de connaissance ou de gestion du risque inondation :

- Dispositifs communaux permettant d'intervenir au plus vite en cas de crue : Plans Communaux de Sauvegarde (PCS), gestion des crues en temps réel à Tarascon labellisée Living Labs au niveau européen ... ;
- Actions d'information et de sensibilisation de la population : Documents d'Information Communaux sur les Risques Majeurs (DICRIM), Centre Permanent d'Initiative pour l'environnement (CPIE) du Pays d'Arles ... ;
- Le Plan Rhône et sa traduction territoriale, le schéma de gestion des inondations de Rhône aval ;
- Le Contrat de Rivière du Val de Durance ;
- Quatre PPRI anticipés concernant des communes situées en bordure du Rhône : Arles, Boulbon, Tarascon et Saint-Pierre-de-Mézoargues ;
- Sept PPRI concernant des communes situées en bordure de la Durance : Barbentane, Cabannes, Châteaurenard, Graveson, Noves, Orgon, Plan d'Orgon, Rognonas, Saint-Andiol ;
- Les Atlas des Zones inondables (AZI) ;
- SDAGE Rhône-Méditerranée ;
- Doctrine Rhône ;
- Directive inondation.

Le Plan Rhône et l'action du SYMADREM : La crue de décembre 2003, la plus importante depuis celle de mai 1856, a révélé la nécessité d'une réflexion globale du lac Léman à la mer. Elle s'est traduite par la nomination d'un préfet coordonnateur de bassin en janvier 2004 et l'appel du Grand Delta par les présidents des régions Languedoc-Roussillon, Provence - Alpes - Côte d'Azur et Rhône-Alpes en mars 2004. La mobilisation de l'État et des régions a abouti en mars 2007 à la signature du Contrat de projets interrégional Plan Rhône 2007-2013 avec une priorité sur le Rhône aval : la protection contre les inondations. 3 volets composent le Plan Rhône :

- Agir sur l'aléa : préserver et optimiser les ZEC, coordonner les efforts sur les affluents, gérer les sédiments ;
- Réduire la vulnérabilité des territoires : Maîtriser l'urbanisation, Réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles, Réduire la vulnérabilité des réseaux, Réduire la vulnérabilité des bâtiments publics, Réduire la vulnérabilité des entreprises, Réduire la vulnérabilité de l'habitat ;
- Savoir mieux vivre avec le risque : Développer la connaissance sur le fleuve, Développer la culture du risque, Développer l'information préventive, Anticiper pour mieux gérer la crise.



À partir de ces objectifs, le SYMADREM a établi un **programme de sécurisation des ouvrages de protection les crues du Rhône depuis le barrage de Vallabrègues jusqu'à la mer (Volet 1 du plan)**. Ce dernier définit, l'ensemble des travaux à mettre en œuvre jusqu'en 2019, pour améliorer sensiblement la protection des biens et des personnes contre les inondations du Rhône et réduire la vulnérabilité du territoire face à ces phénomènes. Le projet de création d'une digue entre Tarascon et Arles et de mise en transparence hydraulique du remblai ferroviaire est l'action majeure du Plan Rhône en aval de Beaucaire/Tarascon. Est présenté ci-dessous l'ensemble des travaux programmés sur le territoire. Les scénarios hydrauliques pris en compte tiennent compte des données existantes à ce jour sur le régime des crues et les hypothèses à venir d'élévation du niveau de la mer (+40cm) –Voir encadré ci-après.

Les objectifs de sécurisation devraient ainsi permettre de :

- contenir sans déversement une crue de type centennale ;
- résister à la rupture jusqu'à la crue millénale ;
- assurer un ressuyage rapide des terres pour les crues supérieures à la centennale.



Figure 61 : Programme de sécurisation des ouvrages, scénarios hydrauliques et prise en compte du changement climatique

Les travaux de sécurisation et les mesures associées

Objectif des travaux :

- L'objectif des travaux est de construire des ouvrages capables de contenir sans déversement une crue équivalente à celle de décembre 2003 (crue centennale) sans brèche dans le système.
- > résister à la rupture jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône (crue de projet des ouvrages concédés à la CNR en amont de Beaucaire/Tarascon, d'une fréquence millénaire),
 - assurer, pour les crues supérieures à celle de décembre 2003, un ressuyage rapide des terres en respectant le principe de solidarité amont/aval.

Le projet comprend :

- des travaux de création d'une digue à l'Ouest de la voie ferrée Tarascon Arles,
- des travaux de mise en transparence hydraulique du remblai ferroviaire,
- les mesures d'annulation et réduction d'impacts hydrauliques et environnementaux,
- des mesures d'accompagnement (ressuyage et sécurisation des digues du Vigueirat).

Les travaux de création d'une digue de 1^{er} rang à l'Ouest de la voie ferrée Tarascon Arles consistent en l'aménagement :

- d'un tronçon de digue résistant à la surverse d'une longueur développée de 5 km :
 - calé en altitude pour éviter tous débordements jusqu'à une crue équivalente à celle de décembre 2003 sans brèche dans le système,
 - et renforcé pour les crues supérieures pour assurer à un déversement sans rupture d'ouvrage jusqu'à la crue exceptionnelle du Rhône,
- de tronçons de digue dite « millénaire », en amont et en aval du tronçon résistant à la surverse, calés en altitude 50 cm au-dessus du niveau d'eau atteint par la crue exceptionnelle du Rhône,
- en pied aval du tronçon de digue résistant à la surverse, d'un bassin dit « bassin de dissipation de la digue », destiné à dissiper l'énergie de l'eau occasionnée par le déversement,
- de pistes d'exploitation en crête et en pieds de digue.

Les travaux de transparence hydraulique du remblai ferroviaire consistent en la réalisation de :

- 10 ouvrages hydrauliques traversants, espacés d'environ 500 mètres au droit du tronçon de digue résistant à la surverse et dimensionnés de façon à évacuer, le débit de déversement de la crue exceptionnelle du Rhône, réparti de façon homogène de l'amont vers l'aval,
- les ouvrages d'entonnement des eaux, issues des déversements, dans l'espace inter-remblais compris entre l'aval du bassin de dissipation de la digue et le remblai ferroviaire,
- les ouvrages connexes aux aménagements précités.

Les mesures d'annulation et réduction d'impacts hydrauliques et environnementaux liés à la création de la digue de 1^{er} rang, consistent en :

- le rehaussement du déversoir de Boulbon de 40 cm,
- le rehaussement du déversoir de Comps de 30 cm,
- le rehaussement de la digue d'Aramon de 10 cm,
- le rehaussement de la digue des marguilliers de 13,0 NGF à 14,5 NGF avec une création d'un déversoir de sécurité à 14,0 NGF,
- la création d'une île en rive gauche comprenant la renaturation écologique du site,
- la suppression de l'atterrissement au droit de l'usine Fibre Excellence (ex-Tembec) comprenant le traitement écologique de la berge,
- la création d'une haie d'arbres le long de la digue côté Rhône,
- le traitement de l'espace inter-remblais.

Les mesures d'accompagnement au projet

Mesures de gestion et ressuyage des eaux déversées en rive gauche du Rhône :

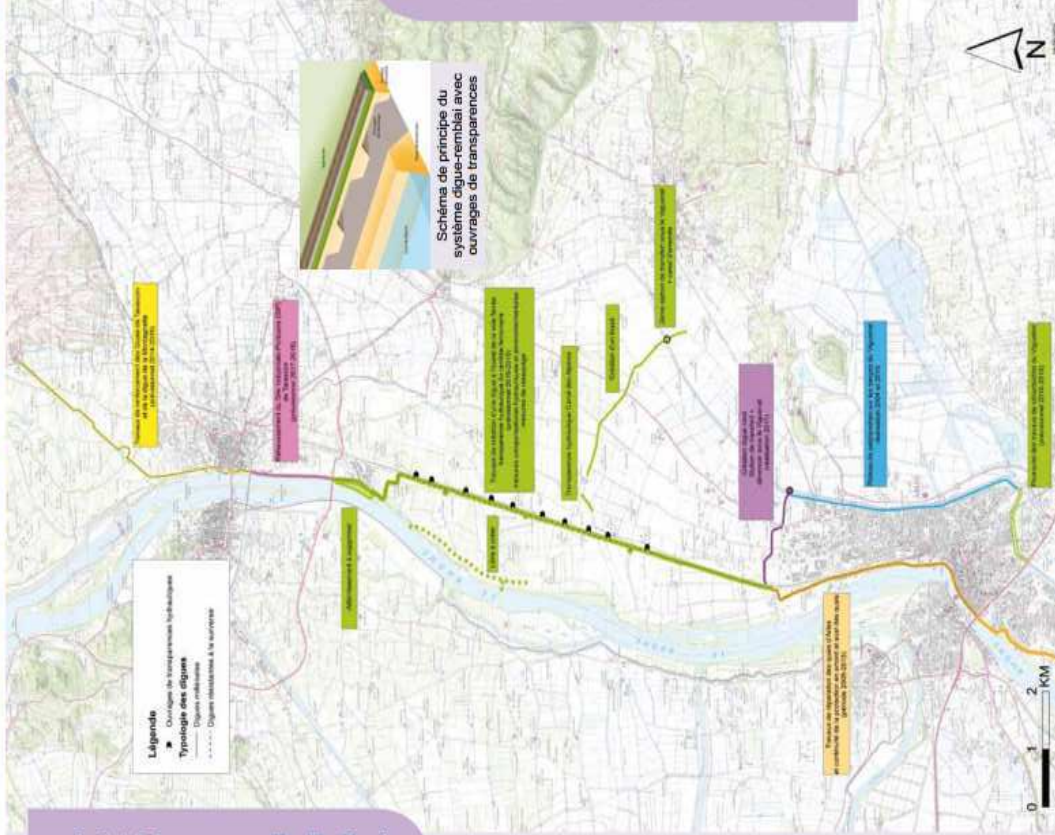
- transparence hydraulique du canal des alpines par mise en siphon de ce dernier sur une longueur de 300 mètres,
- création d'un fossé Ouest/Est raccordé au contre canal du Vigueirat pour favoriser les transferts d'eau vers l'Est,
- création d'un siphon de transfert sous le Vigueirat au droit de Fort d'Herval et réalisation d'un canal d'amenée au canal de la vidange.

Mesures complémentaires de sécurisation en vue de la qualification du système de protection comme « résilient » à la crue de référence du système :

- sécurisation des digues du Vigueirat et calage à la cote atteinte dans le Vigueirat pour la crue millénaire du Rhône sans brèche dans les digues du Rhône et sans brèche sur les digues du Vigueirat assortie d'une revanche de 20 cm sur les tronçons suivants :
 - rive droite du Vigueirat de la digue Nord jusqu'à la RN113,
 - rive gauche du Vigueirat de la RD453 jusqu'à la RN113,
- remodelage des berges du tronç commun pour éviter tout débordement pour la crue de référence.

Calendrier prévisionnel :

- > Etudes de maîtrise d'œuvre : 2013/2014
- > Instruction réglementaire : 2014/2015
- > Réalisation des travaux : 2016/2018



→ 10.2. IMPACT HYDRAULIQUE : SCÉNARIOS DE CRUES ÉTUDIÉS

Pour les études d'impact hydraulique, 4 scénarios de crues sont pris en compte. La crue 10500 correspond à la crue occasionnant les premiers déversements sur les digues. Elle correspond également au débit enregistré à la station de Beaucaire/Tarascon lors de la crue de décembre 2003, quand la première brèche a été occasionnée dans le système. Dans le cadre de l'impact global du programme de sécurisation, un 5^{ème} scénario a été ajouté à la demande de l'état, il correspond à la crue 9500.

CRUES	DÉBIT DE POINTE BEUCAIRE/ TARASCON	PÉRIODE DE RETOUR T (EN ANNÉES) SUIVANT EGR [1]	NIVEAU MARIN CONSIDÉRÉ (NGF)
Crue 9500 (crue de nov. 2002 avec pointe translatée)	9 500 m ³ /s	T ≈ 25/30 ans	Marégramme nov. 2002 (Max 0,95 NGF)
Crue 10500 (crue de janv. 1994 avec pointe translatée)	10 500 m ³ /s	T ≈ 50 ans	Marégramme janv. 1994 (Max 0,81 NGF)
Crue type déc. 2003 sans brèche	11 500 m ³ /s ± 5 %	T ≈ 100 ans	Marégramme déc. 2003 (Max 0,98 NGF)
Crue type mai 1856 dans les conditions actuelles d'écoulement et sans brèche	12 500 m ³ /s	T ≈ 250 ans	Marégramme déc. 2003 translaté à 1,3 NGF, et concomitant avec pointe de crue
Crue exceptionnelle (crue utilisée pour le dimensionnement des ouvrages CNR et retenue pour le dimensionnement des ouvrages du programme)	14 160 m ³ /s	T ≈ 1000 ans	Marégramme constant à 1,5 NGF

Scénarios de crues étudiés

Les hypothèses concernant l'aléa marin relatif à ces crues ont été établies à partir de données du CEREGE. Dans sa thèse [ULMANN 2007] du CEREGE a estimé les périodes de retour des surcotes marines pour différentes stations du Golfe de Lyon. Elles sont les suivantes :

STATION	SURCOTES (CM NGF) DURANT UNE PÉRIODE D'OCTOBRE À MARS POUR UN TEMPS DE RETOUR DE :			
	5 ANS	10 ANS	50 ANS	100 ANS
Port-Vendres	75	81	95	100
Sète	98	102	119	126
Grau-de-la-Dent	80	86	100	106

Surcote marine et période de retour associée

En sus de ces surcotes marines, la dérive tendancielle de montées des eaux a été prise en compte avec une dérive à moyen/long terme probable d'ici à 2050 comprise d'après le CEREGE, entre 20 cm (cas de figure moyen) et 40 cm (cas de figure extrême).

En décembre 2003, les niveaux marins enregistrés aux stations du Grau-de-la-Dent (proche de l'embouchure du Grand Rhône) et du pertuis de la Fourcade (proche de l'embouchure du Petit Rhône) au moment de la pointe étaient identiques.

Source : SYMADREM, Programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône du Vallabrègues à la mer.

ADAPTABILITÉ DES OUVRAGES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Compte tenu de la durée de vie des ouvrages à construire, qui est de 100 ans et du changement climatique, une modification des cas de charges retenus dans le dimensionnement des ouvrages, ne peut être écartée sur la durée de vie des ouvrages. Les changements possibles concernent :

- L'hydrologie du Rhône (conditions aux limites amont),
- Le niveau marin (conditions aux limites aval).

En ce qui concerne le niveau marin, des études locales ont été faites par le CEREGE. La construction du scénario de crue exceptionnelle, ayant servi de base à la détermination de la cote de sûreté, a tenu compte d'une montée des eaux de 40 cm (tendance extrême), d'ici à 2050.

Pour appréhender l'impact sur les ouvrages, qu'aurait une modification de l'hydrologie du Rhône, il convient de bien comprendre le fonctionnement du système projeté. Deux types d'ouvrages composent le système de protection (de 1^{er} rang) :

- Des digues résistantes à la surverse calées à la cote de protection,
- Des digues dites millénales calées à la cote de danger correspondant à la cote de sûreté assortie d'une revanche de 50 cm.

La cote de protection et les longueurs des tronçons de digues résistantes à la surverse ont été dimensionnés au regard de l'état initial défini par les services de police de l'eau et de la nécessité d'avoir aucun impact hydraulique notable en amont ou en aval. Ce dimensionnement est donc indépendant de l'hydrologie du Rhône et a été défini en fonction de contraintes réglementaires. Une modification éventuelle de l'hydrologie du Rhône n'aurait, en conséquence, aucun impact sur les objectifs de protection, si ce n'est l'occurrence des crues atteignant les cotes de protection.

La cote de sûreté a été calée en fonction de la crue exceptionnelle du Rhône, dont la période de retour est estimée à 1000 ans. Elle est donc directement dépendante de l'hydrologie du Rhône. Toute évolution hydrologique amènerait soit, à constater que les objectifs de sécurité du programme ont baissé, soit à décider de recalculer les digues millénales.

Le SYMADREM a quantifié très sommairement et de façon très théorique, le recalage altimétrique des digues millénales, qui serait à effectuer en cas de réévaluation du débit de la crue millénaire à la station de Beaucaire/Tarascon. Une sur-largeur en crête de digue de 1,0 mètre a été retenue, de façon à permettre, en cas d'une réévaluation sensible de l'hydrologie du Rhône (+2000 m³/s sur la crue millénaire, soit 15 %), une mise à la cote des ouvrages sans incidence importante sur les ouvrages et leur fonctionnalité. Pour les digues du Petit Rhône en aval des digues résistantes à la surverse, cet élargissement de la largeur en crête n'est pas considéré comme nécessaire.

Source : SYMADREM, Programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Rhône du Vallabrègues à la mer.

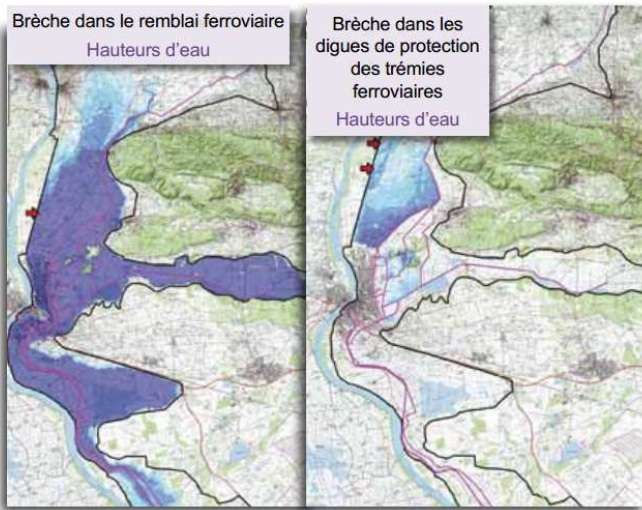
Les travaux de sécurisation devraient donc permettre de diminuer sensiblement la vulnérabilité à l'aléa crue au regard des simulations des crues exposées ci-dessous (Types 2003 et 1856).

Figure 62 : Impact de la sécurisation des ouvrages sur l'impact des crues

Simulation d'une crue type décembre 2003 (période de retour = 100 ans)

Simulation de l'état actuel (risque de brèche très fort)

Simulation de l'état aménagée (risque de brèche très faible)



Volume probable de déversement : entre 15 millions de m³ (rupture trémies) et 500 millions de m³ (rupture remblai). Hauteur d'eau entre 1 et 4 mètres.

Population impactée : entre 300 et 50 000 personnes.

Dommages estimés :

- habitat : entre 17 et 930 millions d'euros
- agriculture : entre 15 et 120 millions d'euros
- entreprises : entre 5 et 115 millions d'euros.

(Pour mémoire en décembre 2003 : 330 millions d'euros de dommages et 8 000 personnes sinistrées)



Absence de déversement du Rhône. La plaine du Trébon et les centres urbains sont hors d'eau.

Les 13 communes et les 50 000 personnes de la plaine sont protégées.

Dommages estimés : 0 million d'euros.

Simulation d'une crue type mai 1856 (période de retour = 250 ans)

Simulation de l'état actuel (risque de brèche très fort)

Simulation de l'état aménagée (risque de brèche très faible)



Volume probable de déversement : entre 500 millions de m³ et 1 milliard de m³. Hauteur d'eau entre 2 et 4 mètres, voire plus localement.

Population impactée : environ 50 000 personnes.

Dommages estimés :

- habitat : entre 950 et 1440 millions d'euros
- agriculture : entre 130 et 170 millions d'euros
- entreprises : entre 120 et 140 millions d'euros



Volume de déversement : entre 20 et 25 millions de m³. Hauteur d'eau entre 0 et 1,5 mètre. Centres urbains de Tarascon et Arles hors d'eau. Zone de Fourchon hors d'eau.

Population impactée : environ 300 personnes

Dommages estimés :

- habitat : 20 millions d'euros
- agriculture : 35 millions d'euros
- entreprises : 5 millions d'euros.

Source : SYMADREM.

Le Contrat de Rivière du Val de Durance et l'action du Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD) : les acteurs de la Durance se sont unis à l'initiative du SMAVD, pour engager une démarche de gestion globale concertée prenant en compte les usages et les aménagements existants au niveau de la Durance. La concrétisation de cette politique s'est faite au travers du Contrat de Rivière du Val de Durance qui s'étend du barrage de Serre-Ponçon jusqu'au Rhône. Cette démarche réunit l'État, la Région PACA, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée, les quatre départements des Alpes-de-Haute-Provence, des Hautes Alpes, des Bouches-du-Rhône et de Vaucluse, EDF, ainsi que le SMAVD et à travers lui les 78 communes riveraines de la Durance. Cette démarche associe également l'ensemble des acteurs et usagers de la rivière. Le Contrat de Rivière a pour objectif de développer un mode de gestion équilibré de la rivière à l'échelle de son périmètre et du bassin versant.

Le volet « Inondation » du Contrat de Rivière, signé le 20 novembre 2008 (48M€ sur 7 ans), prévoit la mise en place d'un programme d'intervention visant à « *assurer la sécurité du dispositif de protection contre les inondations en cohérence avec l'occupation de la plaine* ». Cela passe, d'une part, par la fiabilisation des ouvrages de protection et, d'autre part, par la sensibilisation auprès des élus communaux et des riverains et l'implication dans des démarches de type PPRI. Le SMAVD assure pour le compte de ses communes adhérentes la maîtrise d'ouvrage et (assez souvent) la maîtrise d'œuvre des travaux de restructuration et de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues de la Durance.

En ce qui concerne la réduction de la vulnérabilité des territoires, les Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI) sont les seuls outils réglementaires qui permettent d'intégrer précisément les contraintes d'inondabilité aux documents d'urbanisme locaux.

PPRI et urbanisme

Cet outil peut être à la fois une opportunité mais représenter une contrainte pour l'accueil de population et des activités économiques et va à l'encontre des enjeux de court terme. Il peut néanmoins encourager le développement de nouvelles opportunités en matière de densification des centres qui représente aussi une opportunité. C'est l'occasion de repenser le territoire urbain de demain à la fois mieux protégé et prémuni des risques.

En ce qui concerne le Rhône, le PPRI d'Arles prescrit en 2000 et les PPRI de Boulbon, Tarascon et Saint Pierre de Mézoargues prescrits en 2008 sont toujours en cours d'élaboration.

Ainsi, conformément à l'article L. 562-2 et R. 562-6, II du code de l'environnement, et compte tenu de l'urgence, l'application des règlements de ces PPRI a été anticipée. Cette anticipation, approuvée le 22 février 2012, vise à traduire le plus rapidement possible les deux impératifs de non augmentation des **enjeux exposés et de préservation des champs d'expansion des crues par l'interdiction de créer de nouvelles zones urbanisées en secteur inondable.**

Cette application anticipée, est limitée aux interdictions et prescriptions concernant les constructions, ouvrages, aménagements ou exploitation nouveaux et ne peut concerner les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde et les autres mesures applicables aux biens et activités existantes qui seront traitées dans le cadre des PPRI inondation à venir.

En ce qui concerne la Durance, le Préfet des Bouches-du-Rhône et le Préfet de Vaucluse ont abrogé par arrêté interdépartemental du 6 décembre 2011 l'arrêté du 21 janvier 2002, qui prescrivait l'établissement d'un PPRI intercommunal. Ils ont simultanément prescrit



l'élaboration de 32 PPRI à l'échelle des communes concernées ; à savoir pour le territoire du SCoT : Barbentane, Cabannes, Châteaurenard, Graveson, Noves, Orgon, Plan d'Orgon, Rognonas, Saint-Andiol.

La Doctrine Rhône : La stratégie globale de prévention des inondations du Rhône, qui constitue aujourd'hui le volet « Inondations » du Plan a permis l'émergence d'une doctrine commune pour élaborer les Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI) du Rhône et de ses affluents à crue lente. L'objectif de cette doctrine, qui n'a pas de caractère opposable, est de concilier la prévention des inondations et les enjeux de développement par la mise en œuvre d'une politique d'aménagement, qui intègre dès l'amont le risque inondation et vise à développer l'urbanisation en priorité en dehors des zones inondables.

Cette doctrine, approuvée, en juin 2006, développe notamment la notion d'« espaces stratégiques en mutation », situés en limite de centres urbains importants et porteurs d'équipements publics existants et structurants à l'échelle d'un bassin de vie. Leur aménagement ne pourra être accepté que moyennant des conditions préalables cumulatives et des prescriptions très strictes prenant en compte le risque d'inondation (hors aléa fort) et répondant à l'organisation d'une urbanisation qui intègre une réduction globale de la vulnérabilité de la zone (sur les équipements existants et futurs). **La Zone du Radoubs**, située sur la commune de Tarascon, figure parmi les sept espaces stratégiques en mutation retenus par la doctrine.

La mise en œuvre de la Directive Inondation : La Directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007, dite « Directive Inondation » (transposée en droit français par l'article 221 de la Loi d'Engagement National pour l'Environnement du 12 juillet 2010 et le décret n° 2011-227 du 2 mars 2011), a pour principal objectif d'établir un cadre pour l'évaluation et la gestion globale des risques d'inondations, qui vise à réduire les conséquences négatives pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées aux différents types d'inondations dans la Communauté.

La transposition française prévoit une mise en œuvre à trois niveaux :

- National : le Ministre en charge l'Ecologie définit une Stratégie Nationale de Gestion des Risques d'Inondations (SNGRI) qui doit qualifier les critères de caractérisation de l'importance du risque d'inondations sur les base des évaluations préliminaires élaborées dans chaque district hydrographiques français.
- District hydrographique, ici le bassin Rhône-Méditerranée : le Préfet Coordonnateur de Bassin élabore une Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondations (EPRI) sur le district puis sélectionne des Territoires à Risques d'Inondations importants (TRI) sur la base de l'EPRI et des critères nationaux définis dans le cadre de la SNGRI
- **Territoire à Risques d'Inondations importants (TRI)** : des objectifs de réduction des conséquences négatives des inondations sont fixés, et des stratégies locales de gestion du risque pour les atteindre sont mises en place par les collectivités territoriales.

Le territoire du Pays d'Arles est concerné par deux TRI : « Delta du Rhône » et « Avignon - Plaine du Tricastin - Basse Vallée de la Durance ».

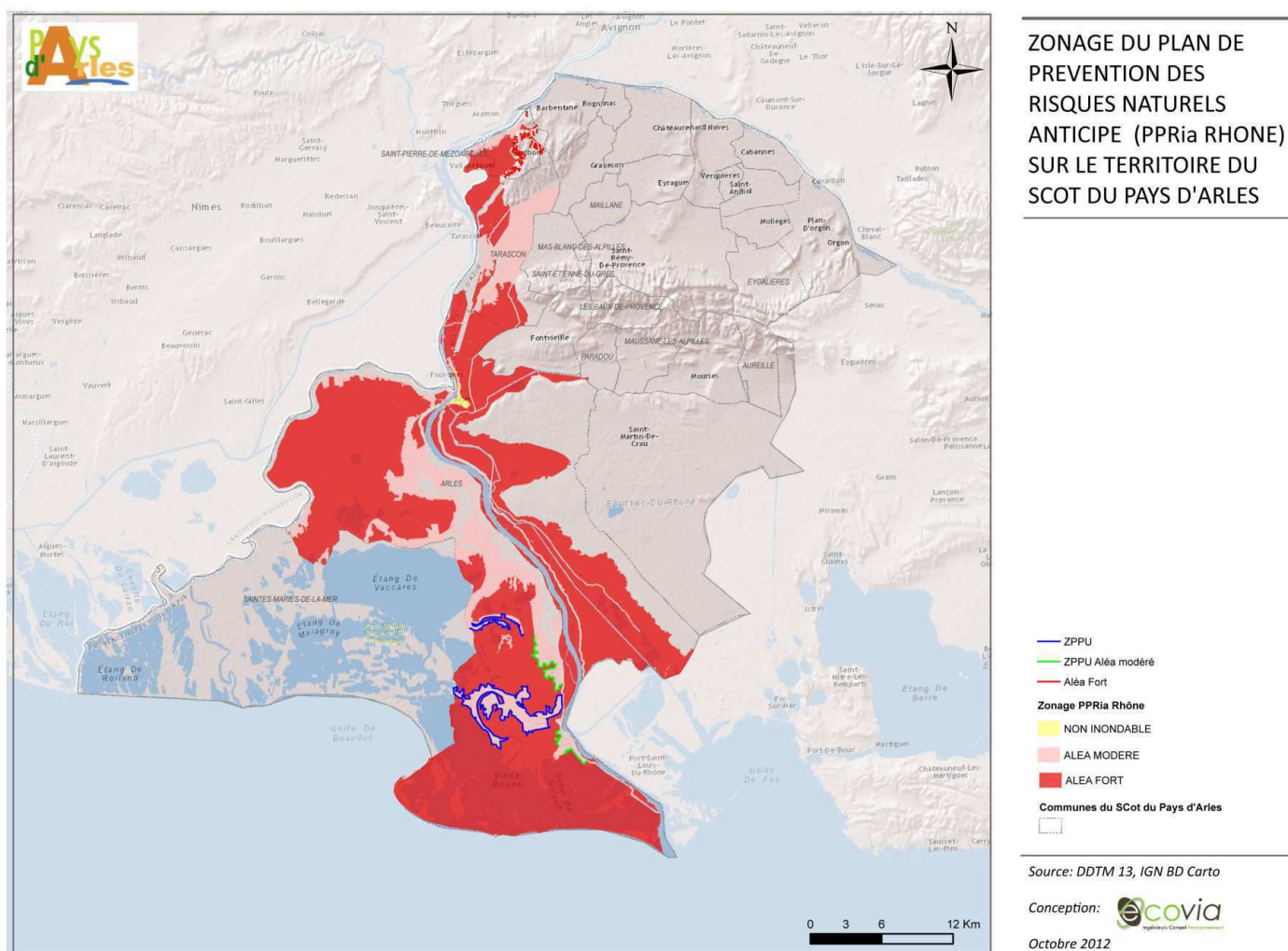


Figure 63 : Zonage du PPRiA Rhône sur le territoire du SCOT Pays d'Arles

Si les ouvrages de protection ont la caractéristique d'être efficaces jusqu'à un certain point, un événement majeur, le vieillissement des ouvrages peuvent mettre en péril l'efficacité de l'ouvrage. Outre la vigilance permanente, on peut aussi choisir de travailler sur des mesures douces comme la restauration des **zones d'expansion des crues** qui peuvent avoir un rôle significatif dans la diminution de l'aléa.

La restauration de zones humides, l'exemple des anciens Marais des Baux

Les anciens marais des Baux pourraient donc avoir officiellement vocation à devenir des champs d'expansion des crues des gaudres en provenance des Alpilles, mais aussi des crues du Rhône.

Outre la maîtrise des crues et des inondations, leur restauration en zones humides pourrait aussi d'autres bénéfiques : recharge des nappes phréatiques, épuration des eaux, piégeage du carbone, agriculture inondée, tourisme et biodiversité etc.

Au-delà de la réduction de l'aléa et des enjeux, le risque d'inondation restera bien présent sur le territoire (déversement au-delà de la crue centennale et crue millénale) et **il est important que le risque fasse partie intégrante de la culture locale**. Les populations locales tendent en effet à minimiser **les risques liés au Rhône et à la Durance**, en particulier dans les secteurs



fortement endigués et à enjeux de développement (communication CETE). La culture du risque doit être renforcée au niveau local.

La lutte contre le ruissellement

Au regard des évènements pluvieux exceptionnels relevés au cours des dernières décennies et des dégâts occasionnés, la prise en compte des ruissellements urbains et périurbains sur le territoire apparaît comme indispensable. Dans ce sens, des réflexions émergent actuellement au niveau des services de l'Etat, avec le **Contrat de Canal du Comtat à la Mer** en complément du Contrat de canal Crau Sud Alpilles. Un contrat de canal est une démarche de concertation portée par les structures gestionnaires d'un canal en partenariat avec les collectivités, les acteurs, les usagers et les financeurs. Il constitue un outil permettant de mettre en place une gestion globale et cohérente de la ressource en eau et des ouvrages.

La **mise en place d'un Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)** est une des solutions envisagées en cours d'élaboration. Cet outil vise à réduire les conséquences des inondations à travers une approche globale du risque portée par un partenariat réunissant services de l'Etat et acteurs locaux.

Lutte contre l'érosion des sols et régulation des eaux de ruissellement des gaudres (Montagnette, Alpilles, Petite Crau) : quelles solutions envisagées ?

Outre les besoins de connaissance qui entourent le risque de ruissellement par inondation plusieurs pistes de réflexion sont en cours au niveau du PAPI qui visent à limiter le ruissellement et favoriser une meilleure infiltration des eaux : recensement des ouvrages existants en pierre sèche sur les massifs, projets de restauration etc., systèmes de fossé à redent etc.

D'après la communication SICAS (L.Reynaud).

Conformément aux préconisations de l'article 35 de la loi sur l'eau, un zonage de l'assainissement pluvial doit être mené par les communes, préalablement à toute ouverture à l'urbanisation, pour identifier :

- les secteurs où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise des débits, l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement,
- les secteurs où il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte et le stockage et éventuellement le traitement des eaux pluviales.

L'érosion du littoral et les submersions marines

Synthèse : littoral

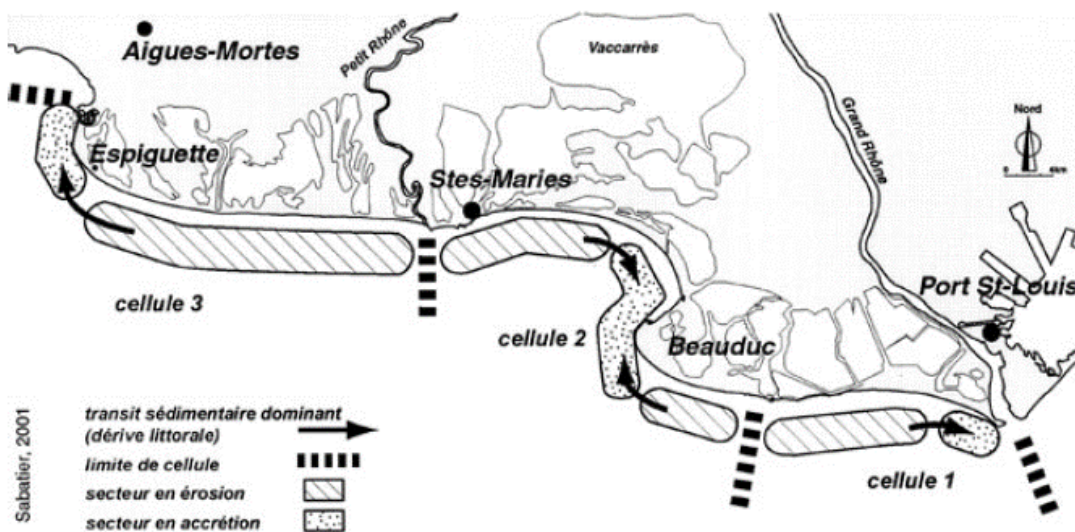
- Une gestion du littoral intimement liée à la gestion du delta et à son hydrologie
- Un territoire très soumis à l'érosion du littoral, aux risques de remontée du biseau salé et aux submersions marines
- Une aggravation des aléas principalement due à l'élévation accélérée du niveau de la mer (+ de 50 cm en 2100, selon le 5^{ème} rapport du GIEC) et à la baisse des débits d'étiage des cours d'eau. Une incertitude sur les autres paramètres météorologiques (houle, vent...)
- Une gouvernance complexe, particulièrement sur le trait de côte
- Une doctrine en évolution, entre besoin d'une « culture du risque » et définition de zones de « recul stratégique »

Caractérisation

Structure du littoral camarguais

Le littoral camarguais est structuré en trois « cellules sédimentaires ». Ceux-ci sont liés à la dérive littorale dominante en Camargue :

- de l'Espiguette au Petit Rhône avec une dérive littoral dominante Est-ouest où le secteur recule avec une pointe de l'Espiguette en accrétion (ce secteur n'est pas dans la Pays d'Arles) ;
- du Petit Rhône au Grau de la dent. La dérive littoral Ouest-Est jusqu'à la pointe de Beauduc et Est-Ouest du Grau de la dent jusqu'à la Pointe de Beauduc. Ici le littoral recule sauf dans le Golfe de Beauduc et la Pointe de Beauduc qui ont tendance à progresser ;
- enfin le Grau de la Dent jusqu'au Grand Rhône, où la dérive littorale Ouest-Est accumule des sédiments dans la partie Est de la plage d'Arles. (Sources : Etude littoral Sableux, EID méditerranée 2006).



Source : Etude littoral Sableux, EID méditerranée 2006)

Figure 64 : Dérive du littoral et accrétion / érosion de ce dernier

Les tempêtes

Le littoral est soumis aux tempêtes, qui vont engendrer des phénomènes de submersions. Sur les côtes méditerranéennes, les vents générant une tempête sont considérés comme tels lorsqu'ils dépassent les 110-120 km/h. Ce sont les vents soufflant du large vers la côte qui sont générateurs d'érosion et de submersion. Les surcotes (accumulation d'eau marine poussée par le vent) peuvent ainsi aboutir à des niveaux d'eau de 1,50m NGF au Grau de la Dent en décembre 1997. Ces tempêtes sont récurrentes sur le littoral Camarguais (1978, 1982, 1997, 2002, source : rapport Chassaing). Des surcotes marines de moins de 0,7m peuvent être traduites par des inondations de plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres (tempêtes de 1982 et 1997) (Sabatier et al. 2005).

La situation actuelle

La fragilisation du littoral est la conséquence de plusieurs facteurs combinés que sont l'élévation du niveau de la mer, la fréquence et de la violence des tempêtes et l'épuisement des stocks sédimentaires liés à la régression de l'alimentation du Rhône passé de 30 millions de tonnes d'alluvions il y a un siècle à environ 10 millions de tonnes actuellement (Provansal et Sabatier, 2002). Ce sont les tempêtes qui ont l'impact le plus marquant et visible sur le trait de côte.

On a constaté une élévation du niveau de la mer (2 mm par an au XXe siècle, 22cm et une perte de 450ha dans le delta), qui se situe dans la fourchette haute de l'élévation au niveau mondial. A Marseille, on enregistre une augmentation de +1.2 mm/an entre 1896 et 2004 avec une accélération récente du phénomène (+ 3,1 mm/an entre 1993 et 2003).



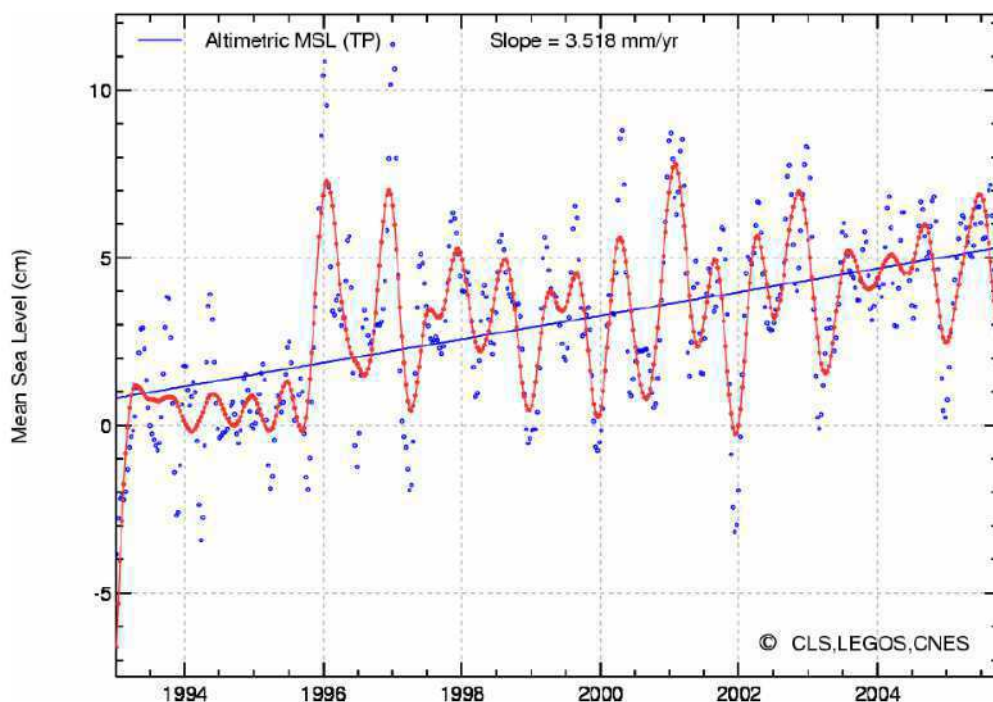
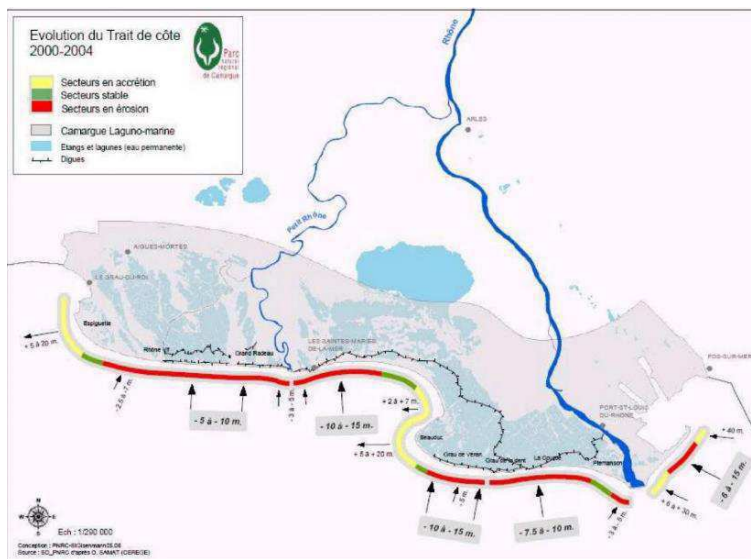


Figure 65 : Mise en évidence de la montée du niveau de la mer méditerranée par les satellites d'altimétrie

Source : Aviso-CNES

Des aménagements ont déjà été développés depuis les années 1980. 85% du littoral du delta est ainsi « artificialisé ». Malgré cela, le trait de côté a évolué de 15 mètres en moyenne en quarante ans.



Source : PNRC, diagnostic du littoral camarguais

Figure 66 : Evolution du trait de côte (2000-2004)

Plus précisément, la situation des principaux secteurs sur le pays d'Arles est la suivante.

- **Plage Est par rapport à Saintes-Maries-de-la Mer.** Les plages de l'Est subissent une très forte érosion. On est ainsi passé de 1km de plage devant la digue à la mer à une situation où celle-ci est en front de mer. Cette érosion est combinée à une perte d'épaisseur, à certains endroits les socles argileux sont devenus visibles.



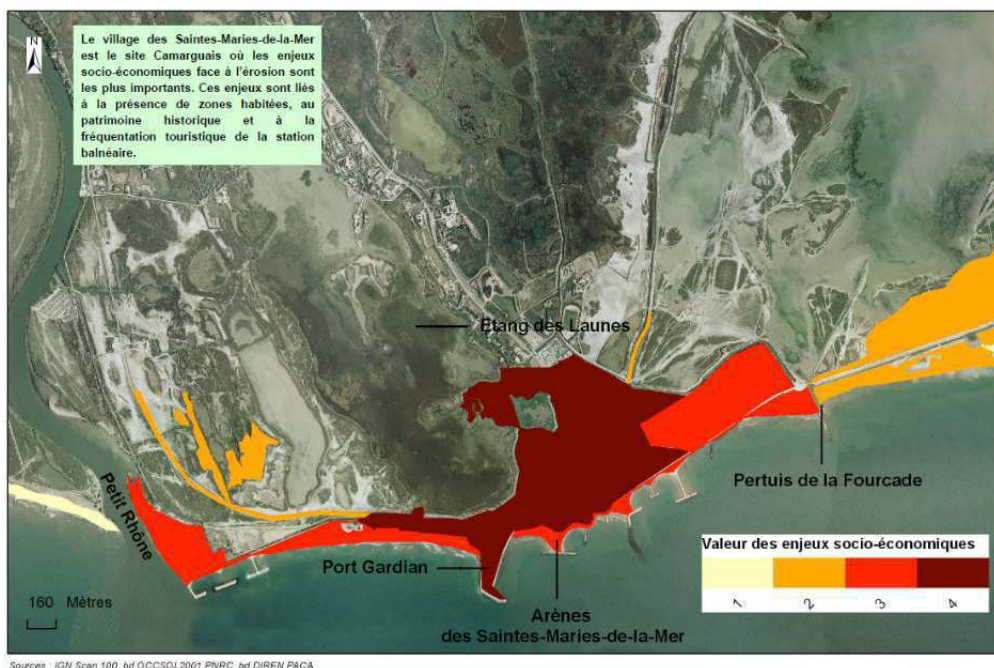
Quel avenir pour la digue à la mer dans les prochaines décennies ?

Construite au 19^{ème} siècle pour protéger la basse Camargue des entrées maritimes et donc de la salinisation, en retrait des plages, comme un « deuxième rideau de construction », la digue à la mer, gérée par le Symadrem, se retrouve de plus en plus souvent, avec l'érosion rapide du littoral camarguais, en front de mer. Elle risque donc d'être endommagée et de moins jouer son rôle de protection, d'autant plus avec l'accélération du niveau de la mer observée et prévue dans les prochaines décennies. Face à ce constat, plusieurs stratégies existent, qui dépendent de l'occupation du sol en arrière (constructions, milieux naturels, milieux agricoles, marais salants...), mais aussi de choix forts qui peuvent être faits sur l'évolution des milieux naturels : maintenir coûte que coûte la digue dans sa position actuelle, dans sa logique de lutte frontale, la déplacer et la récréer en arrière plage et essayer de récréer un milieu dunaire en avant, mais aussi laisser faire des brèches dans certains secteurs naturels et développer les échanges avec la mer.

- **Centre-ville Saintes-Maries-de-la Mer.** Le village des Saintes, cela est particulièrement visible en vue satellitaire (Figure 67), est relativement insulaire et par conséquent était protégé par d'importants épis dont certains sont aujourd'hui abandonnés et submergés. Des brises-lames et Ganivelles ont été installés. Il s'agit du site où les enjeux socio-économiques face à l'érosion sont les plus importants. Nous sommes en effet sur une zone habitée, où le patrimoine historique et les activités touristiques sont importants et potentiellement menacés. Plusieurs modes de gestions sont envisagés : restauration d'un fonctionnement naturel à l'embouchure du Petit Rhône, au niveau du village, ouvrages de protections qui modifieront le transit sédimentaire, rechargement de plage au niveau du pertuis de la Fourcade, repli stratégique (Etude littoral sableux Camargue, 2008, EID).



Figure 67 : Vue satellite (Google Earth) Saintes-Maries-de-la Mer



Source : Rapport littoral sableux, EID méditerrané, 2006

Figure 68 Valeurs des enjeux socio-économiques au droit du village des Saintes-Maries-de-la-Mer

- **Plage Ouest des Saintes-Maries-de-la-Mer.** Le littoral Ouest est un secteur très touristique (promenades à cheval, plages, cafés de plage, campings). Le système de digues et d'épis a bien fonctionné pour recréer une plage devant la digue du large. Le camping situé au droit de la digue du petit Rhône et du bord de mer subit une double menace de submersion- inondation, avec un risque de cumul en cas de coïncidence des deux évènements.
- **Autres secteurs.** Il y a déjà eu des phénomènes de submersion ayant touché les campings, comme dans le secteur camping sauvage de Piémanson (sur Arles-Salins de Giraud), en 2011.

Les projections d'élévation du niveau de la mer

L'élévation du niveau de la mer observée et projetée est largement d'origine humaine. Le changement climatique entraîne une dilatation des océans et une fonte des glaciers de montagne.

Les hypothèses ont évolué depuis quelques années :

- Le ministère de l'Ecologie a retenu en 2010, dans son étude « Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles », trois hypothèses à 2100 : une « optimiste » de +0,4m, une pessimiste de +0,6m , une hypothèse extrême d'1mètre.
- Le 5ème rapport du GIEC (résumé pour décideurs du groupe 1, approuvé en septembre 2013, a actualisé ces connaissances. Entre 1901 et 2010, l'élévation moyenne au niveau mondial a été de 19 cm (17-21 cm). Les projections, basées sur les nouveaux scénarios socio-économiques, donnent des valeurs légèrement plus importantes que par le passé. Ainsi, dans le RCP 2.6, très optimiste, l'élévation serait de 26 à 55 cm, dans le scénario RCP 4.5 plus



tendanciel elle serait de 32 à 63cm, de 33 à 63cm dans le RCP 6.0 et de 45cm à 82cm dans le RCP 8.5 (avec une nette accélération en fin de siècle). La

- résume ces tendances. **Il est donc assez probable que le niveau de la mer progresse de + de 50cm d'ici à 2100.**

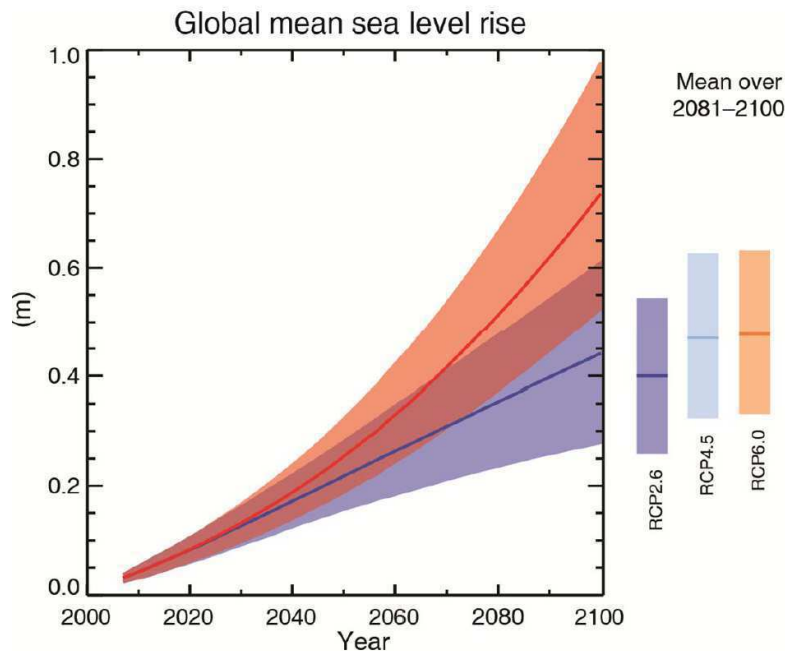


Figure 69 : Les projections d'élévation du niveau de la mer du 5^{ème} rapport du GIEC

La problématique des submersions marines

Les **submersions marines** peuvent provoquer des inondations sévères et rapides du littoral, des ports et des embouchures de fleuves. Elles sont liées à une **élévation extrême du niveau** de la mer due à la combinaison de plusieurs phénomènes :

- l'intensité de la marée (niveau marin dû principalement aux phénomènes astronomiques et à la configuration géographique) ;
- le passage d'une tempête, produisant une surélévation du niveau marin (houle, vent, diminution de la pression atmosphérique) ;
- les difficultés de drainage des eaux du delta (apport excessif d'eau douce en été par exemple) ;
- l'augmentation du niveau de la mer et l'affaissement du delta ainsi que présenté précédemment

L'aller-retour des eaux lors des phénomènes de submersion marine est potentiellement dévastateur en termes d'érosion. L'eau en entrant érode et emporte du matériel sédimentaire, puis en ressortant (drainage, coup de mistral) elle va emporter une deuxième fois du matériel sur un littoral déjà fragilisé.

L'élévation du niveau de la mer peut avoir pour conséquence d'augmenter le risque de submersion, au point que de nouveaux ouvrages de protections ou un retrait stratégique des

activités anthropique devront être considérés. Même si les régimes de vents n'évoluaient pas, l'élévation du niveau de la mer aura donc un effet croissant sur les risques de submersion.

L'étude réalisée pour le CETE pour la DDTM entre 2007 et 2010, à partir des chroniques d'évènements passés et des projections de changement climatique, ont pris comme référence :

- un aléa centennal de +1,5m par rapport au niveau de référence;
- une projection de changement climatique entre +0,6 et +1mètre, qui correspond à un scénario assez pessimiste dans l'état des connaissances actuelles ;
- ainsi le niveau de référence est de +2,5m par rapport au NGF.

Des surcotes marines de moins de 0,7m peuvent être traduites par des inondations de plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres (tempêtes de 1982 et 1997) (Sabatier et al. 2005). La Figure 70 illustre les valeurs de niveau marin selon différents scénarios de crues du Rhône. La concomitance des deux phénomènes déclenche les évènements les plus destructeurs.

Crue	Niveau marin		Niveau des étangs de Camargue (m NGF)
	Cote (1) (mNGF)	Concomitance (2)	
Océanique	0 à 0.3	Aléatoire	0.2
Cévenole	0 à 1.3	Probable	0.3
Méditerranéenne	0 à 1.3	Probable	0.4
Généralisée	0 à 1.3	Très probable	0.4

(1) cote moyenne sur la durée du pic de crue (quelques jours)
(2) probabilité d'avoir une crue du Rhône concomitante avec une surcote du niveau marin

Figure 70 : Valeurs caractéristiques des côtes marines pour différents scénarios de crue sur le Rhône

Source : ETB Rhône 2001

La submersion marine de 1982

Toutes les zones basses et les fronts de mer du littoral languedocien et de la Camargue sont touchés. Durant deux jours des vagues de six à dix mètres orientées est/sud-est balayent les côtes. Les niveaux d'eau croissent jusqu'à 1.50 m dans les graus et les ports abrités (Grau de la Dent, Port de Bouc, Port-Vendres, etc.). Les destructions sont importantes.

Les capacités d'adaptation

Une gestion complexe

La gestion du littoral témoigne d'une situation particulièrement complexe :

- la zone marine, traditionnellement du ressort de l'Etat, montre une implication croissante du PNRC, qui a compétence dans la limite des 3 miles nautiques, et gère le cantonnement de pêche ;
- les parties terrestres sont de la compétence des collectivités locales (Arles et Saintes-Maries-de-la-Mer, et leurs intercommunalités respectives), avec cependant des grands acteurs incontournables : le conservatoire du Littoral, les Salins du Midi, la réserve nationale de Camargue, qui gèrent d'importants espaces côtiers ;
- entre les deux la partie terrestre du domaine public maritime a un statut variable :
 - o le SYMADREM a compétence pour la gestion de la digue à la mer



- le DPM est concédé à la commune aux Saintes, mais pas sur le territoire d'Arles. Au droit des terrains du conservatoire du Littoral, sa gestion devrait être déléguée par l'Etat au conservatoire et assurée par le PNRC.

Une doctrine en évolution, des choix à faire

Avec l'amélioration de la connaissance des aléas, il devient de plus évident que a) la Camargue est exposée à des risques importants, et b) la stratégie de lutte frontale sera de plus en plus, à l'exception de certains secteurs, une impasse.

La gouvernance actuelle montre un certain laisser-aller dans l'entretien des aménagements (digue à la mer), dans un contexte d'interrogations. Les notions de retrait stratégique et de reconstitution des milieux naturels, rencontrent encore d'importantes réticences culturelles (impression de défaite, culture de l'ingénierie technique...).

Avant de faire ces choix dans le cadre d'un « Plan littoral » qui reste à définir, il s'agirait dans un premier temps d'améliorer la culture du risque (dispositifs d'alerte, plans d'urgence, refuges), afin d'assurer la protection des biens et des personnes.

Les acteurs clés à mobiliser	Symadrem (digues), mairie des Saintes-Maries-de-la-Mer, Mairie d'Arles, intercommunalités, Etat (DDTM), Parc naturel régional de Camargue, réserve nationale de Camargue, conservatoire du Littoral, Salins du Midi, autres acteurs socio-économiques	
Les capacités actuelles (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les leviers Implication du conservatoire du littoral, du Symadrem et du parc naturel régional de Camargue	Les freins Réticences à l'action aux Saintes-Maries-de-la-Mer
Les capacités futures (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les opportunités Nouvelle connaissance des risques (études CETE, GIEC...)	Les menaces Manque de moyen Non acceptation du recul stratégique
Les pistes à approfondir	Restauration de milieux naturels, « planlittora » de gestion du risque de submersion	

Les mouvements de terrain

Synthèse : mouvements de terrain

- Seule une partie du territoire est concernée par un aléa modéré de retrait-gonflement des argiles
- L'accentuation des sécheresses estivales et des précipitations intenses devrait augmenter les impacts de ce phénomène
- Pour les autres risques de mouvement de terrain, le signal lié au changement climatique est moins clair. L'intensification des précipitations reste cependant un facteur de risque

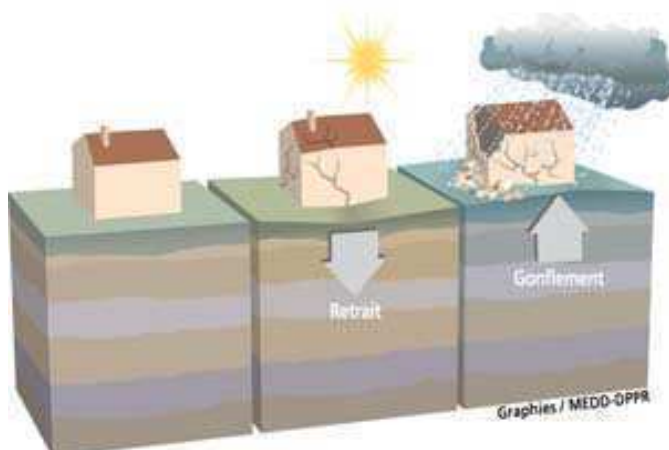
Le risque de retrait-gonflement des argiles

Les **phénomènes de retrait-gonflement des argiles** sont à l'origine de nombreux dégâts causés tant aux bâtiments qu'aux réseaux et voiries.

Certaines argiles, comme la smectite, présentent une grande sensibilité aux **cycles d'hydratation-dessiccation**. Ces derniers provoquent des **déformations du sol de l'ordre centimétrique** qui peuvent occasionner des **dégâts importants** (voir Figure 71). La réhabilitation d'immeubles affectés de gonflements-retraits s'avère, dans certains cas, aussi coûteuse que la reconstruction d'un édifice détruit par un glissement de terrain (Lejoly, 2006).

« Les phénomènes climatiques exceptionnels sont le principal facteur de déclenchement du phénomène. Les variations de teneur en eau du sol sont liées à des variations climatiques saisonnières. Les désordres seront plus importants dans le cas d'une sécheresse particulièrement marquée, intervenant à la suite d'une période fortement arrosée (par sa durée et par les cumuls de pluie observée). Deux paramètres primordiaux entrent en jeu : l'évapotranspiration et les précipitations » (Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques - SDPRM, 2008, p 8).

Figure 71. Le retrait-gonflement des argiles

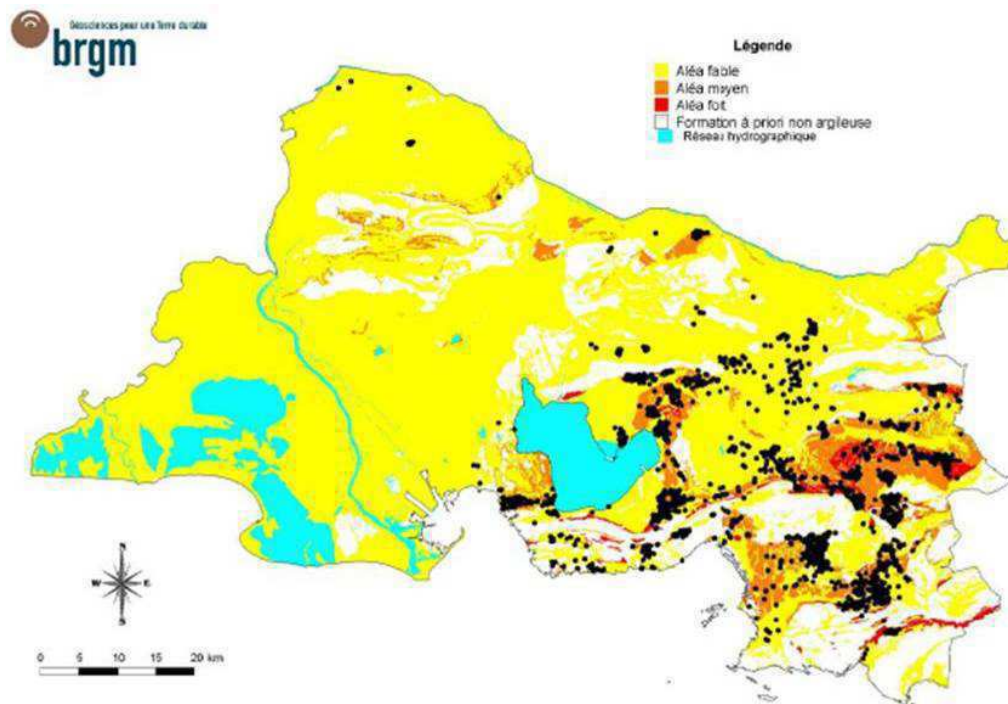


Source : Ministère français de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable.

Les Bouches-du-Rhône est l'un des départements les plus fortement touchés par ce phénomène de retrait-gonflement des argiles. D'après les données de la Caisse de

réassurance (octobre 2003), le département est classé en 8^{ème} position des départements français en termes de coût d'indemnisation des sinistres relatifs au retrait gonflement des argiles, suite à la canicule de 2003.

Le BRGM a établi une cartographie de l'aléa en 2004, actualisée en 2007.



Source : BRGM

Figure 72. Carte d'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Bouches-du-Rhône

Sur le territoire du Pays d'Arles, le risque de retrait et gonflement des argiles est caractérisé par un aléa moyen sur les communes des piémonts des Alpilles : Orgon, Eygalières, Saint-Rémy, Les Baux, Mouries, Maussane-les-Alpilles, Paradou, Fontvieille ; ainsi que sur la commune d'Arles. Cet aléa est ponctuel, il ne concerne pas les communes dans leur globalité. L'aléa est faible sur le reste du territoire. Les autres types de mouvement de terrain

Les dégâts liés à ce phénomène sont appelés à s'amplifier, étant donné que les projections climatiques montrent une augmentation des périodes de sécheresse en été, qui s'accompagnera vraisemblablement d'une augmentation des jours de précipitations intenses en hiver.

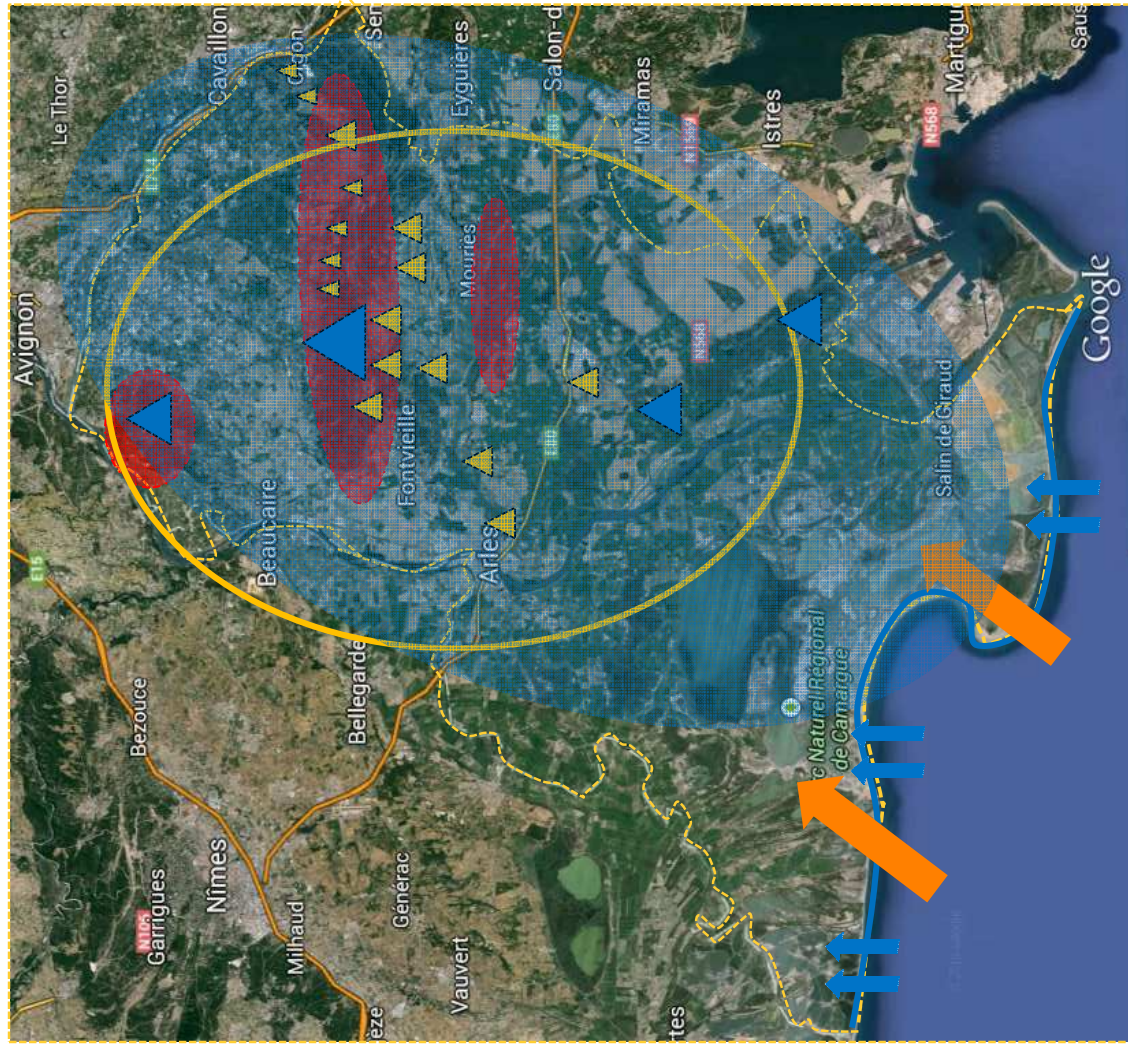
Les autres mouvements de terrain

D'autres risques existent, plus ou moins liés au climat :






- ***les glissements de terrain*** : ils se produisent généralement lors d'une forte saturation des sols en eau. Des volumes de terrain plus ou moins importants peuvent se déplacer le long d'une pente. **Ce risque est en partie lié au régime des précipitations.**
- ***Les tassements et les affaissements de sols*** : certains sols compressibles peuvent se tasser sous l'effet de surcharges (constructions, remblais) ou en cas d'assèchement (drainage, pompage). Le facteur climatique n'est pas significativement impliqué.
- ***Les effondrements de cavités souterraines*** : l'évolution dans le temps des vides souterrains (d'origine naturelle ou anthropique) produisent des affaissements (dépressions topographiques) dus aux tassements des sols ou des cratères engendrés par l'effondrement du toit d'une cavité. Le facteur climatique n'est pas significativement impliqué.
- ***Les coulées boueuses et torrentielles*** : elles sont caractérisées par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide. Les coulées boueuses se produisent sur des pentes, par dégénérescence de certains glissements avec afflux d'eau. Les coulées torrentielles se produisent dans le lit de torrents au moment des crues. **Ce risque est largement lié au régime des précipitations.**





Synthèse



Risques naturels présents sur le territoire

-  Submersions
-  Inondations par crues et ruissellement des pluies intenses
-  Erosion du littoral
-  Retrait-gonflement des argiles : aléa moyen
-  Feux de forêts

Vulnérabilités future au changement climatique

-  Canicules et sécheresse
-  Elévation du niveau de la mer

Les impacts sur les risques naturels en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles	
Risque de feux de forêt	++ T et Tmax (canicules) !-- P estivales, ++ S ++ S sol / incert V / ++ FM					
Risque crues de plaine automne/hiver Durance/Rhône	incertitude P / Pmax (possibilité d'une intensification automne/hiver à LT) hausse possible du débit Rhône/Durance en hiver et automne					
Risques crues brentelles : ruissellements des Gaudres	incertitude P / Pmax (intensification automne/hiver à LT)					
Risque de submersion marine	EANM (incertitude sur l'amplitude)					
Risque de mouvement de terrain (retrait/gonflement des argiles)	effets couplés sécheresses estivales/pluies et humidité hivernale					
Légende	++ augmentation – diminution	très fort	très forte	très faible	très forte	
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte	
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne	
	EANM Elevation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertaine	bonne	faible ou incertaine	
		très faible	très faible	très bonne	opportunité	

Les défis sociaux du territoire face au changement climatique

Les risques sanitaires

Synthèse : risques sanitaires

- un territoire bien doté en équipements de santé
- une vulnérabilité croissante à la chaleur estivale, en dépit d'une expérience ancienne du phénomène
- des synergies entre chaleur et pollution de l'air
- des maladies à vecteur à surveiller de près (moustique tigre et Chikungunya...)

Caractérisation

En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, l'offre de soin est l'une des plus denses en France et le département des Bouches-du-Rhône affiche une offre globalement supérieure à la moyenne régionale. Actuellement le territoire est dans une situation plutôt positive, tant en termes de moyen de santé que de capacité à réagir.

		Bouches-du-Rhône		PACA
THÈME	INDICATEURS*	EFFECTIF	DENSITE (POUR 100 000)	
Offre de ville	1 Médecins généralistes libéraux	2 513	129,7	126,2
	2 Médecins spécialistes libéraux	2 920	150,7	133,8
	3 Pédiatres libéraux	144	38,8	34,5
	4 Gynécologues-obstétriciens libéraux	165	35,3	35,5
	5 Psychiatres libéraux	396	20,4	15,8
	6 Chirurgiens dentistes libéraux	1 556	80,3	82,9
	7 Infirmiers libéraux	4 644	239,7	210,0
THÈME	INDICATEURS*	EFFECTIF	TAUX (POUR 1 000)	
Offre médico-sociale	18 Etablissements d'hébergement pour personnes âgées	18 876	114,9	117,1
	19 Services de soins infirmiers à domicile pour personnes âgées	2 977	18,1	19,5
	20 Accueil de jour pour personnes âgées	417	2,5	2,6
	21 Hébergement temporaire pour personnes âgées	235	1,4	1,4
	22 Etablissements hébergeant des adultes handicapés	2 474	2,4	2,6
	23 Structures d'insertion professionnelle	4 355	4,2	4,2
	24 Services d'accompagnement pour adultes handicapés	448	0,4	0,4
	25 Etablissements de prise en charge pour enfants handicapés	2 675	5,6	5,3
	26 Services d'éducation spéciale et de soins à domicile	1 020	2,1	2,4

Sources : Urcam Paca, Drees, SAE 2008 base administrative (traitement Drass Paca), Drass Paca (soins de longue durée), Finess (extraction au 17/11/2009), Insee RP 200

Figure 73 : Offre de prise en charge (2009)

L'évolution démographique du territoire conditionne largement le secteur de la santé. Le Pays d'Arles est en effet un territoire qui se caractérise par un vieillissement de sa population. L'INSEE montre que sur la décennie 1999-2008, les classes d'âge de plus de 45 ans augmentent. La plus forte progression est celle des 75 ans et plus. Cela suppose des problématiques singulières pour le territoire. Il est en effet nécessaire de disposer des services et des logements adaptés à cette réalité : EHPAD (Etablissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes), offre de soins, services à la personne, sont autant de domaines dans lesquels il est nécessaire d'être suffisamment développé pour faire face aux besoins potentiels. Le graphique ci-dessous illustre le vieillissement de la population au niveau du pays d'Arles. Le tableau qui suit concerne le département et montre que cette évolution, qui concerne l'ensemble des Bouches-du-Rhône, va se poursuivre d'ici à 2030.

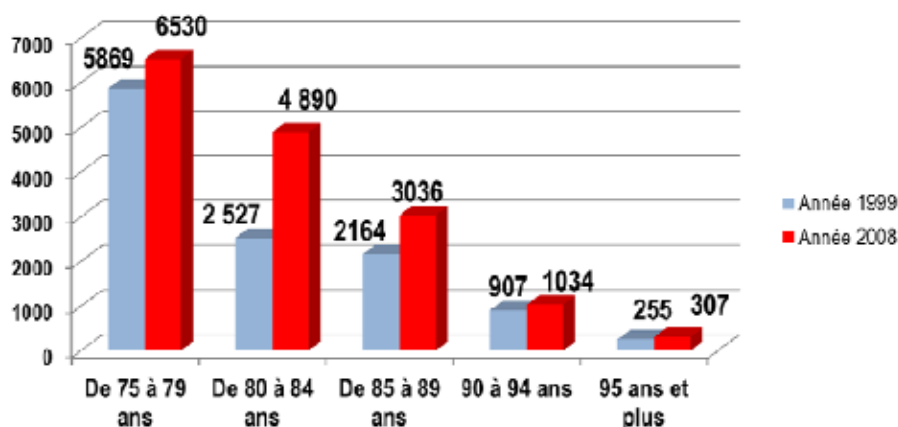


Figure 76 : Evolution du vieillissement de la population entre 1999 et 2008

Année	Population au 1 ^{er} janvier (en milliers)	Structure par âge (en %)				Âge moyen
		0-19 ans	20-59 ans	60-79 ans	80 ans et plus	
2010	1 957 683	24,3	53,0	17,5	5,2	39,6
2015	2 008 679	24,2	51,6	18,5	5,6	40,2
2020	2 055 184	24,1	50,6	19,6	5,7	40,7
2025	2 098 380	23,7	49,9	20,5	6,0	41,2
2030	2 140 628	23,3	49,2	20,5	7,0	41,8

Source : INSEE

Figure 77 : Projection de population à l'horizon 2030 - Bouches-du-Rhône - Scénario central

La dépendance actuelle au climat

Plusieurs enjeux sanitaires sont susceptibles d'affecter le territoire face au changement climatique :

- la question du confort thermique ;
- la gestion de crise en cas d'événements extrêmes (inondations notamment)
- l'évolution des pathologies et de la mortalité influencée par le climat en lien avec l'évolution des publics vulnérables (pollution atmosphérique, maladies à vecteurs...)

Le confort thermique : les vagues de chaleur

Le climat et les extrêmes climatiques ont une influence directe sur la santé des populations. Les populations à risque sont en particulier les personnes âgées de plus de 65 ans. Elles présentent des tolérances moins élevées aux grosses chaleurs pour plusieurs raisons : elles ont moins de capacités motrices, ce sont des populations potentiellement socialement isolées, la sensation de soif est retardée ou absente ce qui conduit à une plus rapide déshydratation, etc. Les jeunes enfants, les malades, les personnes handicapées et les personnes en situations précaires ainsi que les touristes sont également des populations potentiellement sensibles aux vagues de chaleurs (déshydratation, sensation d'inconfort, malaises, crises cardiaques, etc.).

Les canicules et en particulier les canicules de 2003 et de 2011 ont touché de plein fouet les établissements de santé du Pays d'Arles. Des surmortalités en maison de retraite ont même été observées du fait des conditions d'accueil dégradées. Les bâtiments médicaux et paramédicaux disposent en général d'un mauvais confort thermique ce qui signifie qu'en période estivale, il existe une surchauffe des pièces alors qu'en période hivernale, c'est le contraire. Les canicules entraînent par ailleurs une augmentation des troubles sociaux.

Problèmes de santé :	Maladies chroniques préexistantes exacerbées :	Effets négatifs induits ou accrus :
Inconforts, Faiblesses, Troubles de la conscience, Crampes, Syncopes, Coups de chaleur.	Le diabète, L'insuffisance respiratoire, Les maladies cardiovasculaires, cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, au point de causer la mort .	Détérioration la qualité de l'air, par la formation de smog Augmentation des émissions de gaz à effet de serre Augmentation la demande en énergie (climatisation et réfrigération) Augmentation la demande d'eau potable, pour se rafraîchir et arroser les végétaux Détérioration la qualité de l'air intérieur (développement de moisissures et autres bactéries)

Figure 78 : Effets de la chaleur urbaine sur les populations. Source : Institut national de santé publique du Québec, 2009

La gestion de crise en cas d'évènements extrêmes

Les établissements de santé, particulièrement centraux en cas de crise, et plus généralement les lieux de vie peuvent être affectés de différentes manières par les risques naturels :

- soit directement par l'exposition des établissements et de leur approvisionnement (eau potable/rupture gaz/électricité etc.). En 2003 par exemple, certains établissements des quartiers Nord avaient dus être évacués lors des inondations
- par la forte affluence de personnes qui nécessitent la mise en place d'un dispositif de gestion de crise (l'événement de 2003 a en ce sens aidé : par exemple sur les procédures de recensement des personnes, le regroupement familial, etc.)

Les pathologies et menaces sanitaires affectées par le climat

Le climat va aussi agir de façon indirecte sur la santé des populations, en jouant sur les conditions d'apparition et de développement de certaines maladies.

La pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique particulièrement prégnante dans le département des Bouches-du-Rhône, et le Pays d'Arles n'en est pas exempt. La densité des infrastructures de transports (autoroutes et routes, Golfe de Fos, Couloirs Aériens vers Marignane) combiné aux activités industrielles de Fos et de l'Etang de Berre, sont à la source d'une mauvaise qualité de l'air. 57% des particules, 65% du CO₂ et 45% des oxydes d'azote de la Région prennent source du complexe industrialo-pétrolier de Fos-Berre.

On sait qu'en période de fortes chaleurs et de beau temps, les conditions atmosphériques tendent à favoriser les **pics de pollution à l'ozone**. Ces derniers jouent sur la **santé respiratoire** des pollutions (infections chroniques des bronches ou de longue durée).

D'après les indices, et selon les zones géographiques, la qualité de l'air a été bonne d'un jour sur trois à un jour sur deux (entre 29 et 49 % du temps) et mauvaise à très mauvaise d'un jour à quatre jours dans l'année.

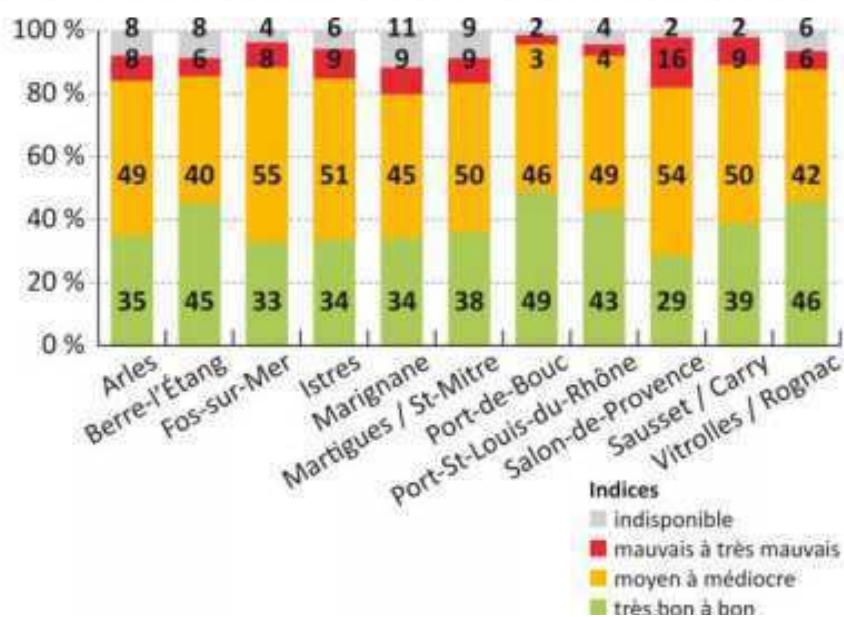


Figure 79 : Bilan de la qualité de l'Air 2012 Ouest des BdR Air Paca

La qualité de l'air est calculé selon un échantillonnage du dioxyde de soufre (SO₂), de particules en suspension (PM₁₀), de l'ozone (O₃), et du dioxyde d'azote (NO₂).

sous-indice de la qualité de l'air	Concentrations en µg/m ³				
	O ₃	PM 10	NO ₂	SO ₂	
très bon	1	0 à 29	0 à 6	0 à 29	0 à 39
	2	30 à 54	7 à 13	30 à 54	40 à 79
bon	3	55 à 79	14 à 20	55 à 84	80 à 119
	4	80 à 104	21 à 27	85 à 109	120 à 159
moyen	5	105 à 129	28 à 34	110 à 134	160 à 199
médiocre	6	130 à 149	35 à 41	135 à 164	200 à 249
	7	150 à 179	42 à 49	165 à 199	250 à 299
mauvais	8	180 à 209	50 à 64	200 à 274	300 à 399
	9	210 à 239	65 à 79	275 à 399	400 à 499
très mauvais	10	>240	>80	>400	>500

polluants	effets considérés sur la santé	valeur (µg/m ³) recommandée	durée moyenne d'exposition	commentaires
O ₃ ozone	- impact sur la fonction respiratoire	100	8 heures	des études récentes montrent un effet sur la santé dès 100 µg/m ³ /8h (ancienne valeur : 120 µg/m ³ /8h)
PM 10 particules	- affection des systèmes respiratoire et cardiovasculaire	50	24 heures	nouvelles valeurs
PM 2,5 particules		20	1 an	
NO ₂ dioxyde d'azote	- faible altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)	25 10	24 heures 1 an	nouvelles valeurs
SO ₂ dioxyde de soufre	- altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques) - exacerbation des voies respiratoires (individus sensibles)	200 40	1 heure 1 an	il existe maintenant une valeur annuelle
Pb plomb	- altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)	500	10 minutes	les effets sur la santé sont connus à des concentrations beaucoup plus faibles que par le passé (ancienne valeur : 125 µg/m ³ /24h)
Cd cadmium	- excacerbation des voies respiratoires (individus sensibles)	20	24 heures	
CO monoxyde de carbone	- niveau critique de plomb dans le sang < 10 – 150 g/l	0,5	1 an	pas de nouvelle valeur
	- impact sur la fonction rénale	0,005	1 an	pas de nouvelle valeur
	- niveau critique de COHb < 2,5 % Hb : hémoglobine	100 000	15 minutes	pas de nouvelle valeur

Les maladies infectieuses et maladies à vecteur

L'augmentation des températures augmente l'occurrence de certaines maladies infectieuses transmises par un insecte (cas du moustique tigre) ou un parasite. Une modification durable du climat exerce une influence notamment sur les aires de distribution géographique de ces vecteurs et leurs dynamiques de transmission particulièrement influencée par les échanges mondiaux et le tourisme qui agissent comme vecteurs de nuisibles. Au-delà des liens climat/santé mis en évidence, il reste aujourd'hui cependant difficile d'évaluer les impacts sanitaires liés directement au changement climatique.

Les moustiques, outre la gêne qu'ils occasionnent au quotidien (et notamment dans certains quartiers d'Arles), font partie de ces vecteurs. Ils sont particulièrement présents sur le territoire. Les épisodes de pullulation peuvent conduire à des mesures drastiques, notamment pour le tourisme. En 2003 par exemple, un arrêté municipal a par exemple interdit la Camargue aux classes vertes. Il reste que si le vecteur est présent, les réservoirs de parasites et autres agents (Chikungunya, paludisme) ne sont pas présents sur le territoire. En 2007, la transmission du Chikungunya été enregistrée pour la première fois en Europe, lors d'une flambée localisée au nord-est de l'Italie.

Les inondations

Les inondations récentes, si elles n'ont pas causé de mort par noyade, ont entraîné une surmortalité due à des troubles psychiques (déplacements des populations et pertes de bien : angoisse qui a duré plusieurs années).

La qualité de l'eau

La quantité de polluants présents dans l'eau est fonction des apports et du débit. Toute réduction des cumuls de précipitation, des débits moyens ou des étiages peut donc augmenter la qualité de l'eau. *A contrario* une intensification des précipitations, par exemple en hiver, peut avoir un effet dilutif.

Par ailleurs, l'augmentation de la température de l'eau peut encourager le développement de bactéries (leptospirose) ou d'algues responsables d'intoxication alimentaires (liées à la consommation de coquillages). **La chaleur favorise le développement d'algues et de bactéries potentiellement mortelles pour l'être humain.** Le problème des eaux stagnantes favorise d'autant plus ce développement. Les principaux risques sanitaires liés à l'alimentation sont de types microbiologiques (développement de bactéries, virus, moisissures,...), chimiques (produits chimiques présents dans l'environnement, pesticides, métaux lourds,...) et parasitaires (helminthes,...).

Les vulnérabilités futures

Plus de canicules et plus d'impact de ces canicules

Avec le changement climatique et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des canicules, on se dirige nécessairement vers une hausse des besoins en rafraîchissement qui nécessite une réelle anticipation. Les modèles indiquent clairement une augmentation à venir du nombre de jours de très fortes chaleurs (où la température dépasse les 35°C), même s'il existe une forte incertitude entre les modèles. D'après la projection de référence, le nombre de jours de fortes chaleurs pourrait doubler à l'horizon 2030 (passer de 16 à 31 jours) et tripler à l'horizon 2080 (en passant de 16 à 48 jours). Même si le département est habitué aux fortes chaleurs et que la canicule exceptionnelle de 2003 a montré qu'il était moins sensible que le nord du pays à cette situation, une hausse significative de ce genre d'événements pourrait néanmoins entraîner des conséquences préoccupantes en termes de santé. Si l'augmentation de la fréquence, de la durée et de l'intensité des épisodes caniculaires se confirmait, on pourrait assister à des effets de seuil. Ainsi, certains publics jusque-là relativement épargnés pourraient être impactés, comme les touristes par exemple. De même, le vieillissement annoncé de la population ne ferait qu'accroître la proportion de personnes particulièrement vulnérables à ces événements. **Les populations les plus vulnérables risquent de connaître une augmentation de la mortalité et la morbidité.**

Une réduction des risques liés au froid hivernal

Les risques sanitaires liés au froid, notamment pour les populations précaires, devraient diminuer au cours du siècle. On observe sur le territoire du pays d'Arles une tendance à l'augmentation des températures moyennes selon toutes les projections (tous les modèles), horizons temporels, régions et saisons. Dès l'horizon 2030, l'augmentation des températures est significative même si elle reste relativement modérée avec environ +1°C (de +0,5°C à +1,6°C selon les modèles). A l'horizon 2050, la tendance se confirme avec une hausse de +2,1°C (de +1,3°C à +2,2°C). Pour les températures minimales (Tmin), on retrouve globalement les mêmes tendances annuelles que pour la température moyenne. Les projections montrent une hausse des températures minimales en hiver de 0,7 à 2,1°C à l'horizon 2030, de 1,9 à 2,8°C à l'horizon 2050, de 1,8 à 3,9°C à l'horizon 2080. **Les épisodes de grand froid hivernal devraient donc être moins préoccupants à l'avenir et leurs conséquences sur la santé moins marquées.**

Des synergies entre grandes chaleurs et pollutions à l'ozone

De plus, les épisodes de pollution à l'ozone étant sensibles à la température, ils devraient être plus fréquents à l'avenir autour des agglomérations, notamment Arles, en été. Concernant les pollutions hivernales liées à des phénomènes d'inversion de température, il est difficile de conclure sur une évolution claire compte-tenu de la spécificité du phénomène atmosphérique. Par ailleurs, les projections relatives au vent ne montrent pas de résultats significatifs sur leur évolution. Les travaux nationaux sur cette question convergent plutôt sur une tendance à la diminution du nombre de jours de vent, sans parvenir à une conclusion claire sur leur intensité. **On ne peut pas savoir si le vent sera plus utile qu'aujourd'hui pour disperser les polluants.**

En conclusion, **il est raisonnable d'estimer que les pics de pollution, notamment à l'ozone en saison estivale, devraient augmenter ainsi que leurs conséquences sur la santé.**

Une concentration de la pollution de l'eau

L'évolution de l'hydrologie devrait globalement concentrer la pollution en été.

En ce qui concerne le volume global de précipitations, les projections montrent un signal faible de légère diminution avec néanmoins une forte dispersion entre les modèles et variabilité entre les différents horizons et saisons.

Ecart (en %) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières

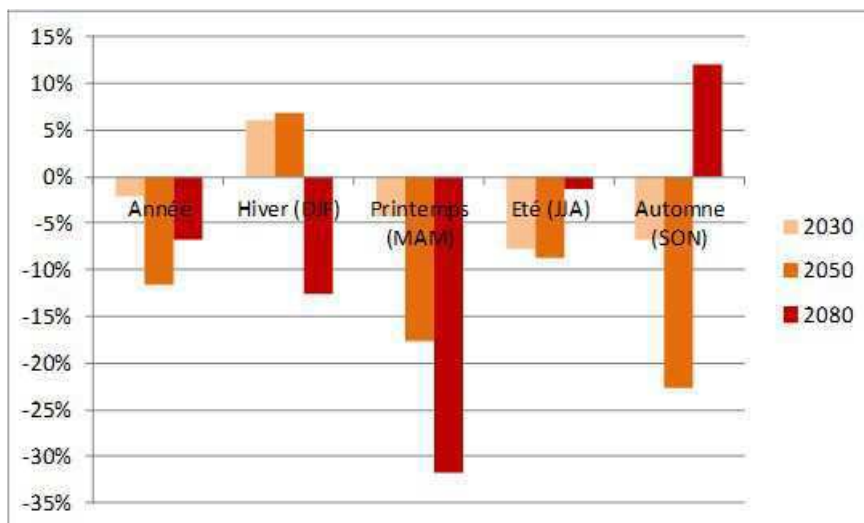


Figure 80 : Evolution du cumul de précipitation aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence

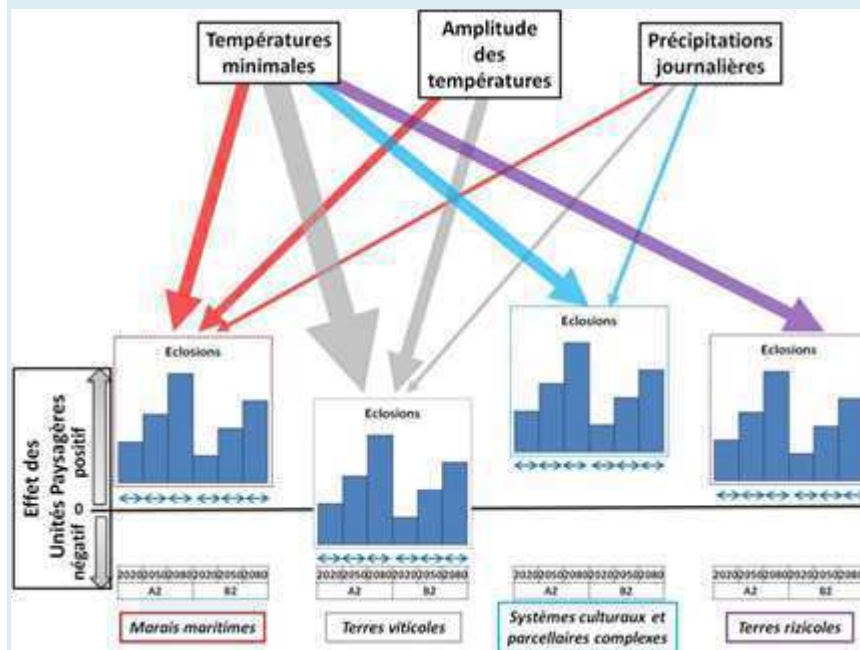
Des écarts en deçà de 10% ne peuvent en effet constituer une variation significative : le signal est alors trop faible et ne peut se dégager de la part de variabilité naturelle du climat. Il est à cet égard difficile d'établir une véritable tendance avant l'horizon 2050. **Les projections s'accordent cependant sur une diminution des précipitations en été ainsi qu'au printemps à partir de 2050** : entre -10% et -41%.

En revanche, si les projections sont incertaines sur l'évolution du régime des précipitations, il semble que les cours d'eau risquent de subir **des étiages plus sévères** à l'avenir et **la diminution des débits pourrait ainsi engendrer une concentration plus forte des polluants**. Il en est de même en cas de diminution des niveaux des aquifères sous l'influence conjuguée de la diminution des volumes de précipitation et de prélèvement accrus par la hausse des températures.

L'évolution des moustiques dans une perspective de changement climatique : le cas d'*Aedes Caspius* (moustique tigre).

C. Roumieux, dans son travail de thèse, s'est attachée à étudier l'impact de l'évolution du climat (considérée via les scénarios A2 et B2 du GIEC) sur l'occurrence des éclosions de *Aedes caspius* sur le littoral méditerranéen, un moustique très répandu en Camargue. La zone d'étude considérée correspond au domaine d'intervention de l'EID (Entente Interdépartementale pour la Démoustication) dont le pays d'Arles fait partie. 3 horizons temporels sont concernés : 2020, 2050, et 2080. Pour cela, 4 variables météorologiques ont été utilisées : les précipitations cumulées sur 3 jours, l'amplitude de la température moyennée sur 3 jours, la température minimale moyennée sur 3 jours, et l'écart type des précipitations max du jour considéré (moyenné sur 3 jours) par rapport aux 7 jours précédents. C. Roumieux a également pris en compte la photopériode et l'impact du milieu sur l'occurrence des éclosions. Ici, on ne s'intéresse pas à la densité des éclosions mais bien à l'amplitude de la durée d'activité de l'espèce. Le travail donne des résultats intéressants dont une partie est représentée par la figure ci-dessous.

Figure 81 : Effets des différentes variables environnementales sur les éclosions à l'horizon 2020, 2050 et 2080 pour les scénarios A2 et B2 pour les 4 complexes paysagers considérés



La taille des différentes flèches correspond à l'intensité de l'effet. Les flèches sous les histogrammes des éclosions indiquent un allongement de la durée d'activité d'Ae. caspius. On remarque clairement que l'occurrence des éclosions va être amenée à augmenter dans l'avenir dans la plupart des lieux où se situe la zone humide et quel que soit le scénario ou l'horizon temporel. Toutefois, tous les milieux ne représentent pas la même sensibilité au phénomène, les rizières et les terres viticoles seraient moins touchées que les autres milieux. Une diminution de l'occurrence est même observée dans la région d'Aigues-mortes, mais cette situation reste exceptionnelle. C. Roumieux note qu'une augmentation des températures minimales sera le facteur le plus important dans la pullulation des insectes, suivie de près par la hausse de l'amplitude des températures puis des précipitations. Enfin, il précise que l'augmentation de l'occurrence se situe principalement dans les saisons de transition (Printemps et Automne) tout en distinguant la zone d'Arles, où se dessine une hausse de l'occurrence des éclosions en automne et une stabilité au printemps. Cette situation pourrait entraîner, à long terme, une disparition de la diapause (changement de stade de développement de l'insecte dû à la baisse des températures minimales qui fait que les moustiques tels que nous les connaissons disparaissent) comme c'est déjà le cas en Afrique du Nord. Les moustiques pourraient donc être actifs même en saison hivernale. Ceci aura sûrement des répercussions sur les activités socio-économiques du territoire concerné (tourisme, agriculture etc.).

Les capacités d'adaptation

Le territoire du Pays d'Arles a globalement une bonne capacité d'adaptation, par son histoire et par ses moyens de prévention et d'intervention. Le réseau de santé est globalement bon, il s'appuie sur des réseaux de veille (réseau Sentinelle et autres), sur des capacités de recherche (les premiers travaux sur la canicule ont été menés à Marseille). Le dispositif de prévention s'est singulièrement amélioré, avec par exemple le plan canicule adopté au niveau national suite aux événements de 2003, au plan Rhône de prévention des inondations. Les populations de moustiques sont suivies et contrôlées par l'entente interdépartementale de la démoustication (EID). Il faut ajouter à cela des savoir-faire

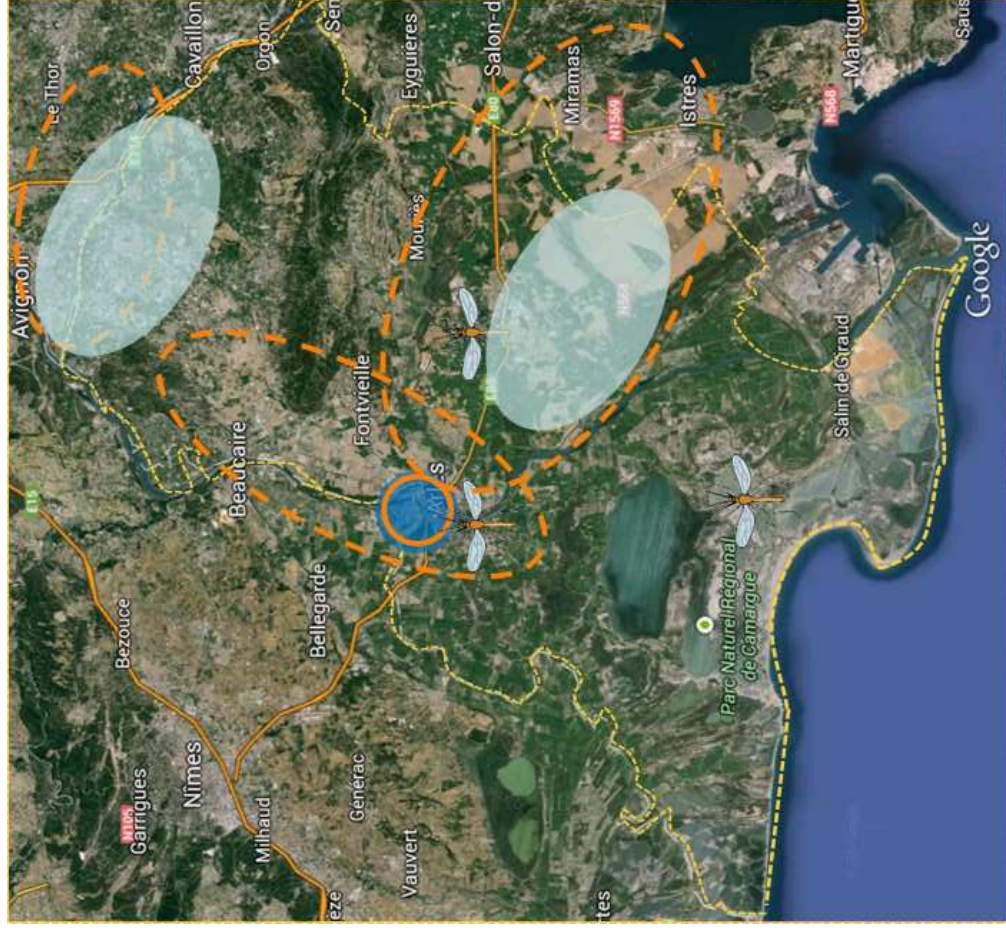
traditionnels, par exemple dans le domaine du rafraîchissement du bâti, bien que ces traditions soient parfois en train de se perdre.

Parmi les chantiers passés ou en cours, on peut noter :

- l'installation, dans certaines maisons de retraites climatisations réversibles dans l'ensemble des chambres. Cependant, la question du confort thermique demeure particulièrement problématique sur l'établissement du Lac, pourtant la plus grande maison de retraite du secteur (107 places). L'isolation du toiterrasseserait une des priorités;
- la gestion de la chaleur dans le centre hospitalier d'Arles. Les chambres des malades, orientées à l'est ou à l'ouest, bénéficient d'un contrôle de l'ensoleillement par des volets mobiles. En 1996, une partie de l'édifice (façades, toitures et bouches d'aération) a bénéficié d'une inscription sur l'Inventaire des Monuments historiques. Ce classement rend compliqué les travaux d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments, qui seraient aussi nécessaires sur ce bâtiment. Les référentiels existants anticipent peu ces contraintes. Aussi, il existe un réel besoin d'engager un travail de fond entre les professionnels de la santé et ceux du bâtiment sur ces questions énergétiques ;
- l'amélioration des procédures de gestion en cas de crise majeure. Il existe un « Plan Bleu » qui est un plan de gestion de crise en cas d'événement majeur (pour l'hôpital et les différentes maisons de retraites);
- le plan Rhône, qui a un impact direct sur la diminution de l'anxiété (endiguement). L'urbanisation en zone d'inondation reste cependant problématique, notamment aux Saintes-Maries-de-la-Mer (cas d'une résidence senior).

Les acteurs clés à mobiliser	Entente interdépartementale pour la démoustication (EID), maisons de retraites et établissements hospitaliers, Services communaux en charge de la prévention des risques (plan canicule), DDAS, services du Département, AIR PACA	
Les capacités actuelles (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les leviers Savoirs et pratiques traditionnelles Plans de gestion des risques	Les freins Manques de connaissance (maladies à vecteurs, pollution atmosphérique)
Les capacités futures (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les opportunités Amélioration de la connaissance de l'aléa	Les menaces Disparition des savoirs traditionnels
Les pistes à approfondir	Gestion de la chaleur dans les EHPAD et hôpitaux, au-delà de la climatisation Veille et recherche sur l'émergence de maladies à vecteurs (Chikungunya)	

Synthèse et cartographie



Impacts à venir

- Enjeux liés à la chaleur en ville
- Nuisances dues aux vecteurs
- Zones à fort enjeux humains/aux risques naturels
- Pollution de l'air
- Qualités des nappes

Les impacts sur la santé des populations en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Confort thermique et risques sanitaires en lien avec les canicules	'++ T et Tmax (canicules) '++ S				
Confort thermique et risques sanitaires en lien avec les grands froids	++Tmoy hivernales				
Maladies respiratoires en lien avec la qualité de l'air (pollution à l'ozone)	++ T et Tmax (canicules) ++ S incert vent et ensoleillement				
Allergies à la population lors d'événements extrêmes (inondations/submersions)	++P à venir				
Maladies allergènes et vectorielles	--P estivales ++ T et Tmax (canicules) ++ S '++ETP combinaison de paramètres				
Maladies hydriques et infectieuses	--P estivales ++ T et Tmax (canicules) ++ S '++T de l'eau				
Légende	++ augmentation – diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elévation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertaine	bonne	faible ou incertaine
		très faible	très faible	très bonne	opportunité

Les impacts sur les infrastructures et sur la logistique

Synthèse : infrastructures et logistique

- un territoire marqué par les infrastructures de transport et la logistique
- une vulnérabilité future liée aux fortes chaleurs (dilatation des rails...)
- un risque d'intensification de l'aléa retrait-gonflement des argiles, cependant d'extension limitée sur le territoire

Caractérisation

Le territoire du Pays d'Arles s'appuie sur des infrastructures de transports tout à fait uniques. En effet, les infrastructures de transports, l'activité logistique et les activités industrielles offrent un écosystème économique tout à fait essentiel au développement du mais également dans une plus large mesure de l'économie Régionale.

La Région PACA est située au centre de l'Arc Latin (de Barcelone à la plaine du Pô en Italie) et au sud du corridor Rhodanien qui débouche sur les principaux marchés du nord de l'Europe. Les entreprises du Pays d'Arles, grâce aux infrastructures de transports du territoire ou à proximité (port de Fos-Marseille, Port fluvial d'Arles, lignes de frets et de train, aéroport de Marignane) trouvent ainsi à l'échelle régionale l'ensemble des moyens de transports si essentiels à la gestion de leurs *supply-chain* d'import-export.



Figure 82 : Positionnement géostratégique de la Région PACA en Europe. Source : CCI PACA

Le Pays d'Arles joue un rôle essentiel dans cette dynamique en offrant plusieurs équipements et en étant un territoire de transit tout à fait essentiel selon les axes Nord-Sud et Est-Ouest aussi bien via le rail, la route, la voie fluviale ou encore maritime. On est donc en présence d'un réseau d'infrastructures de transport complet, comme en témoigne l'illustration ci-dessous.



Figure 83 : Cartographie des infrastructures de transports et des pôles logistiques du Pays d'Arles. Source : PRES logistiques

Arles est notamment dotée d'un équipement fluvial de qualité qui s'intègre bien dans l'armature régionale et nationale. Le trafic fluvial est ainsi régulièrement en croissance. Arles est le second port du Rhône après Lyon. La liaison Rhône-Saône du port fluvio-maritime d'Arles a ainsi transporté 730 000 tonnes. Il permet de faire le relais entre le Port Autonome de Marseille et le reste de l'Europe, connectant ainsi le port et son arrière-pays.

■ Interconnexions entre les modes de transports en PACA

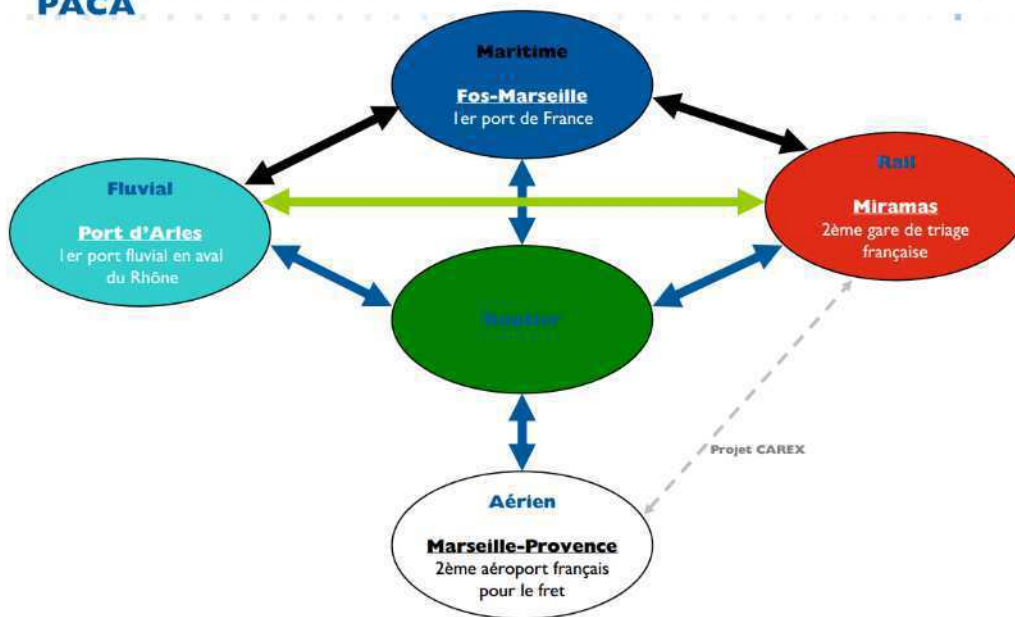


Figure 84 : Les infrastructures de transports en Région PACA : une armature complète et multimodale.
Source : PRES Logistique.

Il existe un cluster d'entreprises liées à la logistique et structurée dans un PRIDES : « cluster-paca-logistique » dans lequel le territoire du Pays d'Arles joue un rôle particulièrement structurant avec la présence de plusieurs pôles :

- plate-forme multimodale de Saint-Martin de Crau (140 ha),
- plate-forme portuaire Distriport de Port Saint-Louis du Rhône (160 ha),
- plate-forme quadrimodale d'Arles (70 ha).

Et, à la limite de son territoire, la présence de la plate-forme multimodale Clésud de Grans-Miramas (280 ha).

La logistique est d'ailleurs un secteur qui représente une centaine d'établissements et 4000 salariés avec la présence d'entreprises internationales de logistiques telle que Metro, Carnivor, Castorama, Office Dépôt, etc. Ces plateformes sont encore en plein développement autour de Saint Martin de Crau où 800 000 m² seront ajoutés aux 336 000 m² construits et 1 500 emplois déjà créés. A terme le projet atteindra 1 million de m² pour 5 000 emplois. Du fait des surfaces consacrées au développement économique de la logistique, des débats ont régulièrement lieu avec le monde agricole.

La dépendance actuelle au changement climatique

Les infrastructures de transports ont une longue durée de vie. Elles sont donc particulièrement concernées par les évolutions de long terme du climat. Dans le Pays d'Arles, ce risque est principalement celui des **inondations**, des **instabilités de terrain** et des **événements extrêmes** : vents violents, neige, précipitations extrêmes. Localement, les ports de plaisances sont soumis au risque de submersion marine.

Le risque d'inondation et de coulées de boues est très présent en Pays d'Arles. Il est aggravé par l'imperméabilisation croissante des sols qui empêche l'eau de s'infiltrer dans les sols. Les ouvrages d'écoulement sont ainsi très rapidement submergés ce qui touche le réseau routier. Les inondations en occupant les réseaux routiers et ferrés bloquent les transports et l'ensemble des chaînes logistiques. Elles vont également causer l'arrêt des transports ferroviaires via la rupture de l'alimentation électrique qui devient préjudiciable au fret et surtout au réseau de TER. Le transport fluvial est également touché dans la mesure où le port d'Arles peut être inondé, ces inondations empêchant la tenue des activités portuaires. La navigation est plus complexe dans un contexte de crues. Les infrastructures portuaires de plaisance et les routes servant de digues peuvent être localement soumises au risque de submersion.

Les inondations de 2003 : rupture du remblai de la voie ferrée

Provoquée par un épisode méditerranéen exceptionnel, la crue du Rhône a débuté le 1er décembre pour atteindre son pic le 4 décembre. L'inondation est due à une faiblesse dans le système de protection. Le 3 décembre, se produit une rupture par surverse des merlons de protection de deux des quatre trémies de la voie ferrée au sud de la commune de Tarascon. Le remblai de la voie ferrée est la seule protection dont dispose le Trébon, plaine du nord d'Arles, contre les eaux du Rhône. Ces eaux font alors irruption à l'est de la voie ferrée, dans la partie nord de la commune d'Arles. Elles s'engouffrent d'autant plus facilement que le Trébon constitue une dépression. Les eaux se sont trouvées piégées entre la voie ferrée à l'ouest et le canal du Vigueirat à l'est (canal surélevé par rapport à la plaine) ; elles ne pouvaient s'écouler par les deux siphons d'évacuation des eaux Trébon (siphons de Flèche et de Quenin), l'un s'étant effondré et l'autre étant partiellement obturé.

Source : d'après Emmanuelle Delahaye, pour Géoconfluences le 13 mai 2005

L'instabilité des terrains affecte moins le Pays d'Arles que les autres territoires du département. Toutefois, le retrait-gonflement des argiles, principal phénomène à l'œuvre, est une réalité pour une partie du Pays d'Arles sur une partie des Alpilles et dans quelques localités de la Crau comme en témoigne la cartographie ci-dessous.

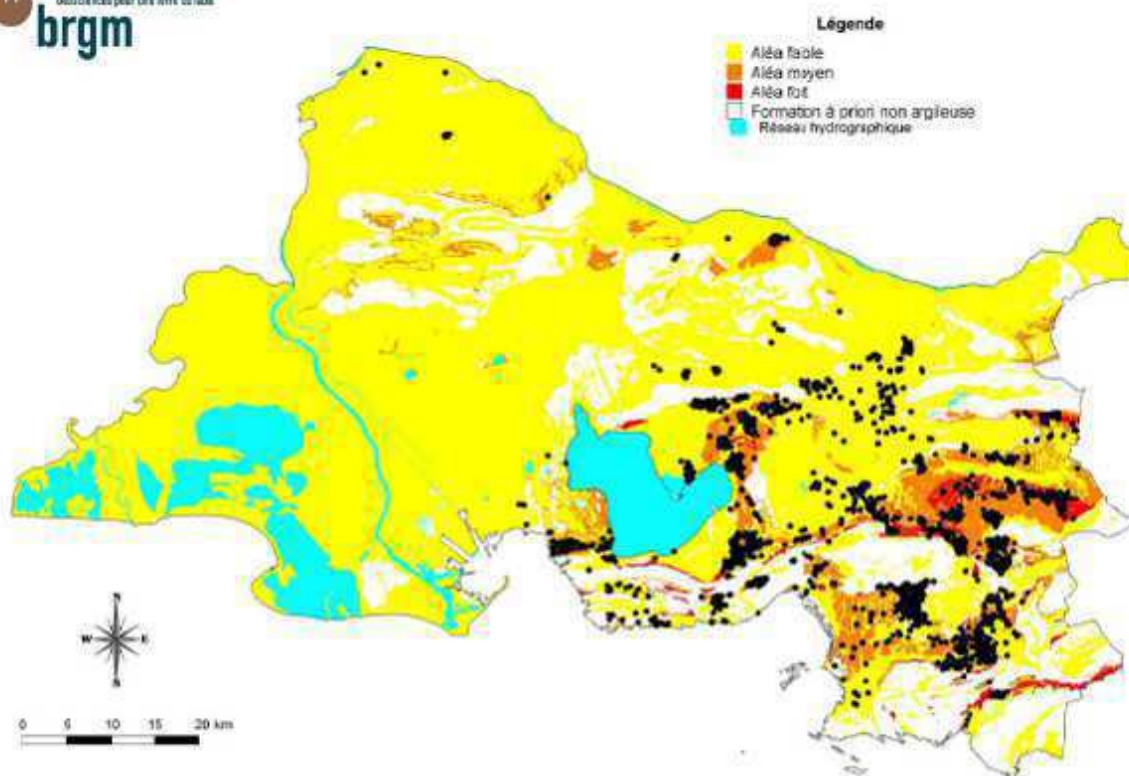


Figure 85 : Aléa des territoires au retrait-gonflement des argiles. Source : Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Bouches-du-Rhône, BRGM, 2004

Les argiles sont soumises à un phénomène d'hydratation-dessiccation qui provoque des déformations du sol de quelques centimètres qui provoquent des dégâts relativement important (fissures des ouvrages). Les réseaux routiers locaux sont donc exposés à ce risque. Ces phénomènes sont en lien avec les conditions climatiques saisonnières. Un épisode pluvieux prolongé et dont le cumul pluviométrique est important suivi d'un cas de sécheresse qui provoque l'évapotranspiration des précipitations à l'origine de ce phénomène potentiellement dévastateur pour les infrastructures urbaines et de transport.

Les évènements extrêmes tel que les pluies intenses, chutes de neige et tempêtes ont également des impacts forts sur le réseau de transport. Les pluies intenses peuvent provoquer des surcharges locales sur les routes impactant le risque d'accidents et/ou des ralentissements sur le réseau routiers. Les routes départementales bordées de massifs forestiers sont par ailleurs sensibles au risque de chutes d'arbres qui peut être provoqué par des vents violents notamment. Les chutes de neiges et les épisodes de gels ralentissent voir interrompent certains tronçons routiers en l'absence de salage. Des épisodes de ce type ont également pour effet d'affecter la circulation des trains et TER dans la mesure où la neige fragilise les caténaires.

La température est également un facteur qui agit sur la qualité du réseau de transport. Actuellement, les fortes chaleurs, c'est-à-dire les jours où la température dépasse les 35°C est de 16 jours par an pour le département. Elle est concentrée sur la période estivale et est problématique pour le réseau de transport, en particulier le réseau ferroviaire. En effet, la chaleur dilate les rails ce qui impose des réductions de vitesses, augmente le risque de rupture de caténaires et provoque des défaillances électroniques sur les systèmes de signalisation ou sur les systèmes embarqués des trains. Par ailleurs, le réseau ferroviaire

étant imbriqué dans le réseau électrique, une rupture de ce dernier entraîne des difficultés importantes sur ce réseau de transport.

L'impact de la canicule de 2003 sur les transports

« La canicule de 2003 a fourni un bon exemple des conséquences d'une telle situation (...) en plus des désagréments extrêmes causés aux voyageurs du fait des voitures surchauffées, la dilatation et déformation des rails a entraîné des retards fréquents et significatifs ». (Cochran, 2009, p 12). A la même période, « bon nombre de fleuves importants (par exemple, le Pô, le Rhin, la Loire et le Danube) sont descendus à des niveaux bas records, ce qui a conduit à une interruption de la navigation intérieure... » (GIEC, 2008, p45)

Sur les infrastructures ferrées plus précisément, la SNCF a fait état de la dilatation de rails de voies de chemin de fer, provoquant de nombreux retards : sur la première quinzaine d'août 2003, la SNCF a enregistré une baisse de régularité d'environ 10 points sur le réseau Grandes Lignes, le pourcentage de trains arrivant à l'heure étant tombé à 77% contre 87% en 2002.

Les infrastructures de transports sont donc concernées par de nombreux phénomènes climatiques. Il convient également de préciser qu'ils participent à l'aggravation de certains de ces risques. En effet, l'imperméabilisation et l'artificialisation des sols accroît le risque et le phénomène d'inondation.

Les vulnérabilités futures

L'augmentation du nombre de jours de fortes chaleurs, c'est-à-dire les jours où la température dépasse les 35°C est assez claire. Les extrêmes de chaleurs pourraient doubler à l'horizon 2030 et tripler à l'horizon 2080 selon les projections de référence. Cela aurait pour conséquences d'impacter le réseau de transport beaucoup plus qu'aujourd'hui.

D'une part le confort des voyageurs est un enjeu en été, qui risque d'impacter les touristes souvent moins adaptés ou préparés. D'autre part, les effets de cette augmentation sur les infrastructures pourraient être ressentis de manière importante. Les infrastructures ferrées, nous l'avons vu, sont particulièrement sensibles aux vagues de chaleurs (rupture de caténaire, dilatation des rails, impact sur les systèmes électroniques). Les effets dominos sont également à redouter du fait de la vulnérabilité du réseau électrique face à ce type d'évènements climatiques. Les impacts sur l'entretien du réseau ferré et sur la continuité de service peuvent être importants en l'absence de mesures d'adaptation au changement climatique.

Par ailleurs, **des problématiques liées à une pollution atmosphérique** en hausse pourraient survenir. Les phénomènes de pollution à l'ozone devraient devenir plus fréquents du fait des épisodes caniculaires. Cela aurait pour résultats d'amener à plus de restrictions de la circulation routière d'autant plus problématique que celle-ci a de forte chance d'arriver en été, en pleine saison touristique.

L'intensification des sécheresses est assez nette pour l'été où l'ensemble des projections s'accorde sur élévation de 1 à 27 jours à l'horizon 2050 et 3 à 25 à 2080. Ce phénomène a

pour conséquence d'augmenter les risques de mouvements de terrains provoqués par le phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le cas où la sécheresse vient après un épisode pluvieux. Bien que le risque de mouvement soit actuellement modéré au niveau du Pays d'Arles, il existe localement (Alpilles et quelques zones dans la plaine de Crau) des niveaux de risque « modéré ». L'augmentation des sécheresses peut potentiellement augmenter ce niveau de risques. En effet, même s'il est difficile d'affirmer que les pluies intenses augmenteront, elles demeureront une composante essentielle du climat du territoire. Aussi, la combinaison des facteurs « sécheresse-pluies intenses » existera et augmentera. Les dégâts causés aux infrastructures sont donc appelés à s'amplifier à l'échelle départementale, principalement à l'Est (ce qui implique des conséquences pour les transports et la logistique du Pays d'Arles interconnecté avec le réseau de transport départemental et régional) mais aussi, sur des territoires localisés, au sein même du Pays d'Arles.

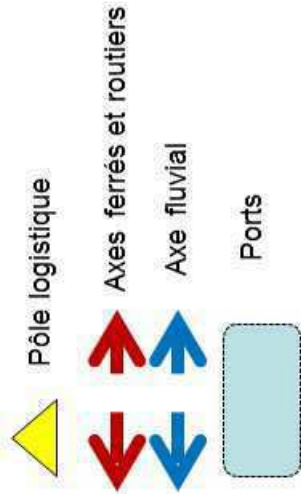
Les épisodes de précipitations intenses se produisent en automne principalement. Il nous est difficile, au vu des projections climatiques actuelles, de dégager des tendances sur ce phénomène hormis le fait qu'il y a une tendance à la hausse des pluies extrêmes automnale à partir de 2050 et surtout de 2080. Il y a donc peut être une augmentation de la vulnérabilité au changement climatique à attendre d'ici la fin de siècle. Compte tenu du fait que le risque d'inondation et de coulée de boues en lien avec les pluies intenses est aussi bien une conséquence de phénomènes climatiques que de facteurs anthropiques, on ne peut qu'affirmer que les risques pesant actuellement sur les infrastructures de transports et sur les pôles logistiques continueront de peser sur le territoire.

En revanche, **les épisodes de neige et de gel** sont amenés à diminuer. Aussi il est tout à fait probable que les problématiques de circulations liées à ces phénomènes diminueront à termes.

Synthèse et cartographie



Des infrastructures de transport performantes



Vulnérabilité au changement climatique



Les impacts sur les autres infrastructures et secteurs économiques en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Industrie chimique, agroalimentaire etc. (inondations etc.)	inondations et sécheresses				
	liés aux perturbations consécutives aux événements extrêmes				
Légende	++ augmentation -- diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elévation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertain	bonne	faible ou incertaine
		très faible	très faible	très bonne	opportunité

Les impacts sur le bâti et le cadre de vie

Synthèse : bâti et cadre de vie

- une armature urbaine diversifiée (villes et villages), un territoire étendu, compliqué et parfois coûteux à gérer
- un enjeu de gestion de la chaleur en ville, aggravé en centre-ville par les phénomènes d'îlot de chaleur urbain
- un aménagement du territoire actuellement très soumis à la prise en compte de l'aléa inondation
- des risques de tension sur les réseaux d'assainissement

Caractérisation

Le Pays d'Arles comptait près de 163 000 habitants en 2008, et montrait un taux de croissance relativement plus faible que les autres territoires méditerranéens, mais qui reste dynamique, avec 0,71% de croissance annuelle moyenne sur la période 1962-2008. La croissance démographique est plus forte au Nord qu'au Sud. Comme sur le reste du département la tendance au vieillissement est marquée. Elle sera un facteur de vulnérabilité supplémentaire au changement climatique (sensibilité aux canicules...).

L'organisation du territoire est caractérisée par un réseau de villes et de villages assurant un bon équipement en commerces et services :

- au centre la ville d'Arles, comportant équipements supérieurs (hôpital...) et services administratifs, commerciaux et de transports ;
- les pôles de Chateaurenard, Saint Rémy-de-Provence, Tarascon et Saint-Martin-de-Crau, aux vocations variées : appui à l'agriculture, tourisme culture, appui administratif, pôle commercial, logistique....
- un ensemble de villages et de bourgs offrant une forte densité de commerces et services de proximité

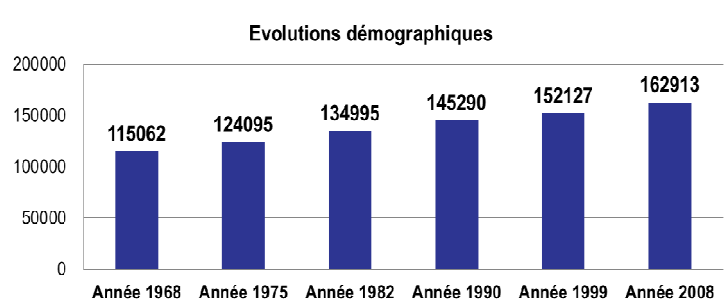


Figure 86 : Evolution de la population du Pays d'Arles entre 1968 et 2008

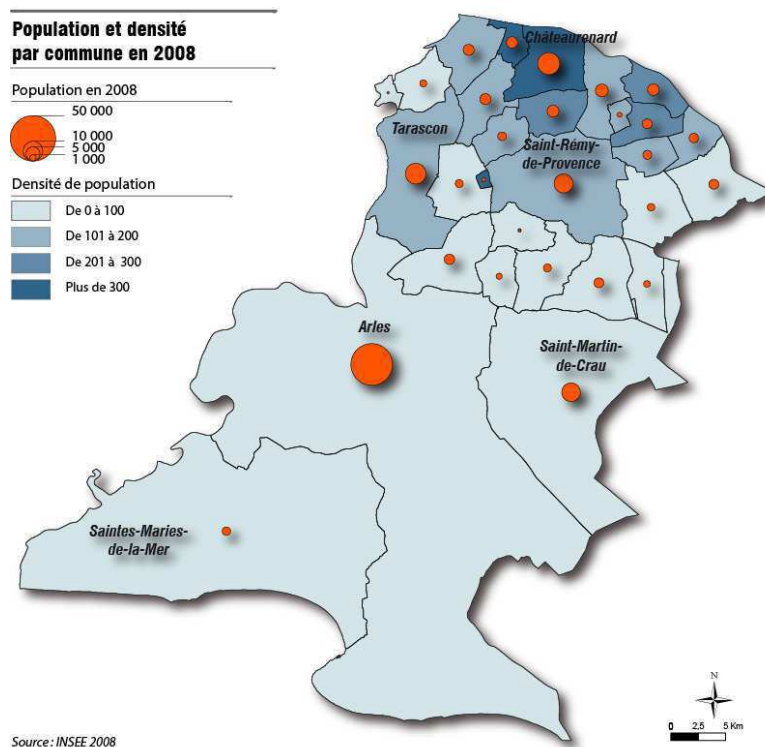


Figure 87 : Population et densité en 2008

Source : INSEE 2008

Les relations entre cadre de vie, espace bâti et changement climatique sont importantes pour le territoire : l'attractivité résidentielle et touristique du Pays d'Arles est en effet intimement liée à son environnement et à son cadre de vie.

Du point de vue de la gestion urbaine, deux éléments sont à prendre en considération :

- l'étendue du territoire et l'organisation institutionnelle. La commune d'Arles est la plus grande de France. Elle doit gérer un immense territoire, varié, soumis à de nombreuses contraintes et aux caractéristiques socio-économiques contrastées. La gestion des réseaux d'eau et d'assainissement ou de la voirie s'en trouvent singulièrement compliquées (desserte des hameaux, assainissement autonome).
- le poids des risques naturels, particulièrement inondations et submersions marines, qui constituent depuis plusieurs années une des variables déterminant l'aménagement du territoire, notamment avec l'élaboration du plan de prévention du risque d'inondation (PPRI) de la ville d'Arles

Le poids de la variable climatique sur la gestion des villes

Le risque inondation, élément déterminant de l'aménagement du territoire

Se reporter à la partie Risques, volet inondations (p87 et suivantes).

L'alimentation en eau et l'assainissement

Quantité

Aujourd'hui, il n'existe pas de problème connu de ressource en eau potable, même en période d'étiage. Les chiffres (observation des ressources de forage) montrent une certaine sécurité d'approvisionnement et même une « marge de manœuvre ». Il faut noter parallèlement que ma consommation d'eau d'une ville comme Arles est restée stable sur les 15-20 dernières années. L'essentiel de la consommation d'eau reste d'ailleurs liée aux prélèvements agricoles.

On ne constate pas non plus d'influence du tourisme estival sur la consommation d'eau d'Arles. Les 17 années de statistiques de la station de Saint Hippolyte n'ont pas permis de trouver de pointes estivales liées au tourisme à Arles (coefficient de pointe mensuel limité à 1,32 - faible) comme il peut y en avoir sur les Stes-Maries-de-la-Mer (plus de 2,5 à 3). De même, sur la station d'épuration de Montcalde d'Arles, le fonctionnement ne montre pas d'influence manifeste du tourisme et les seules augmentations de débits sont liées à la récupération d'eau d'irrigation.

Assainissement et pluvial

Les pluies intenses entraînent parfois des rejets dans les milieux, dus à la non-conformité dans les raccordements des gouttières des particuliers aux stations d'épuration. Les gouttières non raccordées, et les surfaces imperméabilisées en général, ont pour conséquence de très fortes pointes de débits dans les réseaux séparatifs eaux usées avec le risque de rejeter les eaux au milieu naturel lors des pointes de débit (arrive de façon épisodique chaque année). Ici c'est l'intensité des précipitations qui est en cause.

Par ailleurs, le territoire est marqué, notamment à Arles et aux Saintes-Maries-de-la-Mer, par une présence encore importante des systèmes d'assainissement autonomes. Diffus et plus difficiles à contrôler, ceux-ci peuvent être à l'origine de pollutions, notamment littorales, suites aux fortes pluies.

Il arrive enfin régulièrement que des eaux d'irrigation arrivent dans les réseaux d'assainissement de par le fait que les particuliers, limitrophes des zones d'irrigation, soient obligés d'évacuer les apports d'eaux en ouvrant les tampons de leurs regards privés. Ce phénomène accroît les débits sur les STEP et peut entraîner des difficultés administratives

La résolution de ces difficultés liées à l'assainissement supposerait un traitement combiné de tous les aspects de ce conflit d'usage, dans leur transversalité (urbanisme, eau, assainissement, agriculture...).

Gestion de la chaleur en ville

Les épisodes de fortes chaleurs sont également problématiques pour les zones urbanisées du fait des « ilots de chaleurs urbains ». Les villes retiennent la chaleur, ce qui y augmente la température. Il fait donc plus chaud en ville. Cela est dû à la minéralisation de l'espace (chaussées, toitures, bâtiments) qui favorise le stockage de la chaleur en journée et ralentit le refroidissement ambiant la nuit (effet d'inertie de la pierre). De plus, les activités humaines (climatisation, automobiles, productions industrielles) amplifient la température. La coupe ci-après montre très bien le « dôme de chaleur » sous lequel se retrouve le centre de Paris. Lors de la canicule de l'été 2003, l'écart entre le centre de Paris et les zones rurales environnantes a pu atteindre, la nuit, 8°C. C'est un phénomène que l'on retrouve dans une certaine mesure dans

toutes les zones urbaines fortement minéralisées. Sur le pays d'Arles, cet effet est présent dans le centre de la ville d'Arles, mais de manière bien plus modéré que dans des métropoles denses comme Paris ou Lyon.



Figure 88 : Exemple d'un îlot de chaleur urbain : Paris

Ceci concerne pour la ville d'Arles, deux problématiques spécifiques :

- la gestion de la chaleur dans les immeubles collectifs (copropriétés, HLM) de la périphérie, souvent mal isolés ;
- la conciliation de la gestion de la chaleur avec la protection du patrimoine en secteur sauvegardé (cf. encadré)

Les vulnérabilités futures

Sur la gestion de la chaleur, les projections climatiques utilisées pour le Pays d' Arles convergent sur l'idée d'une augmentation importante du nombre de jours de canicule au fil du siècle. Bien que ce risque soit relativement moins important que pour les grandes villes denses, ou pour les territoires moins « habitués » aux fortes chaleurs, il importe de s'y préparer. Ceci passe par un ensemble de mesures de long terme (végétalisation, trame verte bleue), et par des adaptations plus techniques (isolation des toitures, climatisation...).

Comment gérer la chaleur urbaine en secteur sauvegardé : l'exemple du centre-ville d'Arles

Avec un réchauffement moyen attendu entre 2 et 3%, bien plus lors d'années de canicules exceptionnelles, et encore plus si des scénarios de réchauffement climatique importants sont pris en compte, la gestion de la chaleur en ville va devenir un enjeu croissant. La canicule de 2003 pourrait par exemple être un été « moyen » en 2003.

Cette question concerne à la fois les centres villes denses, en raison du phénomène d'îlot de chaleur urbain, et des bâtis plus récents et mal isolés (tours HLM). Une des particularités de la ville d'Arles est de compter un secteur sauvegardé au titre de la loi Malraux, avec à la fois des enjeux pour les populations résidentes et touristiques. Si le bâti ancien comporte des qualités certaines (inertie thermique), cette protection patrimoniale complique cependant la mise en œuvre des mesures les plus simples pour lutter contre la chaleur : obligation de menuiseries

bois en cas de changement de fenêtre, pas d'isolation par les façades, pas de présence de blocs de climatisation...

Ainsi, s'adapter à la chaleur en ville demande dans ce cas des mesures chirurgicales qui respectent le patrimoine et même parfois améliorent le cadre de vie : plantations d'arbres et de plantes rafraîchissantes en façades, multiplication des points d'eaux et fontaines, arrosage matinal des rues en cas de forte chaleur, isolation des combles, aides particulières au changement de fenêtre.

Le risque de submersion marine va logiquement se trouver accentué par la hausse du niveau de la mer. Bien que l'érosion et les submersions soient des phénomènes naturels, le facteur humain vient ici aggraver le risque.

L'hydrologie future du Rhône, sous des hypothèses de changement climatique, reste mal connue, particulièrement pour les événements extrêmes et cumuls de précipitation susceptibles de causer des inondations. En conséquence, une marge permettant de remonter le niveau des digues a été prise par sécurité en amont des digues résistant à la surverse⁴ en cas de hausse du niveau du Rhône. La largeur des crêtes de digues a ainsi été anticipée (5,5m au lieu de 4,5m) pour permettre un rehaussement ultérieur en cas de hausse du niveau du Rhône liée au changement climatique.

Les capacités d'adaptation

Les compétences sont ici partagées entre communautés de communes et d'agglomérations et services communaux, avec une interaction fortes avec les services de l'Etat et le SYMADREM.

L'un des facteurs qui pourrait limiter les capacités d'adaptation réside dans la taille des communes (Arles), qui renchérit les coûts d'investissement et de maintenant, ainsi que dans les niveaux d'endettement, qui pourraient différer la réalisation d'investissement. Les débats sur le territoire sont par ailleurs marqués par un « dialogue conflictuel » avec les services de l'Etat, par exemple sur le risque d'inondation ou la gestion de l'assainissement. Sur l'inondation, les débats sont largement dominés par la question du PPRI d'Arles, qui empêche une vision de long terme. Quelle mise en œuvre effective de la transparence hydraulique ? Quelles autorisations de construire suite à la mise en œuvre du Plan Rhône, quelle acceptabilité du risque ? Quelle culture de la prévention ? Ces questions structureront l'avenir.

Parmi les mesures techniques et dossiers de plus long terme, on peut citer :

- la volonté (ou non) de l'Etat d'intégrer l'aspect protecteur des ouvrages (digues, déversoirs) dans les cartes d'aléas : à quelles conditions doit-on considérer que des aménagements protégés par des digues le sont effectivement (protégés), et donc autoriser à construire ? Les inondations de 1993 et 2003 ont montré que tout réside aussi dans l'entretien des ouvrages ;

⁴Différence entre les digues résistantes à la surverse (= réservoirs de sécurité) et les digues non submersibles (non résistantes à la surverse). Sur les premières, l'impact du CC sera sur la fréquence de la surverse et non sur le niveau de la ligne d'eau, ce qui ne nécessite pas de modification du dimensionnement.

- le développement des études économiques, pour mettre en regard les coûts de la protection (coûts directs, mais aussi coût du « non développement ») et les mettre en regard des dommages potentiels aux biens, afin de prendre des décisions en connaissance de cause ;
- le développement des schémas directeurs d'eaux pluviales, l'amélioration de la gestion de l'assainissement autonome (300 à 350 dossiers subventionnés par l'agglomération ACCM, diagnostics avant-vente...), le recensement et la surveillance des forages aujourd'hui non déclarés.

Les acteurs clés à mobiliser	Communautés d'agglomération, communautés de communes et services communaux (services eau et assainissement, urbanisme, patrimoine, espaces verts, prévention des risques), SYMADREM	
Les capacités actuelles (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les leviers -Les documents d'urbanisme (SCOT/PLU) -PPRI	Les freins - manque de culture du changement climatique - contraintes réglementaires (patrimoine...)
Les capacités futures (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les opportunités -achèvement du Plan Rhône - nouvelles pratiques constructives (RT 2012, référentiel BDM)	Les menaces -blocage Etat/ collectivités locales
Les pistes à approfondir	Rafraîchissement et inertie thermique des bâtiments, hors climatisation Etudes économiques	

Les impacts sur le cadre de vie et l'urbanisme en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Impact des inondations sur les infrastructures et cadre bâti	incertitude P / Pmax (intensification automne/hiver à LT) stagnation voire hausse débit Rhône/Durance/EANM				
Impact des submersions sur les infrastructures et cadre bâti	EANM, ++P, V(incertitudes)				
Risque de dégradation lié aux feux de forêt	++ T et Tmax (canicules) +++ S				
Impact de la chaleur sur le bâti (ICU) et les infrastructures (dilatation rail, tension réseau énergétique)	++ T et Tmax (canicules) +++ S				
Besoins en chauffage en période hivernale	++ T moy hivernales				
Besoins en refroidissement des bâtiments (climatisation etc.)	++T				
Dégâts causés au bâti par les mouvements de terrain (retrait gonflement argile)	Episodes de : ++P suivi de ++ S				
Perturbations de la gestion des services (transport, eau, énergie)	Canicules, S, forte P, forts V, EANM				
Légende	++ augmentation – diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P. précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Élévation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertain	bonne	faible ou incertain
		très faible	très faible	très bonne	opportunité

Les enjeux économiques et le climat

Les impacts sur l'agriculture

Caractérisation

Considéré comme le **grenier agricole du département des Bouches-du-Rhône**, le Pays d'Arles a placé l'agriculture au cœur de son développement économique et social. Les activités agricoles occupent 40% de son territoire et représente près de 50% des emplois agricoles du département. Son économie, tout comme sa renommée, repose notamment sur des productions de qualité, spécifiques aux terroirs.

Une agriculture irriguée...

Sous un climat connu pour ses sécheresses et le caractère irrégulier de ses précipitations, c'est bien le **développement d'un réseau hydraulique de grande ampleur permettant l'irrigation** qui a contribué à **l'essor agricole du Pays d'Arles**. Situé en bout de chaîne, le territoire est en effet alimenté depuis la Durance par un réseau de canaux structurants (Canal de Craonne, Canal de Boisgelin-Craonne dérivé directement du canal EDF, Canal des Alpines) puis un réseau de canaux secondaires (Canal de Haute Crau par exemple) et de filioles permettant d'irriguer de façon gravitaire une grande partie du territoire. Ainsi, près des $\frac{3}{4}$ de la surface agricole utile (SAU) seraient irrigables par ce réseau gravitaire⁵. A cela s'ajoute une irrigation active par pompage des eaux du Rhône pour les besoins de la riziculture camarguaise. Ces pompes réparties sur les deux bras du fleuve distribuent l'eau dans plusieurs centaines de kilomètres de canaux. Pour certaines surfaces agricoles du Comtat et de la Crau, non couvertes par le réseau ou dont les besoins en eau diffèrent des périodes de mise en eau des canaux, l'irrigation est assurée par prélèvement directement dans les nappes souterraines existantes (nappe de Crau et nappe durancienne). **Le système d'irrigation est couplé à un système d'assainissement très structuré** (Canal du Vigueirat, Canal de la Vallée des Baux, bassins de rétention de la Camargue etc.) qui a ouvert certains espaces à la production agricole (par assèchement des marais) et permet par ailleurs l'évacuation des excédents d'eau et le ressuyage des terres agricoles. Les canaux d'irrigation sont aujourd'hui gérés principalement par les agriculteurs regroupés en associations d'irrigants, les ASA.

Agriculture et canaux façonnent ainsi le territoire et contribuent fortement à l'attractivité et la qualité de vie du territoire. Tout déséquilibre entre l'offre et la demande en eau est susceptible de créer des impacts en chaîne (voir la partie Eau).

...et largement diversifiée

Ce système d'irrigation a permis de dépasser les contraintes géographiques et climatiques (sécheresse de la Crau, salinité des terres de Camargue etc.) en contribuant non seulement à l'amélioration des rendements de cultures à priori adaptées mais aussi au développement

⁵ (d'après le RGA-CA13, 2012).

d'autres systèmes de productions particulièrement consommatrices d'eau. L'agriculture du Pays d'Arles est ainsi très diversifiée : fruits et légumes, vigne, oliviers et céréales (blé et riz), élevage (caprin et ovin surtout) et certaines productions spécifiques comme le foin de Crau.

- **Les légumes** : salades, choux, courges, blettes, épinards, pommes de terre, tomates. Le Pays d'Arles (Comtat/Val de Durance en particulier) contribue activement à la production légumière française. Les maraîchers ont compensé les effets d'une concurrence très vive par une intensification de la production et des **cultures sous abris, serres et tunnels plastiques**.
- **Les fruits** : grâce aux températures estivales élevées, le Pays d'Arles compte aujourd'hui le plus grand verger de pêchers et de nectarines en Crau, une production dans le Comtat de poires de premier rang et de nombreuses variétés de pommes ainsi que d'autres fruits (cerises, melons, abricots...).
- **Les céréales** : Avec près de 18% de ses surfaces en grandes cultures, le Pays d'Arles fait une large place aux céréales et notamment au riz. La Camargue est la plus grande zone de culture du riz en France, contribuant ainsi à 70% de la production nationale. D'autres zones de production se situent aussi autour de la Vallée du Rhône (Tarascon et Fontvieille). **Des cultures sèches** traditionnellement adaptées au climat méditerranéen sont aussi réalisées, comme le blé dur en complément de la riziculture en Camargue, ou bien dans le Val de Durance. La non-irrigation de ces cultures les rend toutefois moins productives que dans d'autres régions françaises.
- **Prairies et fourrage** : Les surfaces de cultures fourragères et prairies⁶ occupent 22% des surfaces agricoles sur le Pays d'Arles dont environ 40% en Camargue et 25% en Crau. La Crau produit un foin d'une qualité, labellisé en AOC, recherché par les plus grands élevages de chevaux. Cultivé dans des conditions climatiques exceptionnelles, le foin de Crau tire ses particularités d'une flore variée de légumineuses et de graminées – un mélange spécifique que l'on ne trouve que dans cette partie du département – et des trois coupes par an, suivies d'un passage des troupeaux.
- **La viticulture** : La production viticole du Pays d'Arles, notamment des Alpilles mais aussi de la Camargue offre une large gamme de vins de pays, de vins de table et de vins d'Appellation d'Origine Contrôlée.
- **Olives et huiles** : Avec les vergers d'oliviers, les producteurs des Alpilles perpétuent un art ancestral chez les mouliniers, affirmant toujours un peu plus la typicité de leurs huiles classées en Appellation d'Origine Contrôlée, face aux autres huiles d'olive du bassin méditerranéen.
- **Production ovine**. La Crau offre 10 000 ha de pâtures pour l'élevage ovin traditionnel et "extensif". Regroupés en hiver dans la plaine, elles sont avant tout destinées à la production de viande Label Rouge.
- **Elevage taurin et équin**. Les taureaux sont élevés dans les manades, en Camargue, pour leur viande et pour les jeux taurins : ferrades, abrivades, courses camarguaises. Souvent associés aux taureaux, le département dispose d'un cheptel équin important, renommé pour l'élevage de la

⁶ Or prairies peu productives comme les Coussouls de Crau, servant de pâturage (Chambre d'Agriculture, 2013).

race Camargue, mais aussi par le développement et l'intégration récente de ce secteur dans l'activité agricole.

- **Elevage caprin** : Les éleveurs caprins situés principalement dans les Alpilles sont spécialisés dans la fabrication de fromages fermiers, avec notamment la chèvre du Rove et la production de brousse. Ces éleveurs vendent essentiellement leurs produits en vente directe sur les marchés ou à la ferme.

La qualité des terroirs et leur diversité sont reconnus par plusieurs signes de qualité (AOC et IGP) comme pour le vin (AOC coteau d'Aix, IGP Sable de Camargue et Vin de Pays des Bouches etc.), le riz (IGP riz de Camargue), l'huile d'Olive (AOC Baux de Provence), le foin de Crau AOC, ou bien encore les taureaux de Camargue.

Impacts des changements climatiques sur le secteur agricole

L'agriculture du Pays d'Arles est confrontée aux enjeux du changement climatique. La variation de la teneur en gaz carbonique, l'élévation des températures et des sécheresses, les modifications des régimes de pluie, le bilan hydrique qui en résulte (évaporation, ruissellement, drainage etc.), l'élévation du niveau de la mer, autant de facteurs bioclimatiques jouant un rôle prépondérant sur l'agriculture et dont les mutations à l'œuvre devraient se poursuivre.

En modifiant **les propriétés physico-chimiques de l'environnement et la disponibilité des ressources** nécessaires au maintien de l'agriculture (sols, disponibilité de la ressource en eau pour l'irrigation), en impactant **directement les productions** (variation des rendements par exemple ou dégâts aux cultures via les épisodes extrêmes), le changement climatique aura nécessairement des impacts sur le monde agricole. Ces conséquences, différenciées selon les types de culture, pourront créer aussi des effets en chaîne sur les milieux et activités du territoire.

Attention, comme pour les autres secteurs économiques, il est difficile d'étudier directement les impacts du changement climatique sur l'agriculture car les effets des changements climatiques se mêlent à ceux du progrès technologique et des changements sociaux et économiques, dont la politique agricole commune ou encore la gestion de la ressource en eau de la Durance.

En effet, le secteur agricole du Pays d'Arles est aujourd'hui confronté à de nombreuses mutations. En dépit d'une organisation relativement solide de la filière agricole, on assiste à une déprise et une restructuration agricoles importantes du fait de la pression foncière, démographique et touristique, de la concurrence méditerranéenne sur les productions (fruitières, maraîchères), des aléas climatiques tels que sécheresse, inondations, montée du niveau de la mer, tempêtes etc. (DIREN PACA, 2011).

Une vision croisée des impacts observés par le monde agricole

- **Des cultures sensibles aux événements extrêmes**

Le tableau ci-dessous récapitule les événements classés « calamités agricoles » de 2001 à 2012 en Pays d'Arles :

Année	Mois	Type	Cultures	Communes
2001	Décembre	Gel	Pépinières	Cabannes, Lamanon, St Andiol
2003	Janvier	Neige	Pertes de fonds sur Olivier	Aureille, Mouriès, Les Baux, Maussane, Fontvieille et le Paradou
2003	Eté	Sécheresse	Céréales, oléagineux, Arboriculture (pommes),	Département
2003	Septembre 22, 23	Orages	Dégâts aux sols	Arles, Fontvieille, Maussane, Le Paradou et Tarascon
2003	Septembre	Inondation	Légumes, pépinières, Arboriculture, prairies, élevage (pertes de fonds)	Département
2003	Décembre	Inondation	Légumes, pépinières, Arboriculture, prairies, élevage (pertes de fonds)	Département
2006	Mars	Sécheresse	Miel	Département
2008	Mars	Gel de printemps	Fruits à noyau	Arles, Barbentane, Boulbon, Cabannes, Chateaubernard, Eyguières, Eyragues, Fontvieille, Fos sur mer, Graveson, Istres, Maillane, Mas Blanc des Alpilles, St Pierre de M. , Noves, Plan d'Orgon, Rognonas, St Andiol, Saint Etienne du Grès, St Martin de Crau, St Rémy de Pce, Salon, Tarascon, Verquières
2008	Mai	Pluies	Cerises	Barbentane, Boulbon, Fontvieille, Graveson, Maillane, St Pierre de M. , Tarascon
2010	Janvier	Neige	Animaux, Oliviers, Légumes	Aureille, Barbentane, les Baux de Pce, Boulbon, Chateaubernard, Eygalières, Eyragues, Fontvieille, Graveson, Maillane, Mas Blanc des Alpilles, Maussane, Mollégès ,Mouriès, Noves, Orgon, Le Paradou, Pland' Orgon, Rognonas, St Andiol, Saint Etienne du Grès, St Martin de Crau, St Rémy de Pce, Tarascon
2010	Septembre	Inondation		Arles, Cabannes, Chateaubernard, Eygalières, Eyragues, Graveson, Maillane, Mas Blanc des Alpilles, Mollégès , Noves, Pland' Orgon, Rognonas, St Andiol, Saint Etienne du Grès, St Pierre de M., St Rémy de Pce, Tarascon
2011	Mars	Gel	Abricotiers (précoces)	Barbentane, Boulbon, Graveson, Maillane, St Pierre de M., St Etienne du Grès , Tarascon
2011	Juin	Pluies	Arbo (Fruits à Noyau)	Alleins, Barbentane, Boulbon, Cabannes, Charleval, Eygalières, Graveson, Mallemort, Mollégès , Meyrargues, Noves, Orgon, Plan d' Orgon, Le Puy Ste Réparate, St Pierre de M., St Andiol, St Rémy de Pce, Sénas, Tarascon et Verquières
2011	Novembre	Inondation	Arbo, maraichage	Arles, Chateaubernard, Eyragues, Fontvieille, Graveson, Maillane, Maussane, Noves, Le Paradou, Rognonas, Saint Etienne du Grès, St Marie de la M., St Martin de crau, Tarascon

Source : DDTM 13, 2012

Figure 89 : Calamités agricoles

L'ampleur des impacts dépend largement du stade de développement des plantes, du type de culture et de la nature du sol.

La reconnaissance d'une calamité agricole par le ministre en charge de l'agriculture permet une indemnisation des exploitations sinistrées par le Fonds national de gestion des risques en agriculture (FNGRA) pour les aléas considérés comme non assurables. Ces indemnités couvrent en moyenne 30% des dommages.

Les risques climatiques considérés comme assurables relèvent du secteur privé. Par exemple, pour les pertes de récolte, le risque de grêle est considéré comme assurable pour l'ensemble des productions (à l'exception des prairies). De plus, les grandes cultures et la viticulture sont considérées comme assurables pour l'ensemble des risques climatiques.

Si les calamités agricoles sont un bon indicateur pour identifier des pertes importantes pour les agriculteurs, ces listes d'événements extrêmes ne sont pas exhaustives, et ne permettent pas d'estimer le coût réel à l'échelle d'une exploitation, d'un point de vue assurantiel et du reste à charge lors d'événements majeurs.

L'impact des sécheresses

Les derniers épisodes de sécheresse sur le territoire ont causé de nombreuses pertes de rendements dans le secteur agricole :

- juin 2011 : **la sécheresse estivale** a eu un impact direct sur les zones non irrigables, et indirect sur les zones irriguées liées aux remontées d'eau salée dans le Rhône ;
- 2012 : **la sécheresse hivernale** a causé de grandes pertes de rendement sur les cultures, notamment le blé dur et les prairies.

Zoom : les critères géomorphologiques du Pays d'Arles qui accentuent la vulnérabilité du territoire aux épisodes de sécheresses

- la salinité : dans un système hydraulique agricole alimenté par pompage de l'eau du Rhône, la sécheresse a un impact direct sur la remontée de sel ;
- les sols argileux : en cas de sécheresse => sols craquelés ; en cas d'inondation => faible absorption ;
- le système géologique : le niveau du delta baisse (baisse des apports sédimentaires) tandis que le niveau de la mer monte ;
- vent : notre territoire subit fortement le mistral, qui assèche d'autant plus les terres.

Les effets d'ores et déjà observés de la sécheresse sur les cultures :

- **La riziculture** : plusieurs facteurs jouent sur le rendement du riz, dont notamment la sécheresse : d'avril à fin août (période d'irrigation) et dans l'état actuel des pompages, l'irrigation peut être compromise par le risque de pompage d'eau salée (due à la baisse du débit du Rhône et à la remontée du niveau de la mer).
- **Le blé dur** : il représente quasiment autant que le riz en surface soit 15 000 hectares annuels environ et peut être touché sévèrement par les sécheresses sur l'ensemble de la période de culture (décembre à juin).
- **Les prairies et l'élevage** : sur le territoire, elles sont liées au pâturage en majorité, même les prairies de fauches (qui en moyenne sont coupées 2 à 3 fois et pâturées sur la 4^{ème}). La sécheresse entraîne des pertes de rendement des prairies avec une difficulté supplémentaire

en juin-juillet en cas d'irrigation avec de l'eau saumâtre. La perte de rendement a pour effet une perte d'autonomie fourragère pour les éleveurs (manque de production herbagère).

- **Le maraîchage et l'arboriculture** : la sécheresse cause une augmentation de la quantité d'insectes qui piquent les fruits, avec un impact économique (dégradation de la production), sanitaire (nouveau vecteur de maladies) et « social » (rend le travail des exploitants pénible).

Les inondations intérieures et submersions marines

Les inondations, submersions marines et les pluies intenses touchent un nombre important d'exploitations, toutes productions confondues. Quasiment tout le territoire du Pays d'Arles est concerné par cette problématique. Ces événements causent des dommages aux cultures en fonction des stades de développement de la végétation concernée. Les épisodes de très forte pluie en amont (de type épisode cévenol), causent des dégâts particulièrement importants dans les parcelles se trouvant dans le lit ou à proximité des cours d'eau provoquant des inondations par débordement. Parfois ce sont les conséquences d'une pluie forte et prolongée sur les Alpilles et dans l'est du Comtat qui peuvent impliquer un débordement des réseaux hydrauliques. Les Chambres d'Agriculture du Rhône aval estiment qu'elle concerne 3000 exploitations agricoles en zone inondable sur le Rhône aval.

Les impacts sur les cultures de riz et de blé

Historiquement, l'agriculture a toujours été fortement influencée par les conditions climatiques (Seguin, 2011). La production agricole est ainsi fortement dépendante de la température, de l'ensoleillement, des précipitations et des extrêmes. Les propriétés des sols (degré d'hygrométrie, taux de salinité) tout comme les choix culturaux et pratiques agricoles (type de culture, irrigation etc.) interagissent largement avec ces conditions météo-climatiques en venant atténuer ou amplifier les effets du climat.

La riziculture camarguaise menacée par les remontées salines

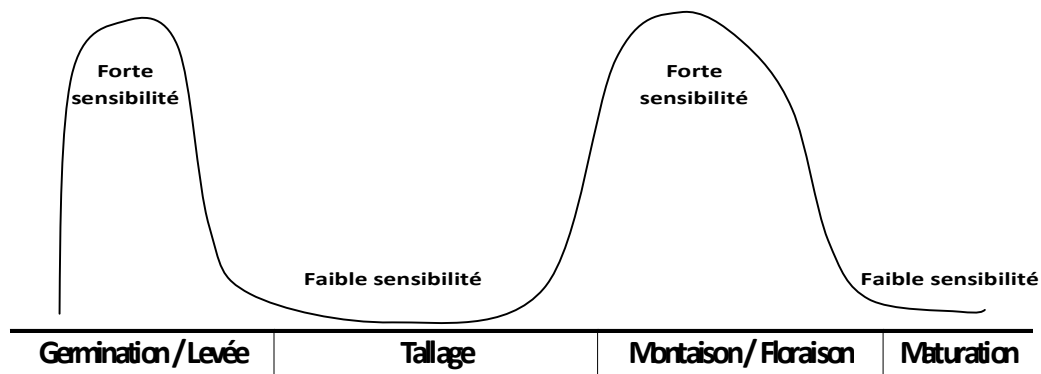
Les effets observés

La phénologie (la succession des stades de développement de la germination à la maturation en passant par la floraison) du riz dépend de la température de l'air et de l'eau et de la photopériode (le nombre d'heures de soleil par jour). Elle est aussi fonction du choix variétal et de la date de semis, autant de facteurs qui constituent aussi des leviers d'adaptation à un climat changeant.

Ainsi, à chaque phase de développement le climat influence de manière positive ou négative la croissance de la culture. La culture du riz, qui est sur ce territoire dans la limite nord de son aire d'exploitation, ne souffre pas directement des fortes chaleurs, même si à partir de 30°C, le seuil de rendement n'est plus optimal.

En revanche, elle présente une sensibilité élevée à des températures basses, notamment en période de germination et floraison, ce qui contraint de fait les dates de semis. Des températures trop basses affectent en effet la germination du riz, dont les conditions idéales se situent autour de 12-13°C. De même, la floraison est mise à mal si les températures sont inférieures à 17°C. Dès lors, pour privilégier les floraisons en juillet/début août, période de moindre risque pour la culture, on effectue les semis fin avril/début mai. La sélection variétale permet quant à elle de s'affranchir des contraintes de fin avril/début mai (Communication C.Thomas).

La culture du riz est aussi fortement sensible à la salinité de son milieu, quand bien même cette sensibilité diffère selon la variété.



Source : Centre Française du Riz.

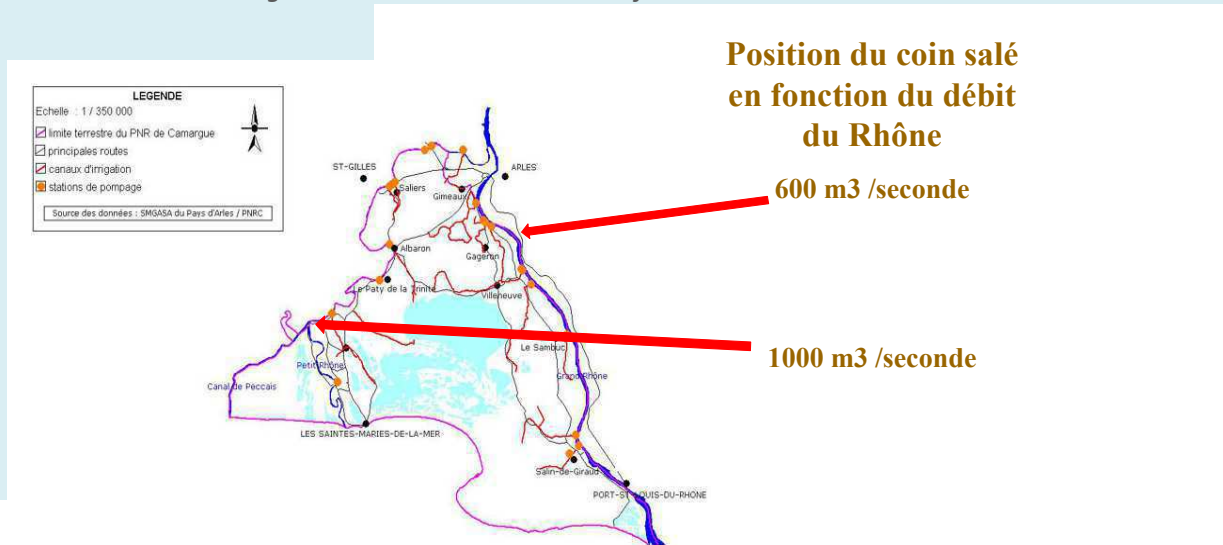
Figure 90 : Sensibilité du riz au sel selon les stades de développement

Cette sensibilité est largement conditionnée par la position géographique des cultures : l'ensemble des sols de Camargue repose en effet sur une nappe phréatique salée de faible profondeur. L'introduction de l'eau douce via les pompages effectués dans le Rhône et le réseau d'irrigation a permis d'implanter la culture du riz par inondation protégeant ainsi le sol de la salinisation⁷. **Toutefois, on observe une augmentation du taux de salinité du milieu les années les plus sèches, qui peuvent compromettre l'irrigation des terres rizicoles.**

Des problèmes d'ores et déjà récurrents de remontée du biseau salé

Une sécheresse prolongée est susceptible d'entraîner une baisse durable des débits et du niveau d'étiage du Rhône et d'accroître par ailleurs le déficit hydrique du milieu et augmenter la demande en eau des plantes.

Figure 91 : Position du coin salé en fonction du débit du Rhône



⁷ Le système de culture par inondation permet de lessiver le sel et donc de garder des sols cultivables.

Des problèmes récurrents (tous les 2-3 ans) sont constatés en fin de cycle lorsque le débit du Rhône est à son minimum : en dessous de 1000 m³/s (ce qui intervient courant/fin août) le biseau salé commence à remonter dans les deux bras du Rhône, d'autant plus si le mistral est concomitant. Cela favorise ainsi la salinisation des eaux.

Des sécheresses hivernales et printanières, comme en 2011, ont été particulièrement dévastatrices pour les agriculteurs. Les forts niveaux de sel du mois de mai (5g/litre) ont touché 2.000 ha de riz dont 600 ha ont dû être re-semés (communication C.Thomas).

Figure 92 : Impact de la sécheresse et de la salinité sur le riz, l'exemple de 2011



Les eaux pompées, de plus en plus saumâtres et drainant des polluants provenant du bassin du Rhône de façon plus concentrée (PC, métaux lourds, polluants organiques etc.) peuvent également rendre l'eau impropre à une utilisation agricole et endommager les cultures aux deux phases critiques du développement : à la germination on peut assister à des mortalités précoces et en fin de cycle, à une limitation des grains et de leur qualité.

Une baisse de la qualité est particulièrement problématique pour le riz qui fait l'objet d'une marque de qualité (IGP, riz camarguais). Cela représente inévitablement un manque à gagner pour la filière.

Impacts projetés des changements climatiques

La hausse projetée des températures minimales, moyennes, et maximales pourrait constituer une opportunité en permettant de décaler les semis au printemps⁸ jusqu'à mi-mai, maximisant ainsi les chances d'avoir des conditions idéales de fécondation.

La baisse des débits du Rhône notamment estivaux, conjuguée à l'augmentation du niveau de la mer, devraient quant à eux favoriser la remontée du biseau salé et la salinisation du milieu camarguais.

Changement des débits du Rhône et élévation du niveau de la mer : la riziculture prise en tenaille Camargue ?

Le régime hydrologique du Rhône présente en général deux maxima, en automne et au printemps, et une période d'étiage d'août à fin septembre. Le régime normal du fleuve à Beaucaire correspond à un débit compris entre 1000 et 3000 m³/s (débit moyen annuel de 1700 m³/s) ; le débit d'étiage est de l'ordre de 650 m³/s (De Montety, 2008).

⁸ Aujourd'hui il faut éviter les floraisons après le 15 août (les températures ne doivent pas être inférieures à 17°C en période de floraison)

Les projections climatiques réalisées à l'échelle du département et sur l'ensemble du Bassin Rhône-Méditerranée convergent tous vers des signes très nets d'une tendance à la **raréfaction de la ressource en eau** : augmentation des températures et renforcement de l'évapotranspiration, de la fréquence et de l'intensité des canicules estivales et automnales, baisse des précipitations estivales puis printanières (dès 2050). Tous ses signaux convergent donc vers des **conditions asséchantes** sur le bassin, avec des **sécheresses plus intenses, plus longues et plus fréquentes** (Agence EARMC, 2013).

En dépit des incertitudes et des besoins d'amélioration des connaissances autour de l'hydrologie du Rhône (communication E. Sauquet), les travaux de recherche effectués jusqu'alors montrent une relative concordance sur **une tendance à la diminution des écoulements sur le bassin du Rhône de mai à octobre**. Les forts débits printaniers seraient réduits et apparaîtraient aussi plus tôt (fonte plus précoce du manteau neigeux couplé à une diminution des précipitations neigeuses). La plus nette conclusion demeure pour l'ensemble des travaux la réduction attendue des débits estivaux ainsi que la diminution de la composante nivale dans les écoulements (Lebois, 2003, Hendrick, 2001 ; Boé 2007)⁹. L'augmentation des sécheresses et la baisse des écoulements laissent ainsi présager une augmentation des conditions favorables aux remontées salines.

A cela s'ajoute l'augmentation observée et attendue (+50 cm à horizon 2100¹⁰) du niveau marin, qui va modifier la dynamique des intrusions salines et entraîner vraisemblablement une **remontée du biseau salé ainsi qu'une inondation des zones les plus basses par la mer**, dans des proportions qui demeurent toutefois incertaines.

Si de nombreuses incertitudes demeurent sur la vitesse et l'amplitude des changements, l'ensemble des signaux observés et émergents laissent présager toutefois des conditions plus contraignantes pour la culture du riz.

Si l'irrigation et la qualité des eaux de pompage était compromise, cela entraînerait une **accélération de la remontée du biseau salé (moins recharge de la nappe) et au-delà d'une dégradation des rendements et de la qualité des cultures, une menace certaine pour la viabilité économique de cette activité**.

En plus de tous ces phénomènes physiques et climatiques probables, des éléments liés au contexte socio-économique pourraient également menacer l'activité rizicole :

. la réforme de la Politique Agricole Commune qui enlèverait toute rentabilité à la culture du riz. Chaque année les agriculteurs sèment moins de surfaces rizicoles et au profit d'une diversification avec le maraîchage (tomate sous serre) voire avec du maïs (dès lors qu'il y a possibilité d'irrigation).

. le projet Aqua Domitia de transfert des eaux du Rhône vers le Languedoc et l'Espagne qui pourrait aggraver la problématique de salinisation sur le Petit Rhône

Finalement, la question qui se pose est plus large que celle de l'avenir du riz, mais relève plutôt de **quelle agriculture veut-on / pourra-t-on pratiquer demain en Camargue dans un contexte de changement climatique ? Veut-on une agriculture industrielle au milieu de nos paysages camarguais ? Les nouvelles cultures choisies seront-elles compatibles avec les changements climatiques locaux et la raréfaction de la ressource en eau** (à condition que la gestion de l'eau

⁹ Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée, 2013.

¹⁰ Hypothèse retenue pour l'étude à partir des travaux du GIEC, 2014.

puisse toujours être menée : une irrigation d'hiver est techniquement possible pour désaliniser les sols et faire des cultures plus sèches, et on reviendrait vers un équilibre hydrologique plus naturel)? **Certains espaces seront-ils re-naturalisés au profit du maintien de la biodiversité** (cf. *baisse des surfaces agricoles au profit de la chasse et de l'élevage* ? Autant de choix qui relèvent de l'aménagement global du territoire, et de l'avenir des exploitations agricoles et des paysages de Camargue (voir également Partie « Milieux naturels »).

Les fortes précipitations ont également des impacts en cours de culture, sur fin de cycle ou pré-semis. Il n'est pas toutefois pas possible de tirer des conclusions sur l'évolution des précipitations intenses en période de culture du riz.

Le blé, menacé notamment par les inondations

La culture du blé dur en pluvial est principalement réalisée en complément de la riziculture comme en Camargue ou dans le Val de Durance. Elle intervient donc essentiellement de l'automne au printemps. Elle impose un assèchement et un drainage du sol pour permettre la mise en culture. L'évacuation des eaux excédentaires s'effectue au moyen de stations de pompes qui renvoient l'eau vers les canaux de drainage qui fonctionnent de manière gravitaire et renvoient l'eau vers la Mer.

La culture du blé est particulièrement affectée en période de mise en culture par **le risque inondation** provoqué par des précipitations locales extrêmes, des crues du Rhône ou de la Durance et amplifié lors d'épisodes de surcotes marines et de fortes houles qui bloquent l'évacuation des eaux vers la Mer et aggrave l'aléa. Ces épisodes d'inondation des cultures sont provoqués par la saturation des eaux des sols, la plupart des zones de culture constituant par ailleurs des champs naturels d'expansion des crues mais aussi par des défaillances des ouvrages de protection ou la saturation des eaux des stations de pompage. L'imperméabilisation des sols accroît le ruissellement et tend à amplifier le phénomène jusqu'à l'exutoire. Lors d'épisodes de surcotes marines et de forte houle, le risque d'inondation littoral est accru par la submersion des digues qui protègent les terres. La montée du niveau de la mer observée rend aussi de plus en plus difficile l'évacuation des eaux d'inondation.

Le changement climatique ne devrait pas réduire le risque de précipitations extrêmes automnales (une augmentation des précipitations intenses les plus fortes étant observées et projetées) et le niveau de la mer continuera à augmenter. Si des incertitudes entourent les impacts du changement climatique sur l'hydrologie du Rhône, elle-même fortement conditionnée par le devenir des usages, il est possible de penser que l'occurrence et l'intensité des crues pourrait ne pas faiblir. **Le risque d'inondation serait donc toujours présent. Cela devrait se traduire par l'augmentation des difficultés de drainage des terres agricoles et des dégâts aux cultures récurrents en l'absence d'adaptation.**

On observe par ailleurs une accélération du cycle des plantes directement liée à l'augmentation des températures moyennes et les moissons du blé ont avancé de l'ordre de 20 jours en moyenne depuis les années 80, quelle que soit la région considérée (INRA, 2007). Un plafonnement des rendements du blé a été constaté, en raison de sa sensibilité à l'échaudage (à partir de 25°C de température maximale) et de la détérioration de son confort hydrique (INRA, 2007).

En ce qui concerne plus particulièrement le Pays d'Arles, on devrait donc aussi assister à une légère **diminution du rendement du blé en culture pluviale, du fait d'une dégradation du stress hydrique et de l'augmentation attendue des sécheresses printanières**. Aucune tendance ne semble se dessiner par ailleurs quant à l'évolution des sécheresses hivernales. L'absence de signal appelle donc toutefois à la plus grande vigilance d'autant plus que la variabilité interannuelle (succession d'années sèches et d'années humides) pourrait ne pas faiblir. Si cette tendance se confirmait, les cultures pourraient donc souffrir plus amplement des sécheresses, notamment hivernales. Seule l'introduction de l'irrigation permettrait d'augmenter le rendement de la culture.

Maraîchage et arboriculture affectés par la hausse des températures

L'impact des hivers doux est constaté à la fois sur les cultures **maraîchères et sur l'arboriculture**. Les températures plus douces ont pour effet d'accélérer le développement des plantes, en influençant plusieurs processus : photosynthèse, extension de la surface foliaire, évapotranspiration (Maracchi et al, 2005).

Une accélération du développement des plantes

Une analyse de données acquises sur les 20 ou 30 dernières années (rassemblées dans la base de données Phenoclim) a permis de constater une avancée des dates de floraison des arbres fruitiers quels que soient les espèces et les sites (y compris des espèces à feuilles persistantes comme l'olivier).

Les avancées de la floraison apparaissent assez proches et cohérentes pour l'ensemble des espèces fruitières et des régions. Le phénomène n'a pas été graduel : une étude statistique sur quelques longues séries a permis de mettre en évidence une rupture autour des années 89-90. À titre d'exemple on peut estimer pour l'abricotier que l'avancée moyenne de la floraison se situe entre 10 et 20 jours sur les 20 dernières années dans le sud-est de la France.

Source : INRA, 2003

Cette avancée de la phénologie peut avoir des conséquences sur la commercialisation. Les hivers doux ne permettent pas une production linéaire sur l'année : un « coup de chaud » peut entraîner une maturation précoce et de masse des salades (comme en 2011) avec une partie de la production qui ne trouve pas acheteur (communication A.Vadon).

Même scénario pour les producteurs de poires qui constatent que les décalages de début de cycle (retard ou avance lors de la floraison) qui se rattrapent habituellement en fin de cycle, ne se réajustent plus à la fin, ce qui pose de problèmes en termes de commercialisation. C'est par exemple le cas de la Poire Guyot commercialisée normalement vers le 14 juillet, qui du fait de ce décalage rentre en concurrence avec les autres régions de production (communication J.Mazely).

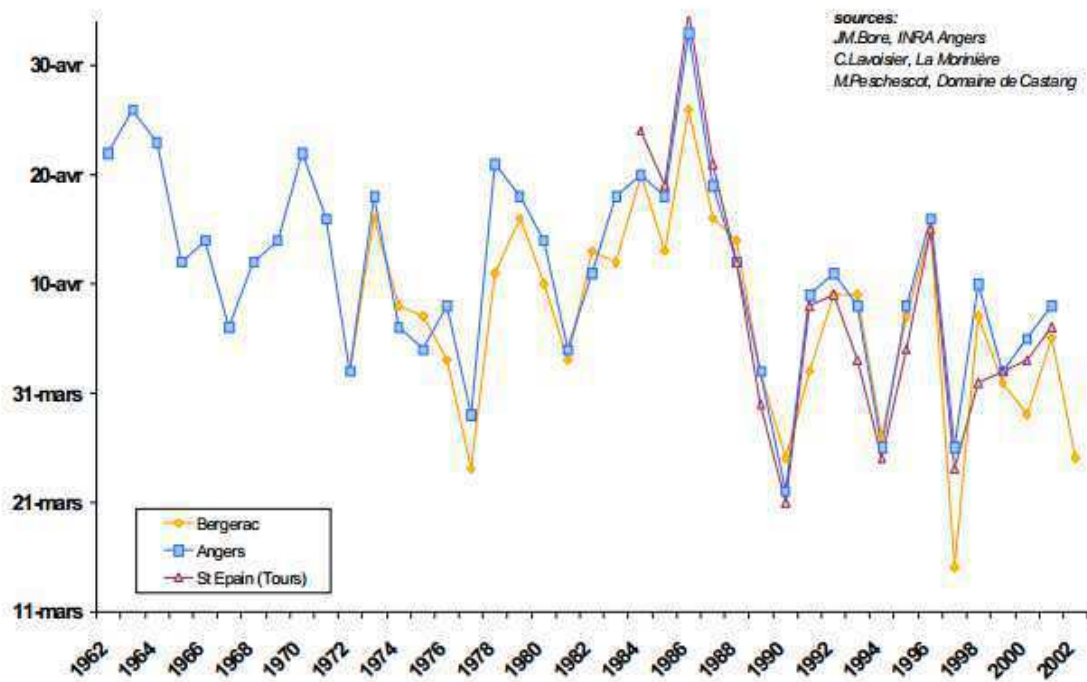


Figure 93 : Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962

Source : INRA.

Enfin, les arbres fruitiers ont également besoin de conditions spécifiques pour bien produire l'année suivante : des hivers doux peuvent avoir un impact sur la remise en production des vergers et même entraîner des générations successives de ravageurs.

L'augmentation des températures minimales, moyennes et maximales en toute saison devrait vraisemblablement accroître et amplifier les impacts observés sur les cultures.

La hausse des températures affectera les arbres fruitiers

Les chercheurs de l'INRA en collaboration avec l'Institut National d'Horticulture ont étudié l'impact que pourrait avoir le changement climatique sur la production des abricots et, plus globalement des arbres fruitiers, notamment grâce aux observations rassemblées dans la base de données Phénoclim.

Avec un prolongement de la hausse des températures deux principaux problèmes peuvent se poser :

- Une mauvaise pollinisation des fleurs due à mauvaise concordance entre les époques de floraison entre fleurs à féconder et variété pollinisatrice. On a ainsi pu voir en février 2001 (l'automne-hiver 2001 ayant été particulièrement doux), des arboriculteurs prélever dans la Drôme des rameaux d'une variété d'abricot en fleurs, afin de polliniser une variété du Gard qui avait fleuri beaucoup plus tard que ses pollinisateurs habituels.
- Des dégâts par le gel printanier, la floraison ayant lieu plus tôt dans l'année, à des périodes où les gels nocturnes sont particulièrement fréquents.

Par ailleurs l'augmentation des températures durant la période de dormance (phase dite de satisfaction de "besoins en froid") pourrait être à l'origine d'une augmentation de l'intensité de nécroses physiologiques touchant les ébauches florales et ainsi réduire excessivement l'intensité de la floraison.

Source : INRA, 2003 et INRA, 2007 dans Etude de vulnérabilité au changement climatique du territoire des Bouches-du-Rhône, Conseil Général 13.

Si l'irrigation limite actuellement l'impact des sécheresses sur les productions légumières et maraîchères, l'augmentation attendue des sécheresses (plus intenses, plus fréquentes et plus longues) et l'accroissement potentiel des besoins des cultures (augmentation de la demande en eau et évapotranspiration accrue), posera nécessairement la question des conflits d'usages sur la réserve agricole de Serre-Ponçon (pour plus de détails voir la partie « Ressource en eau » p.... **En cas de non satisfaction des besoins en eau, les productions seraient fortement impactées :** arrêt des cultures de plein champs ou sous-serre, dégradation des productions des vergers type abricotier, poirier (calibre des fruits insuffisants pour être commercialisé). **Pour les cultures pompant l'eau directement de la nappe de la Crau, toute diminution significative de la recharge de la nappe aura des répercussions sur l'irrigation des vergers. En cas de baisse de la recharge, la qualité de l'eau sera dégradée et la salinité augmentera très vite ce qui rendra de fait, l'eau résiduelle impropre à l'irrigation des cultures. De même, le niveau bas de la nappe ne permettra plus la satisfaction des usages.**

L'augmentation des extrêmes rend également la gestion des cultures maraîchères et arboricoles plus difficile et plus coûteuse. Le **gel** peut occasionner des dégâts s'il survient tardivement (lorsque les bourgeons sont en cours d'éclosion). **La neige et la grêle** ont des impacts importants sur les serres et les arbres fruitiers. Certains exploitants ont observé une rupture dans l'intensité (2011) et la survenance des événements de grêle (qui survient désormais la nuit).

Si les projections climatiques s'accordent sur des hivers plus doux et la disparition du nombre de jours de gels, l'éventualité de gels tardifs n'est pas à écarter. Mais c'est surtout l'avancée de la phénologie des plantes qui les rendra plus vulnérables au risque de gel résiduel. Si les épisodes

de neige devraient devenir moins fréquents, il n'est pas possible de tirer de conclusion quant aux phénomènes de grêle.

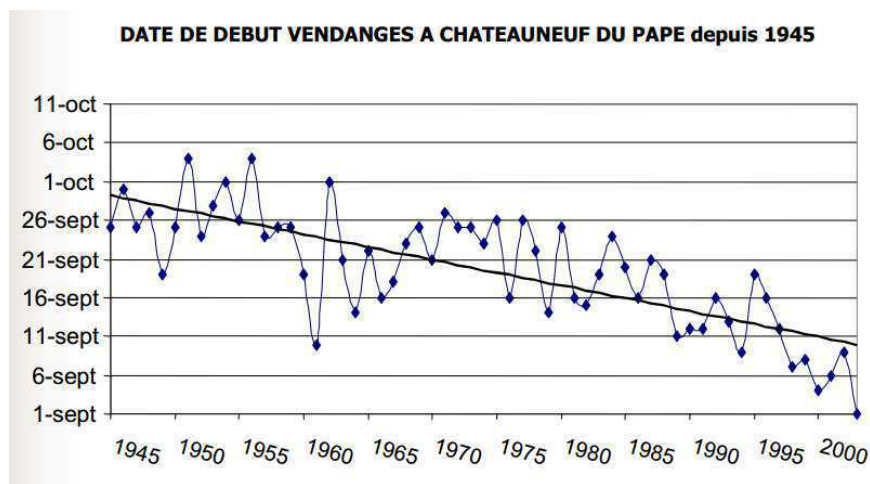
Le cas particulier des cultures en AOC : vigne, olive, foin de Crau

Une réelle problématique est aussi celle de la pérennité des AOC. En impactant la qualité des productions, et en modifiant potentiellement les techniques de production, le changement climatique pourrait remettre en cause certaines cultures de qualité fortement dépendantes de leur terroir.

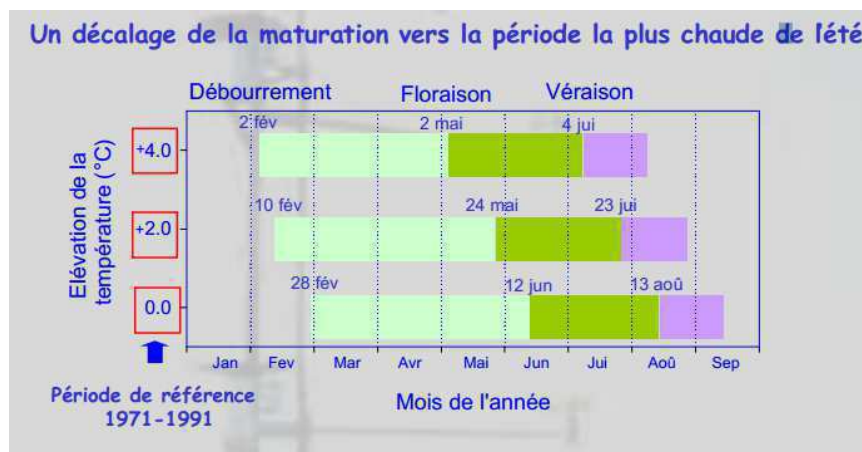
Le cas des productions viticole et oléicole

Pour la viticulture comme pour l'oléiculture, les analyses phénologiques montrent des **avancements significatifs de stades de développement** (environ 30 jours pour la date des vendanges).

Figure 94 : la modification des stades phénologiques, l'exemple de la vigne.



L'exemple de la phénologie du Syrah dans la région de Montpellier



Source : INRA

On observe également un avancement de la date de récolte des olives d'environ 3 semaines depuis une dizaine d'années-(communication N.Galand).

Pour la vigne, l'augmentation de la température s'est aussi accompagnée d'une augmentation de **la teneur en alcool du vin** (1 à 2 degrés). La poursuite de l'augmentation des températures pourraient poser de graves problèmes aux viticulteurs pour garder notamment la typicité de

leurs productions. En effet une augmentation trop importante du degré alcoolique entraînerait une chute de la qualité des vins. Se posera donc la question du déplacement potentiel des cépages avec l'ensemble des questions relatives aux productions liées au terroir (AOC) (Seguin, 2007).

Outre l'augmentation des températures, les cultures sèches (olive et vigne) pourrait souffrir de l'augmentation et de l'allongement des périodes de sécheresses. Se poserait alors la question de la mise en irrigation pour préserver la qualité des cultures. Cela pourrait paradoxalement remettre en cause la typicité de certains paysages ainsi que la qualité même du terroir. En effet, les critères AOC n'autorisent pas toujours la mise en irrigation, sauf en cas de sécheresse prolongée. Certains terroirs des Alpilles, difficilement accessibles et irrigables, pourraient souffrir durablement des sécheresses et être abandonnés. Comme pour les cultures arboricoles sèches (amandiers, abricotiers etc.), l'introduction de l'irrigation pour les cultures sèches liées aux productions AOC d'olive et de vin posera ici encore des questions en termes de satisfaction des besoins, dans un contexte de raréfaction de la ressource en eau sur le bassin Durance-Verdon. La qualité globale de chaque terroir est d'ores et déjà pénalisée par les changements climatiques. Chaque AOC devra réviser son cahier des charges à l'avenir, ce qui ne se fera pas sans heurts...

Le cas de l'AOP Foin de Crau

Le foin de Crau représente 100 000 tonnes de fourrages, 8 à 9 tonnes par hectares, destiné à la commercialisation : il y a très peu d'autoconsommation. Il profite à des élevages de qualité (chevaux auprès desquels la récolte de la 1^{ère} coupe est bénéfique) puis à des élevages de moutons (qui bénéficient de la 3^e coupe). Il y a très peu de consommation locale de foin (ici les animaux sont dehors toute l'année). Traditionnellement il y a donc une commercialisation qui génère de la plus-value et des emplois – indirects / directs.

Les prairies de la Crau sont en majorité destinées à la production de l'AOP « Foin de Crau ». Le rendement est limité par décret à 10t.ha⁻¹ en trois coupes. Le décret stipule également que ces prairies doivent être irriguées par submersion à partir des filioles tous les huit à douze jours selon la répartition des tours d'eau (Oliosio et al., 2013). Les volumes d'eau apportée proviennent en grande majorité des eaux importées de la Durance, la pluviométrie ne contribuant qu'à une faible partie des apports. 70 à 90% de l'eau apportée par l'irrigation des prairies est restitués au milieu naturel (Saos et al. 2006, Oliosio et al., 2013) et notamment à la nappe de Crau. La culture du foin de Crau est donc fondamentale dans le maintien des activités qui exploitent la nappe (Eau Potable, Industries, Agriculture etc.) et dans le maintien de cet écosystème spécifique.

Plusieurs travaux de recherche menés notamment par l'INRA ont tenté de comprendre l'impact du changement climatique sur les rendements des prairies. Récemment, les travaux réalisés dans le cadre du projet Astuce et TIC (voir aussi partie « ressources en eau ») ont permis de modéliser plus finement des scénarios d'impact du changement climatique sur la production des prairies de Crau et le bilan hydrique de la nappe à l'horizon 2030. Les résultats du projet (présentés dans Oliosio et al., 2013) sont synthétisés ici en s'intéressant plus particulièrement aux répercussions pour la productivité et la qualité de l'écosystème.

La modélisation de la productivité de la prairie se base sur un certain nombre d'hypothèses à savoir :

- une augmentation des températures et de l'évapotranspiration ;
- une diminution des surfaces en prairies irriguées de 6 à 11% ;
- une hypothèse de baisse des volumes disponibles pour l'irrigation de 30% mais un volume d'eau final qui reste plutôt constant par rapport à l'actuel compte tenu du report des eaux des surfaces supprimées vers les surfaces irriguées ; les tours d'eau sont aussi ajustés.

Il résulte de ces hypothèses plusieurs impacts pour la culture du foin de Crau.

L'augmentation des températures devrait accélérer le développement des plantes et avancer de plus en plus tôt la date de la première coupe du Foin. Dans une période proche, cette date est fixée à courant mai ce qui n'est pas problématique. En revanche, à plus long terme, elle devient moins compatible avec la régulation de l'AOC qui définit une date de première coupe courant mai.

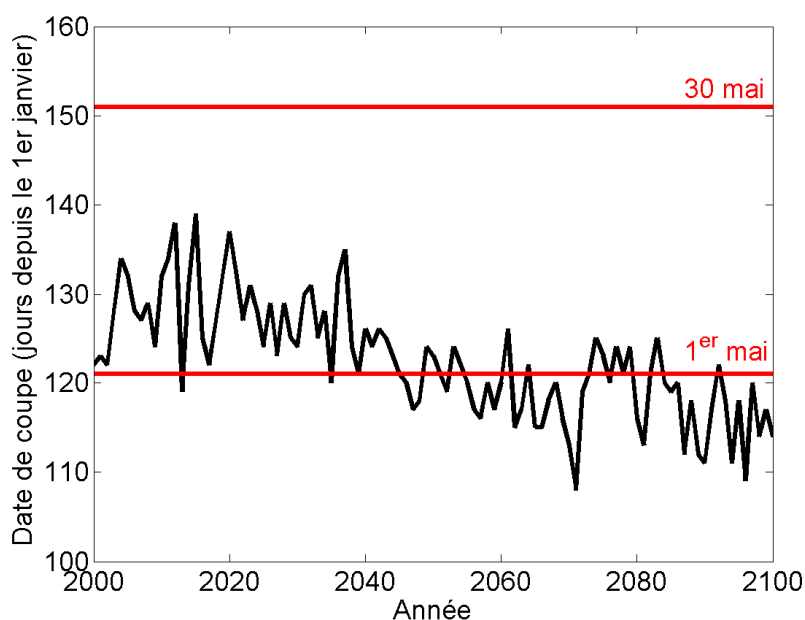


Figure 95 : évolution de la date théorique des premières coupes en fonction des évolutions climatiques (température uniquement) simulées selon le scénario climatique A1B (les données avant 2010 proviennent de la station météorologique du domaine du Merle).

Source : Olios, 2013.

Toutes les projections confirment **une hausse des rendements** dans le futur proche (2025-2035) sous l'effet direct de l'augmentation des températures et de l'effet CO₂. Cette augmentation est soumise à une disponibilité en eau suffisante, ce que confirment par ailleurs les résultats de recherche précédents (INRA, 2007).

Dans le cadre d'Astuces et TIC la production est sensible à la baisse de la ressource hydrique mais 30% de baisse de l'irrigation ne la réduit que d'environ 7%. Ces résultats ne doivent pas faire oublier l'hypothèse sous-jacente selon laquelle l'apport en eau serait finalement constant au niveau parcellaire en raison d'une diminution projetée du nombre de parcelles. En revanche, si une baisse de la disponibilité hydrique et une amélioration de la gestion de l'eau permettrait de maintenir la production du foin, la baisse de la disponibilité en eau affectera largement la recharge de la nappe.

Aussi, l'impact d'une **sécheresse prolongée avec une rupture d'approvisionnement** en eau en période estivale du fait d'une tension toujours plus forte sur la ressource, pourrait fortement remettre en cause les effets bénéfiques envisagés (voir ci-après). Cela devrait par ailleurs favoriser la remontée du biseau salé, même si aujourd'hui le phénomène est encore mal connu au niveau de la nappe de Crau.

De même, l'augmentation des périodes de sécheresse au printemps pourrait constituer un stress supplémentaire sur les prairies.

Des élevages touchés par les canicules et les inondations

Les impacts des canicules sur l'élevage sont nombreux : impact sanitaire (maladies à vecteurs telle que Blue tongue), modification des saisons de pâturage (manque de fourrage et perte d'autonomie fourragère), réduction de l'ingestion et de la production des ruminants (Soussana). Une accentuation spécifique de la morbidité et de la mortalité peuvent apparaître consécutivement aux épisodes de canicule.

Les épisodes de canicules ont un impact principalement concentré sur les élevages du fait de la dégradation des pâturages et des fourrages, aliments principaux des élevages. Il en résulte un surcoût pour les agriculteurs qui doivent alors importer les aliments nécessaires à leurs cheptels. Des dispositifs aident les agriculteurs à acheter l'alimentation de substitution nécessaire lors du manque de fourrage.

L'impact des sécheresses sur les ressources fourragères

- **Alpilles** : des pressions sont exercées sur la colline où des problèmes de ressources liées aux sécheresses d'hiver et de printemps aggravent les tensions entre agriculteurs car les éleveurs manquent de ressources. L'achat de foin est aussi devenu plus cher. Le changement climatique exerce alors une pression supplémentaire sur un territoire déjà sous tension (morcellement parcellaire sur colline), conflits d'usages entre pastoralisme et chasseurs (communication N. Galand).
- **Coussouls de Crau** (Extrait de Oliosio et al., 2013) : il faut noter que l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle pourrait affecter très significativement le bilan hydrique des zones steppiques, avec une nette augmentation du déficit hydrique climatique, probablement en partie compensée par une baisse des drainages à l'échelle annuelle. Il n'est pas possible dans l'état de nos travaux de se prononcer sur l'impact de ces modifications climatiques sur le devenir de la production de biomasse de cet écosystème. L'augmentation du déficit hydrique pourrait se traduire par des modifications de la composition floristique, les herbacées annuelles étant alors mieux adaptées que les espèces pérennes, mais de telles évolutions n'ont pas été relevées en Crau.

A noter par ailleurs que les élevages peuvent être fortement impactés par les inondations : **manque de fourrages, déplacements massifs de troupeaux** comme ce fut le cas lors des inondations de 2003.

Les impacts sur le système de gestion de l'eau

L'enjeu majeur reste certainement celui de la ressource en eau face au changement climatique.

Les coûts d'adaptation du système de gestion (irrigation et drainage) à la nouvelle donne climatique (sécheresses et inondations), supportés aujourd'hui essentiellement par les agriculteurs, risquent d'être particulièrement élevés.

Au regard des multiples fonctionnalités de ce système sur le pays d'Arles (écosystèmes, eau potable, lutte contre les inondations), les impacts du changement climatique suggèrent que la prise en charge de ces coûts soient repensés de manière plus transversale, sous peine de pénaliser fortement le monde agricole.

Au-delà de l'adaptation des modes de gestion actuels, le monde agricole doit aussi s'interroger sur la pérennité à long terme de son modèle agricole et réfléchir dès aujourd'hui à la mutation de ses espaces vers de nouvelles cultures et fonctionnalités. **Le modèle agricole du Pays d'Arles d'aujourd'hui apparaît peut résilient dans le contexte de demain, caractérisé par des ressources moins abondantes et des tensions croissantes.**

Les capacités d'adaptation du monde agricole

Le monde agricole s'est toujours adapté aux évolutions climatiques. Il dispose par ailleurs, sur le territoire et au-delà, de nombreuses ressources techniques qui l'aideront à s'adapter (centre français du riz, INRA, IRSTEA...). Les capacités d'adaptation peuvent s'analyser de trois manières : par les adaptations techniques spontanées propres à chaque culture, par une réflexion plus globale sur l'optimisation de la gestion de l'eau, enfin par une interrogation sur l'évolution des modèles agricoles.

Des adaptations spontanées des différentes cultures

Riziculture

Des adaptations spontanées concernant la riziculture sont observées mais les agriculteurs disposent tout de même de marge de manœuvre limitées : arrêter d'arroser contraint à augmenter la salinité du sol et l'arrosage par de l'eau saumâtre augmente aussi la salinité. On peut vider ponctuellement la rizière mais en cas de sécheresse prolongée, des mortalités précoces sont quasiment inéluctables. Un suivi hebdomadaire permet de surveiller l'évolution de la salinité (de juin à fin août). La salinité est à la fois mesurée dans les eaux de surface (rizière, canaux d'irrigation, fossé de drainage) et dans les sols.

Plusieurs programmes de recherche visent en parallèle à étudier les comportements des différentes variétés face à la salinité du milieu (Communication C.Jarny). On recherche des variétés à cycle plus court et faisant l'objet d'une bonne adaptation au milieu salé. Une station pilote d'évaluation variétale est située à Fourques. Des techniques plus économes en eau avec une mise en eau décalée dans le temps sont aussi envisageables, mais sur des surfaces limitées.

Culture du blé

La mise en eau hivernale des cultures céréalières (blé dur) s'observe depuis quelques années. C'est un phénomène qui devrait se développer. Une augmentation du rendement pourrait avoir lieu seulement avec l'introduction de l'irrigation.

Cultures maraîchères

Des adaptations techniques existent à l'échelle de l'exploitation (filets para-grêles) et pour la profession (système Prévigrêle, canon à ondes magnétique en projet à Tarascon), elles sont coûteuses et demandent une aide financière des pouvoirs publics (communication J.Mazely).

Viticulture

Mettre en place un système d'irrigation coûte cher. Pour une utilisation très ponctuelle (les années les plus chaudes/ sèches), l'investissement ne se justifie pas forcément. Mais la viticulture dispose d'autres pistes pour pallier au manque d'eau : la sélection variétale, la gestion technique de la feuille... D'autres solutions sont à l'étude pour contrôler la question du besoin en eau. La vigne est l'objet de nombreuses recherches pour tenter de pérenniser la production et la qualité du vin français (Source : d'après Iniaki GARCIA DE CORTAZAR, INRA Avignon, 2012).

Elevage

En Camargue, les éleveurs ont dû rechercher des terres de repli pour les cheptels lors des inondations de 2003, avec des questions de logistiques (besoin de camions). Les éleveurs recherchent aussi de l'autonomie fourragère afin de réduire la vulnérabilité des cheptels à la volatilité des prix des aliments.

La contribution de l'agriculture à une évolution de la gestion de l'eau

La gestion des canaux d'irrigation face au changement climatique, l'exemple des Arrosants de la Crau

L'élaboration du contrat de canal de la Crau a permis une ambitieuse démarche de concertation de ses différents membres (ASA et ASL). Il a proposé une charte d'objectifs et souhaite désormais financer une partie de ses actions.

Avec le changement climatique, les irrigants vont en effet être soumis à un effet de ciseau : baisse de la ressource de la Durance en été et augmentation de la demande en raison des sécheresses locales, des températures plus élevées et d'une évapotranspiration plus importante

La gouvernance est assez bonne (bonne gouvernance de l'eau, avec la commission exécutive de la Durance, le contrat de canal, la fusion/jumelage/rapprochement en cours des ASA et ASL, le système de gestion de crise, la volonté de maîtrise quantitative des apports d'eau), avec cependant un verrou financier.

Les actions comportent trois volets :

- **Réactivité et gestion de crise.** Le contrat de canal utilise déjà des outils assez performants (données climatiques, SIG...). La commission exécutive de la Durance (CED) a mis au point un protocole de gestion de crise. Sont mobilisées notamment les données d'EDF (précipitations et neige passées sur le bassin versant de la Durance) qui permettent de faire un état prévisionnel de la ressource, de quelques jours à quelques semaines, et de fixer des alertes. Les dispositifs d'anticipation ont largement progressé depuis les sécheresses de 1999 (et de 2007). En période de crise la CED se réunit toutes les semaines, et EDF peut désormais si nécessaire mobiliser ses données tous les 15 jours, voire à la semaine. Un plus local serait cependant intéressant.
- **La maîtrise des quantités d'eau d'irrigation.** Avec une bonne gestion, l'arrosage peut

passer de 30 000 m³ par an et par hectare à 13 000 m³ (c'est un exemple). Il y a donc une vraie marge de manœuvre pour modérer les effets de la baisse de la ressource. Cela demande d'aménager les parcelles, de mieux contrôler le réseau (fuites, heures de fermetures des martelières, etc.). Si la ressource venait à baisser, les mesures nécessaires seraient une meilleure régulation des canaux, une maîtrise technique du contrôle de l'eau (vannes et martelières, automatisation, procédures...), une meilleure économie à la parcelle, avec une meilleure définition des protocoles d'irrigation : mieux répartir les volumes selon les saisons (surarrosage au printemps pour préparer l'été...).

A noter que la création d'un immense bassin de rétention permettant de jouer le rôle de tampon dans un sens ou dans un autre a été décidé (au centre des canaux, voire carte), ce qui pourrait grandement simplifier à la fois la gestion des crues et des sécheresses.

Source : entretien ASCO des Arrosants de la Crau

A la nécessité de réfléchir au modèle de demain

L'ensemble du système agricole de notre territoire fonctionne grâce à un réseau d'irrigation gravitaire séculaire. En outre, notre territoire est en situation de « péninsule hydraulique », c'est-à-dire en fin de réseau pour ce qui concerne son alimentation en eau.

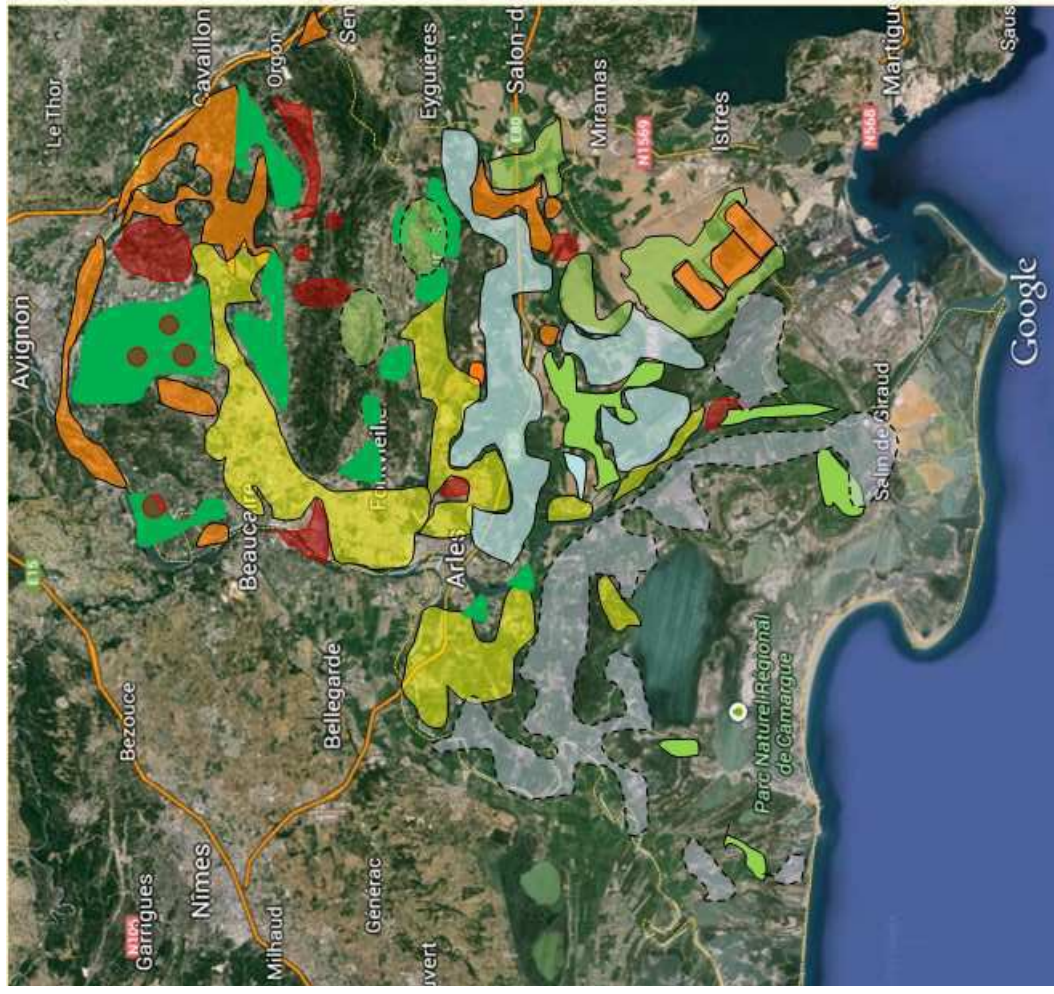
Les nombreuses difficultés qui se poseront à l'avenir sur certaines filières agricoles, couplées à une gestion de l'eau compliquée par la raréfaction de la ressource, poseront la question de la pérennité de certaines cultures, tant au nord du territoire qu'en Camargue.

Les alternatives pour le territoire seront de plusieurs ordres:

- leur remplacement par d'autres cultures : retour vers des cultures au sec telles que l'olivier (qui a déjà connu une forte croissance en Crau il y a 15 ans) ou l'amandier (marché de niche), ou le maraîchage / arboriculture (comme on le voit déjà en Camargue)
- voire de la « renaturalisation » de certains espaces.

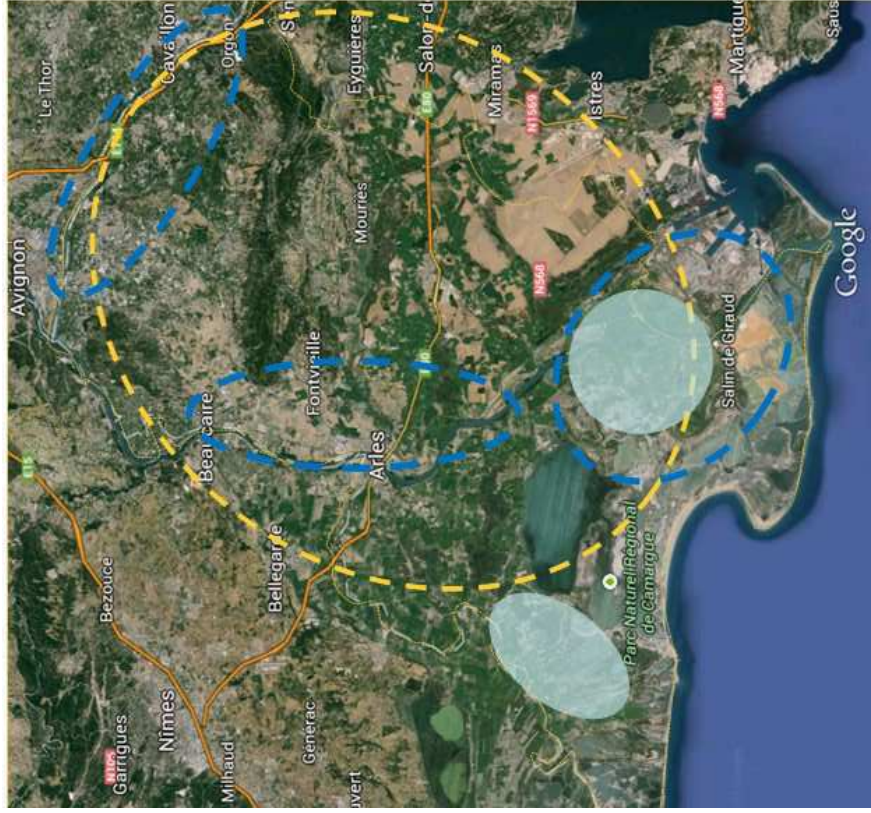
L'ensemble de ces choix devront se faire avec l'ensemble des acteurs du territoire.

Synthèse et cartographie



Une grande variété agricole

- Vignobles
- Vergers et petits fruits
- Pelouses et pâturage naturels
- Zones avec serres
- Rizières
- Terres arables et serres
- Culture annuelle permanente



Impacts sur le secteur



Agriculture fragilisée par les changements climatiques (phénologie, chaleur, sécheresse.)

Riziculture et blé dur fragilisés par biseau salé

Risques physiques submersions et inondations

Les impacts sur l'agriculture en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climats/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Dégâts aux cultures liés aux grands froids (gel, gel tardif etc.)	++ T _{min} hivernales et printanières Incertitude variabilité interrannuelle				
Dégâts au cultures liés aux sécheresses et baisse des apports en eau d'irrigation (Comtat/Alpilles/Crau etc.)	++ T et T _{max} (canicules) -- P estivales, ++ S ++S sol / incertV / ++FM				
Dégâts liés aux cultures liés aux sécheresses et remontée saline (riziculture/blé)	incertitude P / P _{max} (intensification automne/hiver à LT) stagnation voire hausse débit Rhône/Durance/EANM				
Dégâts aux cultures liés aux extrêmes de P et aux submersions (Camargue/blé, Alpilles/Durance/Comtat)	incertitude P / P _{max} (intensification automne/hiver à LT) stagnation voire hausse débit Rhône/Durance/EANM				
Vulnérabilités des élevages aux fortes chaleurs (manque de fourrage)	++ T et T _{max} (canicules), -- P estivales, ++ S				
Modifications phénologie (événements précoces et tardifs), croissance etc.	tous les paramètres				
Menaces sanitaires sur les espèces végétales et animales (invasions, pullulations etc.)	++ T et T _{max} (canicules), +++ Teau -- P estivales, ++ S Augmentation ETP				
Modification des aires de répartition des espèces végétales et animales	tous les paramètres				
Légende	++ augmentation -- diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	E/ANM Elevation Acc Niveau Mer ETP évapotranspiration	faible ou incertain	faible ou incertaine	bonne	faible ou incertaine
		très faible	très faible	très bonne	opportunisé

Les impacts sur le tourisme

Synthèse : tourisme

- Un tourisme diversifié, dépendant du climat, soit directement (balnéaire), soit indirectement (ressources paysagères, biodiversité)
- Une augmentation de la chaleur estivale et des canicules, préjudiciable au confort des touristes....
- ... un impact futur réel sur la fréquentation qui reste difficile à évaluer
- Un tourisme très lié aux problématiques d'érosion du littoral (disparition des plages), à l'évolution des moustiques en Camargue, avec des campings particulièrement vulnérables
- Une capacité d'adaptation encore limitée au fait de la prégnance des TPE dans le secteur

Caractérisation

Le Pays d'Arles possède des atouts indéniables en matière de tourisme. Fort d'un patrimoine urbain important et avec 60 % de son territoire situé dans les Parcs naturels régionaux de Camargue et des Alpilles, le Pays d'Arles est d'abord attractif la grande diversité de ses sites. Les plus attractifs sont, dans l'ordre, les Alpilles (5^e site le plus fréquenté des Bouches du Rhône en 2011), Arles (7^e), et la Camargue (9^e). A ce patrimoine exceptionnel s'ajoute une diversité des événements proposés, à savoir des expositions, des festivals, des concerts ou encore des fêtes de villages. Le tourisme du Pays est à la fois polarisé sur la ville d'Arles et diffus, s'étendant sur tout le territoire grâce à ces lieux naturels de qualité et reconnus. Les produits de terroir typés et de qualité ainsi que l'identité locale forte participent également à l'attractivité touristique.

L'inventaire des ressources touristiques montre :

- Un élément balnéaire bien présent sur le littoral d'Arles et des Saintes-Maries, avec une attractivité dépendant du climat, de l'état des plages, des infrastructures d'accueil;
- Des liens étroits entre agriculture, paysages et tourisme : les paysages de Camargue, les vins, les champs d'oliviers, les visites de manades et les promenades à cheval... sont autant de « spécialités locales » qui attirent les touristes ;
- Des liens entre tourisme et biodiversité (et avec les pratiques agricoles favorisant la biodiversité). Que ce soit en Crau, dans les espaces protégés de Camargue ou dans les Alpilles, la motivation naturaliste est très présente sur le territoire.

Tous ces éléments sont susceptibles d'être impactés par le changement climatique.

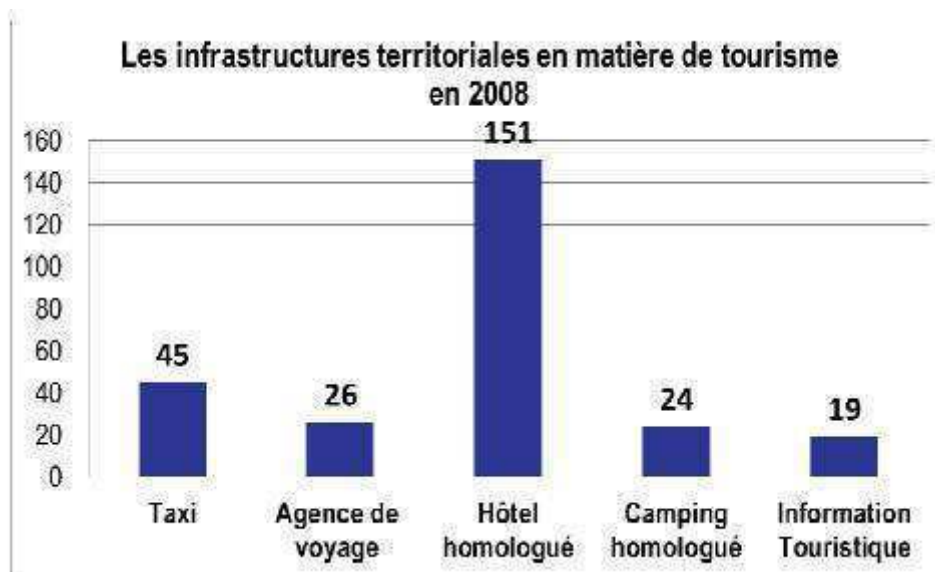
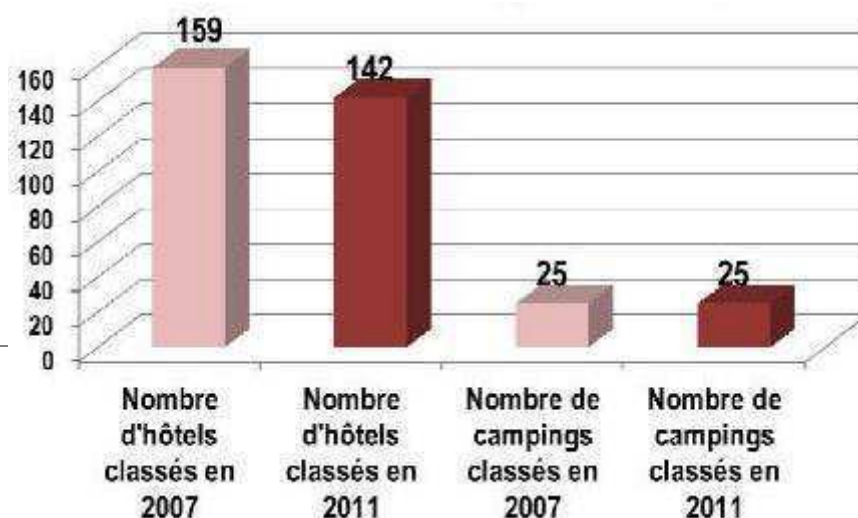


Figure 96 : Les infrastructures territoriales en matière de tourisme en 2008. Source INSEE

Le patrimoine du Pays d'Arles rapporte 101 millions d'euros à l'économie, selon l'étude sur les retombées économiques et sociales du patrimoine arlésien de 2008. Cela contribue à l'existence de 4000 emplois, soit près de 20% des actifs arlésiens. L'hôtellerie et la restauration représentent, eux, 9% de l'emploi privé du pays. En 2010, le Pays d'Arles regroupe 16.7% des séjours comptabilisés dans le département et 17.4% des nuitées. Cette fréquentation présente une saisonnalité forte, avec un facteur multiplicateur entre la fréquentation de janvier et celle d'août de 9 dans les Alpilles, et jusqu'à 20 en Camargue.

Concernant l'offre d'hébergement touristique, on peut observer trois pôles d'hébergement : Arles, les Saintes Maries de la Mer, et Saint-Rémy de Provence / les Baux-de-Provence. La part de chaque type d'hébergement diffère sur les trois communes. En effet, on trouve 1366 chambres d'hôtel à Arles en 2011, 740 aux Saintes Maries de la Mer, et 370 à Saint Rémy de Provence. Concernant les campings, on observe un nombre d'emplacements supérieurs à celui des chambres d'hôtel sur le territoire. De plus, le nombre d'emplacements de camping est largement supérieur sur la commune des Saintes Marie de la Mer (1796) qu'à Arles (511). Pour Saint-Rémy de Provence, la part de chaque type d'hébergement est équilibrée (394 emplacements de camping).

De plus, le tourisme est un secteur très lié à la conjoncture économique. En lien avec le ralentissement économique national et européen, on assiste depuis quelques années à une stagnation voire à une baisse de la fréquentation des structures d'hébergement. A cela s'ajoute un panier moyen constant ou en légère baisse lui aussi suivant les années. Ces fluctuations ont



malheureusement contraint des établissements hôteliers à devoir cesser leur activité, comme le montre le graphique ci-dessous. Le tourisme change aussi car les touristes et les manières de

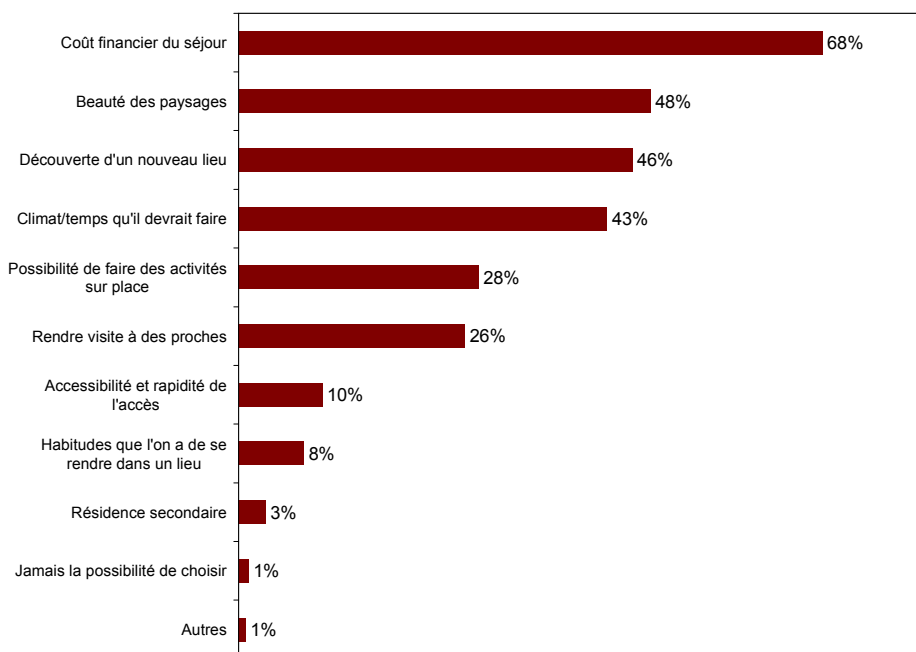
Figure 97 : Evolution de l'offre d'hébergement touristique. Source : Insee 2011

faire évoluent. En effet, les séjours ont tendance à être plus courts, le tourisme vert est apparu et se développe, et l'arrivée d'Internet modifie les pratiques des touristes comme des professionnels qui doivent s'adapter.

Enfin, il est utile de noter que malgré l'absence de chiffres officiels pour le moment concernant l'augmentation de la fréquentation en 2013 dans le département, il est probable que l'évènement Marseille Provence capitale européenne de la culture 2013 ait eu un effet significatif sur la fréquentation touristique dans le Pays d'Arles.

La dépendance actuelle du tourisme au climat

S'il est indéniable que le climat est important dans le choix de la destination pour de nombreux touristes, le facteur climat n'arrive cependant qu'en 3^e ou 4^e position selon les études dans le classement des facteurs de décision les plus importants (Figure 98). Celui-ci se situe derrière le coût, la beauté des paysages et des sites ou encore parfois derrière la découverte de nouveaux lieux. Notons également qu'une partie des touristes n'est pas du tout sensible au climat, soit parce qu'il fait déjà beau chez eux, soit parce que leurs vacances sont contraintes (visite famille et amis), ou leurs activités sont indépendantes du climat (culturelles par exemple).

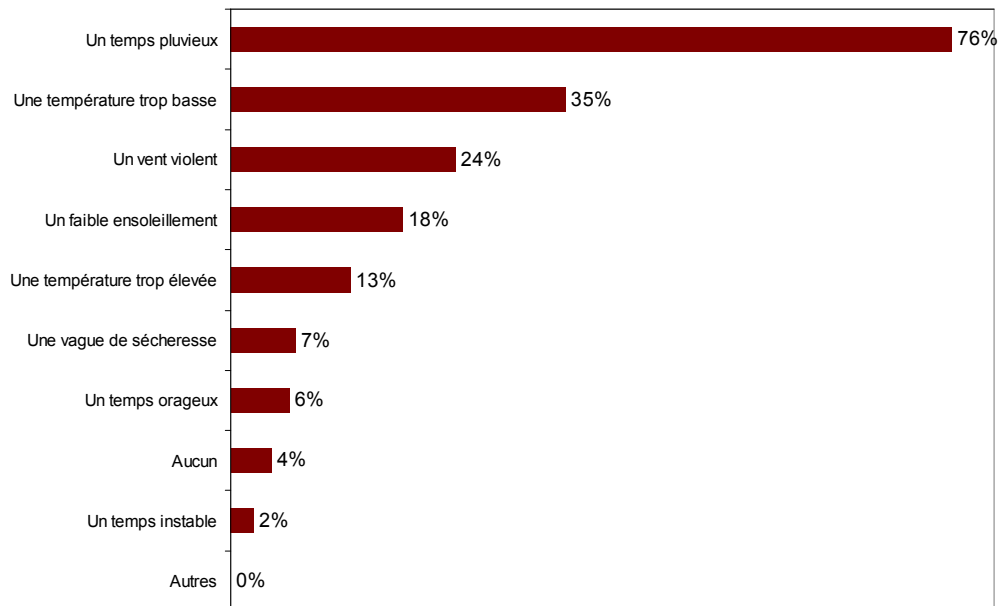


Source : Enquête CREDOC-TEC « Météorologie, climat et déplacements touristiques 2009 ». Echantillon de 1643 internautes interrogés sur un projet de séjour en France entre mars et septembre 2009.

Lecture : 43% des répondants citent « le climat, le temps qu'il devrait faire », comme un des éléments les plus importants dans leur décision.

Figure 98 : Les éléments les plus importants dans la décision en cas de choix entre plusieurs destinations (3 réponses possibles)

Quand on explore cette sensibilité plus en détail, on se rend compte que, plutôt qu'à une chaleur trop importante souvent citée comme risque majeur dans le cadre du changement climatique, c'est la pluie, le froid ou le vent qui apparaissent comme les principaux éléments susceptibles de nuire à la réussite d'un séjour.



Source : Enquête CREDOC-TEC « Météorologie, climat et déplacements touristiques 2009 ». Echantillon de 1643 internautes interrogés sur un projet de séjour en France entre mars et septembre 2009.

Lecture : 76% des répondants considèrent qu'un temps « pluvieux » pourrait nuire à la réussite de leur futur séjour.

Le climat représente tout de même, d'une manière générale, un avantage pour le tourisme dans le pays d'Arles. En effet, le climat y est actuellement considéré comme chaud par des clientèles essentiellement françaises et d'Europe du nord. De plus, le nombre de jours de pluie largement inférieur à la moyenne nationale font du pays d'Arles, comme du département des Bouches-du-Rhône une destination prisée pour son climat. Cela permet aussi d'avoir une saison touristique plus longue que dans le reste du pays. Cette situation fait cependant aussi du Pays d'Arles un territoire plus sensible aux variations du climat dans le domaine touristique que d'autres régions françaises.

L'impact des canicules est à prendre particulièrement en considération. En effet, l'exemple de la canicule de 2003 qui a touché l'ensemble de l'Europe et tout particulièrement le sud de la France a montré que les conséquences d'un tel phénomène extrême pouvaient être désastreuses pour le secteur touristique. Par ailleurs, lorsqu'elles s'accompagnent de sécheresse, les canicules peuvent avoir une influence sur la fréquence et l'étendue des feux de forêt, potentiellement destructeurs pour le patrimoine naturel du pays d'Arles, notamment pour le massif des Alpilles. Le manque d'eau seul, lui, a un impact limité sur le tourisme, car il est peu dépendant de la ressource dans le pays d'Arles (activités nautiques et de baignade limitées à l'intérieur des terres). Il n'est cependant pas à négliger. Des publics plus sensibles (jeunes enfants, troisième âge) ou certaines formes d'hébergement (campings) sont particulièrement sensibles à problématique de la chaleur estivale. En 2003, même s'il n'a concrètement pas fait plus chaud dans le sud que dans le reste de la France, le poids des

représentations a joué, et les touristes se sont détournés en priorité des régions jugées plus chaudes.

La situation du climat dans le reste de la France et de l'Europe peut également avoir une influence directe sur la fréquentation touristique du pays d'Arles. En effet, lors de la saison touristique de 2011, la baisse de la fréquentation touristique et des réservations dans les Bouches-du-Rhône est corrélée à une météo particulièrement clémente sur le reste de la France. Cette théorie est avérée notamment par le fait que la dégradation de la météo observée à partir de fin Juin dans le pays a vu une augmentation significative et soudaine des réservations comme de la fréquentation.

Les précipitations ont aussi leur importance sur la fréquentation touristique. On peut ici citer l'exemple des fortes pluies de décembre 2003 qui ont endommagé de nombreux équipements touristiques au nord d'Arles notamment, comme à Tarascon et Boulbon, suite à la rupture des digues du Rhône. Le 9 janvier 2004, 48 entreprises du Pays d'Ares liées au tourisme se sont déclarées sinistrées. Les pertes sont alors évaluées à plus d'un million d'euros. Ici, le coût pour le secteur n'est donc pas tant en terme de baisse de fréquentation (les inondations ayant eu lieu à l'intersaison), mais bien en terme de coûts de réparation pour les opérateurs. L'exemple de 2003 n'est pas isolé, la plupart des tempêtes dans la région ayant lieu en hiver, elles touchent la plupart du temps les installations sans pour autant impacter fortement les réservations de l'été suivant. Toutefois, une baisse de fréquentation peut également se produire dans l'année suivant le **phénomène climatique extrême**, notamment lorsque celui-ci est particulièrement violent et que la couverture médiatique est importante.

On peut donc conclure cette partie en affirmant que si le climat méditerranéen participe, d'une manière générale, à l'attractivité du pays d'Arles, le tourisme en est par conséquent dépendant. Les effets d'une image dégradée du territoire, l'inconfort, voire même l'insécurité provoquée par une « mauvaise » météo qui se prolonge dans le temps impliquent de facto une baisse de l'activité touristique. De plus, le territoire n'est pas concerné de la même manière par les aléas climatiques. En effet, les risques liés aux inondations et à la destruction des installations d'hébergement sont essentiellement concentrés sur le secteur des Saintes-Marie de la Mer et d'Arles (là où les hébergements sont les plus nombreux), alors que le risque de feux de forêt est concentré sur les Alpilles.

La dépendance future du tourisme au changement climatique

L'impact direct des chaleurs estivales

On rappellera que les dernières projections d'élévation de la température du pays d'Arles sont les suivantes : +1,3°C (0,5°C-1,7°C) à l'horizon 2030 ; +2°C (1.4°C-2.6°C) d'ici 2050 ; + 2,5°C (2.1°C-3.5°C) d'ici 2080. Il convient de préciser que l'augmentation sera plus marquée en été (1.6°C en 2030, 2.7°C en 2050 et 4°C en 2080) qu'en hiver (1.2°C en 2030, 2.1°C en 2050 et 1.7°C en 2080). Les saisons de printemps et d'automne voient elles, des augmentations de températures intermédiaires.

Les chiffres concernant les canicules doivent être pris avec du recul tant l'échelle d'incertitude est grande. Toutefois, on se dirigerait vers une hausse de ces événements. Selon notre projection de référence le nombre de jours de très forte chaleur pourrait doubler à l'horizon 2030 (passant de 16 à 31 jours), et tripler à l'horizon 2080 (+32 jours). L'été concentrerait logiquement l'immense majorité de cette augmentation (14 jours en 2030 et 28 jours en 2080),

toutefois, l'augmentation s'étale également sur l'automne. Notons que l'arrière du pays serait plus touché que la côte.

Le nombre de jours de canicule pourrait lui aussi augmenter, passant de 12 à 17 jours en 2030, puis à 24 jours en 2050. Ce doublement de l'indice canicule, accompagné de la nette augmentation du nombre de jours de forte chaleur, peut potentiellement impacter le tourisme du pays d'Arles, en particulier celui de l'arrière-pays. Cependant, cela est à relativiser avec l'augmentation possible de la fréquentation des zones côtières par les locaux, cherchant à se rafraîchir par la baignade.

Les Figure 99 et Figure 100 montrent les résultats de projets de recherche :

- Une modélisation des conditions climatiques des villes méditerranéennes montre que des villes qui ne sont aujourd'hui pas considérées comme « trop chaudes » dans les enquêtes (Barcelone, Marseille), le deviendraient progressivement dans le courant du siècle. A noter que ce qualificatif de trop chaude n'empêche cependant pas des villes comme Athènes ou Istanbul d'être touristiques. L'acceptabilité réelle de la chaleur est variable, et reste difficile à mesurer avec précision.

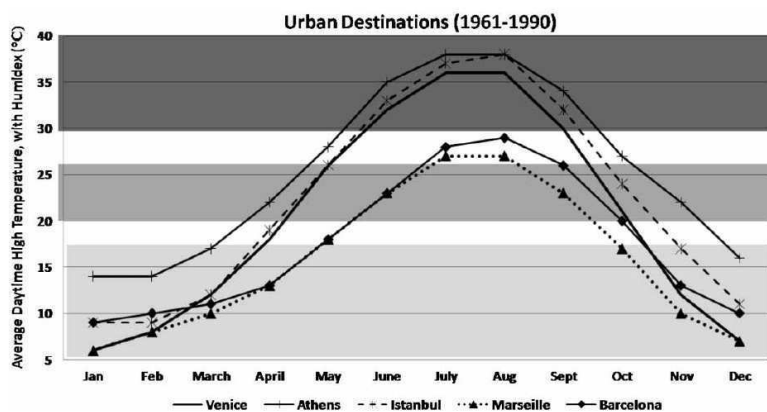


Figure 6. Baseline monthly ratings of average daytime high temperature (1961–1990) for urban sightseeing holiday destinations

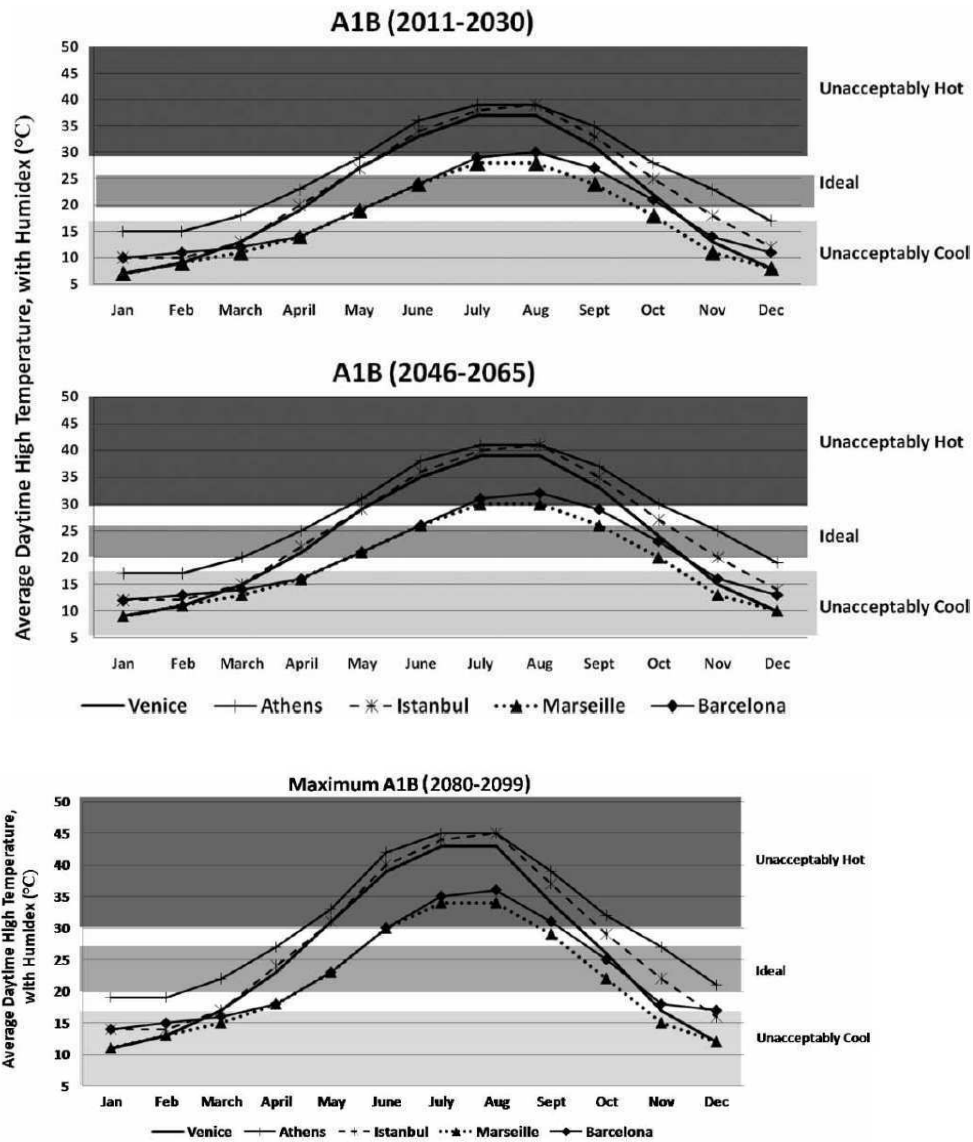


Figure 99 : Evolution des températures mensuelles dans des villes méditerranéennes, entre 1961-1990, 2011-2030, 2046-2065. Scénario A1B du GIEC.

Source : Rutty M. and Scott D., « Will the Mediterranean become « too hot » for tourism ? A reassessment. Tourism, Hospitality, Planning and Development, 2010

- Un calcul de l'indice de confort touristique (qui combine un élément thermique, un confort hygrométrique et une composante esthétique), montre (cartes), que le Sud de la France pourrait voir dès 20-25 ans une dégradation de ses conditions d'attractivité, certes plus modérées qu'au Sud de la Méditerranée, mais bien réelle (4 à 5 jours en moins par an de conditions très favorables au tourisme, beaucoup plus selon certains modèles).

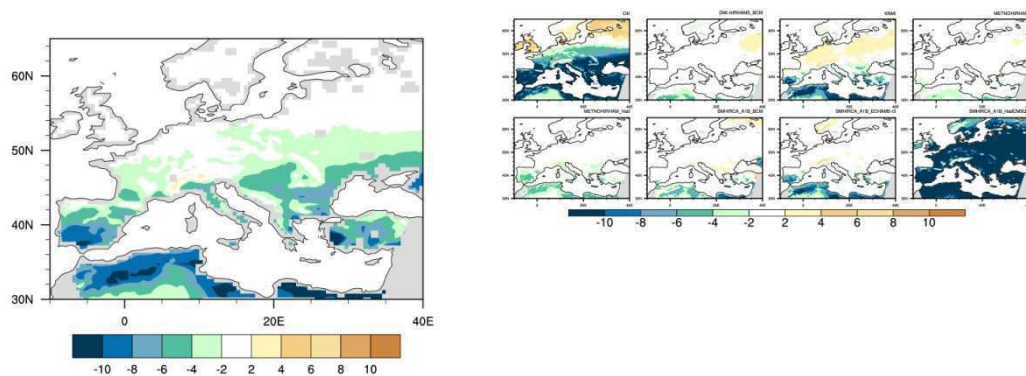


Figure 100 : Evolutions du nombre de jours avec un indice de confort touristique (TCI) supérieur à 70 (conditions très favorables au tourisme). Période 2021-2050 comparée à 1971-2000. Gauche : moyenne des modèles ENSEMBLE, droite : valeurs individuelles des modèles

Source : Météo France/ TEC, projet CLIMRUN

Les impacts indirects : sécheresses, inondations, niveau de la mer

Les modèles s'accordent aussi sur une augmentation du nombre de jours secs consécutifs au printemps et en été, avec une tendance plus nette en été. Associée à une augmentation du risque de canicule, **le risque d'incendie à la période touristique va tendre à augmenter**, et avec lui le risque pesant sur les touristes, l'intégrité des paysages et l'image de la destination.

Concernant l'évolution des précipitations moyennes, potentiellement préjudiciables au tourisme, on constate une légère diminution du nombre de jours de pluie comme des volumes de précipitations d'après les modèles. Cependant, celle-ci étant inférieure à 10%, il est difficile de se prononcer pour une réelle diminution ou une stagnation sur l'année. Les modèles semblent toutefois s'accorder sur la baisse des précipitations au printemps et en été. Ceci aurait un effet direct plutôt positif, mais un effet indirect (sécheresse, paysages...) plutôt négatif.

A contrario, les épisodes de pluies extrêmes montreraient une augmentation dans le futur. Si la tendance est encore peu claire à l'horizon 2050, elle serait de +1 jour en 2080 (0.3-1.4 jours) soit presque 50% de plus. Ceci peut être un clair facteur de risque supplémentaire pour les équipements.

L'augmentation du niveau de la mer liée au changement climatique peut avoir un impact important sur la Camargue et donc sur l'image même du territoire, et par conséquent sur le tourisme. A ce jour, aucune étude prenant en compte l'ensemble des paramètres ne permet de donner une échelle précise de l'élévation du niveau de la mer au niveau des côtes françaises en méditerranée aux horizons considérés. Il reste que l'augmentation du niveau de la mer est déjà observée et va se poursuivre à l'avenir, mettant en danger une zone non négligeable du sud de la Camargue. Les Saintes-Maries de la Mer, dont l'altitude varie entre 0 et 6m, sont à surveiller. Le changement climatique en Camargue peut aussi avoir un léger impact sur la biodiversité (voir partie correspondante), mais qu'il convient aussi de relativiser par rapport à la part du tourisme d'observation sur le pays d'Arles, pas prépondérante. De plus, il restera toujours une

biodiversité à observer, au vu des caractéristiques exceptionnelles du site. Enfin, avec l'augmentation du niveau de la mer, les plages continueront de s'éroder, mettant, à terme, en péril l'activité touristique qui lui est liée, à moins d'une intervention spécifique de plus en plus importante.

En Camargue, la potentielle augmentation de la présence des moustiques à la fois en nombre et en temps sur l'ensemble de l'année pourrait avoir pour effet de dissuader les touristes de se rendre dans la région (cf. Cahier Santé et encadré « **L'évolution des moustiques dans une perspective de changement climatique : le cas d'*Aedes Caspius* (moustique tigre).** » pour plus d'information

En résumé, le réchauffement climatique va principalement augmenter le risque d'incendie à la haute saison et les tensions liées à la montée du niveau des eaux dans la zone côtière. De plus, la fréquence des pluies extrêmes devrait augmenter légèrement, notamment à long terme et en automne selon les modèles, ce qui augmente potentiellement le risque des inondations. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des canicules associée à des chaleurs moyennes plus élevées pourraient aussi faire souffrir le pays d'Arles d'un excès de chaleur en été et ainsi limiter l'attractivité du territoire pour certaines personnes. Le réchauffement climatique va peut-être aussi renforcer la concurrence de certaines régions plus au nord en été. De plus, le réchauffement climatique devrait s'accompagner d'un allongement de la saison touristique.

Les capacités d'adaptation

Le secteur du tourisme a témoigné ces dernières années, sous l'égide de l'organisation mondiale du tourisme, en France grâce aux travaux de la direction du Tourisme, d'une certaine prise de conscience des enjeux. Tous les acteurs du tourisme ne font pas face aux mêmes enjeux et n'ont pas les mêmes horizons temporels en tête. Un tour-opérateur peut par exemple en quelques années changer ses destinations en catalogue si les conditions climatiques deviennent plus défavorables. Par contre, un propriétaire d'hébergement qui a fait des investissements lourds est lié au territoire pour des décennies...

Il existe plusieurs freins à l'adaptation du secteur du tourisme :





- La prégnance des TPE et PME, avec des moyens d'action limités ;
- Le manque de recherche et développement, très général dans le secteur, avec des manques flagrants de connaissance, par exemple sur la sensibilité au climat des différentes nationalités ;
- Le fait que l'adaptation du tourisme dépend de politiques menées dans d'autres secteurs : la lutte contre l'érosion du littoral pour les plages, les plans sanitaires pour les canicules, les plans de prévention des risques pour les inondations et submersions des campings....

Les acteurs clés à mobiliser	CRT/ CDT Offices de tourisme PNR de Camargue et des Alpilles CCI d'Arles (mobilisation des professionnels) Communautés de commune et d'agglomération	
Les capacités actuelles (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les leviers Forte dépendance au climat et saisonnalité d'un secteur naturellement intéressé	Les freins Dispersion des acteurs, peu de conscience d'un intérêt commun
Les capacités futures (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les opportunités Prise de conscience naissante	Les menaces Manque de R&D
Les pistes à approfondir	Développement d'une offre d'intersaison Aide à la gestion de la chaleur estivale en ville et dans les hébergement touristiques Meilleure inclusion des risques spécifiques aux campings dans les plans de prévention	

Synthèse et cartographie



Impact sur le tourisme

-  Risques feux de forêts
-  Nuisances dû aux moustiques
-  Risques de destructions / endommagements des Infrastructures (inondations, submersions)
-  Impacts de la chaleur sur le confort touristique (confort, santé, ...)

Les impacts sur le tourisme en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Dégradation du confort des touristes (liée à la chaleur et impacts sanitaires-moustiques)	++T et Tmax (canicules), +++ Teau '-- P estivales, ++ S				
Restriction possible des activités touristiques (feux de forêt etc.)	++ T et Tmax (canicules) '+++ S				
Disparition des plages et atteinte aux biens liés à l'érosion du littoral	Incertitudes régime des vagues et de la houle EANM (incertitude sur l'amplitude)				
Mutation des paysages et des ressources du terroir en lien avec l'attractivité touristique du territoire	tous paramètres				
Modification de la saisonnalité	++T toutes saisons, canicules autumnales				
Légende	++ augmentation – diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elevation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertain	bonne	faible ou incertaine
		très faible	très faible	très bonne	opportunité

Les impacts sur l'industrie et l'énergie

Synthèse : industrie et énergie

- Un territoire encore marqué par l'industrie
- Une dépendance aux risques climatiques : tempêtes, inondations et submersions, canicules et grands froids
- Une adaptation qui s'insèrera dans les démarches de prévention des risques
- Une variable climatique à mieux intégrer dans les procédures d'évaluation et de classement

Caractérisation

On trouve plusieurs types d'industrie sur le Pays d'Arles, que ce soit les industries du papier et de l'imprimerie, l'industrie agro-alimentaire, ou encore des activités chimique avec l'usine Solvay des salins de Giraud.

Le Pays d'Arles conserve ainsi un savoir-faire industriel. Par exemple, **la métallurgie** reste implantée avec la chaudronnerie lourde de l'entreprise CMP Arles qui a récemment expédiée un réacteur de raffinerie pour l'Allemagne en s'appuyant sur la logistique offerte par le port fluvial d'Arles. C'est un secteur globalement en crise depuis les années 1980 qui a essaimé en plusieurs PME mais conserve plusieurs « pépites » comme la Provençale d'Automation et de Mécanique à Saint-Rémy de Provence (spécialiste de la conception d'usine de remplissage de bouteilles de gaz et réalisant 90% de son C.A à l'export), Richel Group, serres de France (concepteur de serres agricoles et basé à Eygalières), ou encore MGP qui emploie 250 personnes autour des instruments de mesures industriels à Lamanon.

La Chimie est également un pôle industriel important. Elle représente environ 15% des emplois industriels du Pays d'Arles avec des établissements comme l'usine Solvay (Salin-de-Giraud) qui produit 50 000 tonnes de carbonate de calcium précipité (CCP) par an pour 130 emplois, la Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est (CSME) qui produit 800 000 tonnes de sel marin par an pour environs 150 emplois. Citons encore UnilOpal (Lamanon) qui emploie 250 personnes autour de la production de lubrifiants industriels pour le marché français. Il existe par ailleurs une quinzaine de groupes plus petits, des PME industrielles de 50 personnes, qui résistent à la concurrence internationale principalement par l'innovation des procédés et par l'utilisation des infrastructures de premiers plans que le Pays d'Arles et les Bouches du Rhône est capable d'offrir.

Les emballages font partie intégrante de ce paysage industriel avec environ 1300 salariés, principalement tirés par l'entreprise de **pâte à papier de Tarascon** qui, malgré les difficultés économiques, emploie 270 personnes autour de la fabrication de pâte à papier et génère indirectement 2000 emplois via la structuration d'une filière bois locale.

D'autres industries doivent être citées pour terminer ce tableau industriel du Pays d'Arles : l'industrie **agro-alimentaire** est particulièrement importante, il s'agit d'une industrie de négoce, stockage puis conditionnement de matière alimentaire (fruits, légumes, etc.) Elle compte 5000 emplois pour une trentaine de PME et une centaine de petites entreprises. Nous pourrions également citer les **industries culturelles et audiovisuelles** comme relais de croissance pour le territoire.

Pour résumer, le secteur industriel est un pôle économique traditionnel qui structure le territoire avec, à la clef, plusieurs milliers d'emplois représentant aujourd'hui 12,5% des postes salariés du territoire. Cette industrie compte plusieurs PME de premiers plans qui s'appuie sur l'innovation et la qualité des infrastructures pour faire face à une concurrence internationale forte et à une crise du secteur depuis les années 1970.

C'est un secteur qui ne produit plus d'emplois depuis une décennie et qui est actuellement en train de connaître une restructuration dynamique avec la création de 115 entreprises en 2010 dans ce domaine. L'industrie agro-alimentaire tend à supplanter l'industrie liée aux produits industriels (+ 471 emplois en 10 ans contre – 256 emplois).

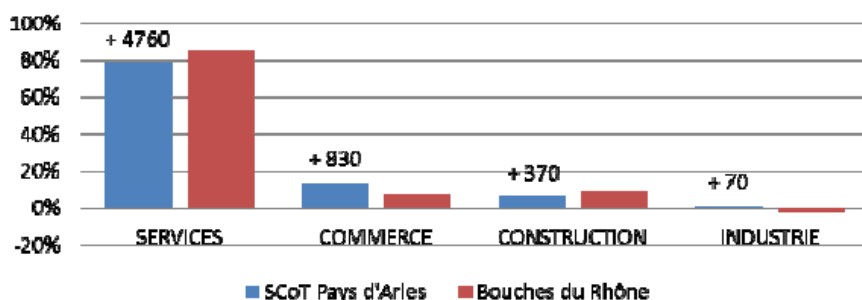


Figure 101 : Contribution des différents secteurs d'activités à la croissance de l'emploi salarié privé (2000-2010) Source : AUPA, 2010

L'industrie de production électrique est quasiment absente du territoire qui ne produit pour l'heure que 62,2 GWh/an à partir d'EnR et d'unités de cogénération représentant 0,62% de la consommation du territoire. Le territoire est donc dépendant du réseau national. Les regards se portent sur le réseau électrique limité. En effet, le Pays d'Arles est alimenté par des transformateurs et des lignes 63 000 V (le seul point alimenté en 225 000 V est celui de Tarascon) elles-mêmes alimentées depuis 3 postes. Si une de ces lignes devient indisponible, l'apport énergétique de la zone n'est pas complet. C'est pourquoi la maîtrise de la consommation locale est particulièrement encouragée. Favoriser les filiales d'EnRs est également encouragé, même si cet apport reste limité notamment pour faire face aux pointes de consommation sans solutions de stockage énergétique.

La dépendance actuelle du secteur industriel au climat

La principale dépendance actuelle du secteur industriel est liée aux risques climatiques. Certaines industries sont soumises aux risques de crues et d'inondations. C'est particulièrement le cas des zones d'activités d'Arles et de Tarascon. En 2003, les inondations ont provoqué l'arrêt des usines d'Arles, parfois définitivement comme ce fut le cas pour

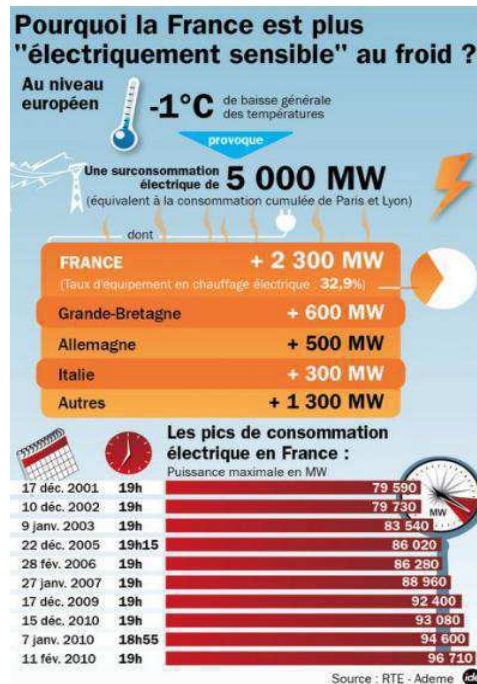
l'usine Lustrucru avec la perte de 250 emplois. Entre 3000 et 4000 personnes étaient alors au chômage technique.

Ces événements extrêmes accroissent le risque d'accident industriel sur certaines industries. Il faut les prendre en compte aux rangs des vulnérabilités du territoire au climat. On compte 3 industries classé SEVESO à Arles, une à Tarascon et 3 à Saint Martin-de-Crau.

L'autre risque pesant sur les infrastructures industrielles est lié aux « effets de chaîne » **issus de la fragilité du réseau électrique**. En effet, l'absence d'énergie électrique pour le secteur industriel signifie l'arrêt technique des chaînes de production. Plusieurs facteurs induisent des problèmes sur ces réseaux :

- **les feux de forêts** qui peuvent toucher les lignes électriques. Lorsque ces feux sont proches des réseaux de RTE ou ErDF les pouvoirs publics et le gestionnaire de réseau décident la mise hors tensions de ces lignes afin de sécuriser le périmètre pour les pompiers ;
- **les orages, tempête, glissement de terrain et accumulation de neige collante** sont également à l'origine de problème. Dans ces cas, RTE est obligé de réorienter les flux électriques (délestage) et mets hors tension les lignes les plus impactées. Si le gestionnaire de réseau n'est pas suffisamment prompt à réaliser les délestages nécessaires lors de ce type de problème, le risque de black-out total est tout à fait possible à l'échelle régionale. Enfin, ces événements extrêmes peuvent avoir pour conséquence d'endommager le matériel, aboutissant mécaniquement à des coupures de courants ;
- **les très fortes chaleurs et les grands froids** ont également des conséquences non négligeables. Les fortes chaleurs diminuent les capacités de production électrique de 20% car les systèmes de refroidissement des centrales sont mis à mal. Les canicules augmentent les pertes d'énergie sur le réseau électrique qui passent de 7 à 11%. Le grand froid agit sur les infrastructures, ainsi que sur la demande énergétique nationale. 1°C de moins en France, implique une surconsommation électrique de 2300 MW en France. Cela implique de fortes problématiques d'approvisionnement sur le réseau, particulièrement en période de pointe et qui peuvent aboutir sur des délestages en cas de demande trop importante et trop soudaine. En effet, s'il y a un décalage entre production et consommation, on provoque alors des coupures volontaires d'une partie du réseau (c'est le délestage). Dans le pire des cas, le système disjoncte plongeant dans le noir des régions entières : c'est un **black-out**. Or, la demande évolue rapidement depuis plusieurs années ; l'équipement électrique des foyers génère **une pointe de consommation** (en rentrant chez eux, vers 19h, les particuliers allument leur chauffage et autres appareils électriques) qui nécessite de mettre en œuvre rapidement des moyens de production supplémentaires.

Figure 102 Electro-sensibilité de la France au froid. Source : RTE – ADEME



Enfin, les impacts des événements climatiques extrêmes sur les infrastructures de transports sont également problématiques (cf. Partie transport et logistique). Disons simplement que les chaînes d'approvisionnement ne peuvent plus fonctionner aussi bien en amont (livraison des matières premières) qu'en aval (livraisons des produits). De plus, les salariés ne peuvent pas se rendre sur leurs travail, ou difficilement. Il en résulte des retards dans les livraisons qui peuvent se révéler très problématiques pour les industriels dont la gestion des flux de trésorerie est parfois déjà très tendue.

Les vulnérabilités futures

L'augmentation globale des températures, toutes choses égales par ailleurs, peut aboutir à :

- un moindre stress sur le réseau électrique en hiver (moins de consommation des ménages pour le chauffage du fait du réchauffement climatique). Ceci-dit, l'évolution des consommations (développement des TIC, hausse du nombre de ménages en France) n'est pour l'instant pas compensée par les efforts de réduction de consommation d'énergie. Aussi le réseau électrique peut continuer à se trouver en difficulté lors d'hivers particulièrement froids, qui resteront possibles, même si plus exceptionnels.
- A l'inverse, à une augmentation du besoin de refroidissement (procédés industriels) et climatisation en été, et donc à des tensions croissantes sur les réseaux. Par ailleurs, le nombre de canicules augmentant, ce qui n'arrangera pas la situation du réseau électrique actuel si aucune réhabilitation du réseau n'est effectuée.
- Une réduction de la rentabilité des panneaux photovoltaïques, 0,5% par °C de plus (Figure 103).

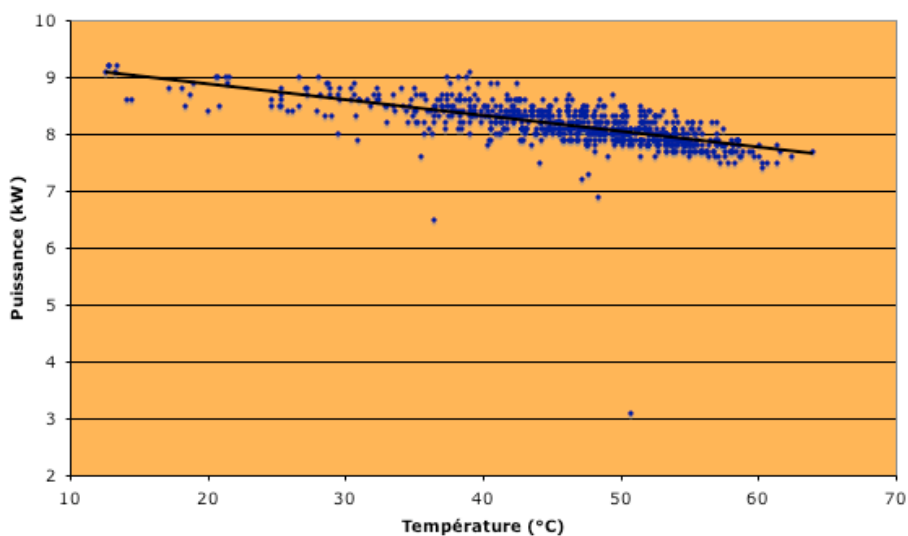


Figure 103 : Exemple des effets de la chaleur sur une installation solaire de 10 kW. Source : Hepsul - Soleil Marguerite

La potentielle augmentation des pluies intenses automnale en fin de siècle peut également être un facteur de risque pour les inondations et donc pour l'ensemble des zones industrielles, notamment celles d'Arles et de Tarascon. L'évolution future des débits du Rhône et particulièrement des débits de crue, reste cependant mal établie (cf partie Risques).

La **diminution de la ressource globale en eau** en été (baisse des débits d'étiage) dans les Alpes pourrait aboutir à des conflits d'usages entre électriciens des Bouches du Rhône et agriculture. Indirectement, cela concerne les industriels qui ne peuvent pas faire fonctionner leurs outils de productions sans énergie électrique. Cela doit donc être tenu en compte dans la question du partage des eaux.

Enfin, **l'évolution du phénomène de submersion marine** est un problème spécifique pour les activités situées dans des zones à risque. C'est notamment le cas des Salins-de-Giraud et de l'industrie du sel. L'augmentation du niveau de la mer combiné au phénomène d'affaissement de la Camargue pourrait, sur le long terme, remettre en question l'implantation de ces sites et obliger à une retraite stratégique si l'ingénierie adéquate n'est pas mise en œuvre. C'est pourquoi la SYMADREM met actuellement en œuvre un plan de renforcement des digues à l'horizon 2019, tel que spécifié dans le document ci-dessous et conformément au Plan Rhône.



Figure 104 : Projets de rénovations des digues d'ici 2020. Source : Symadrem

Les capacités d'adaptation

Deux éléments militent en faveur d'une relativement bonne capacité d'adaptation :

- la structuration des process de production industrielle : une taille des établissements qui permet d'abriter des fonctions de gestion des risques, le poids des normes et standards, les normes de classements (installations classées, sites Seveso, études d'impact), plaident en faveur de l'adoption progressive des nouvelles contraintes climatiques, notamment au fur et à mesure des renouvellements d'autorisation ;
- le fait que la vulnérabilité des établissements industriels soit liée aux risques naturels, et donc l'adaptation à la prévention des risques. Celle-ci est bien engagée dans

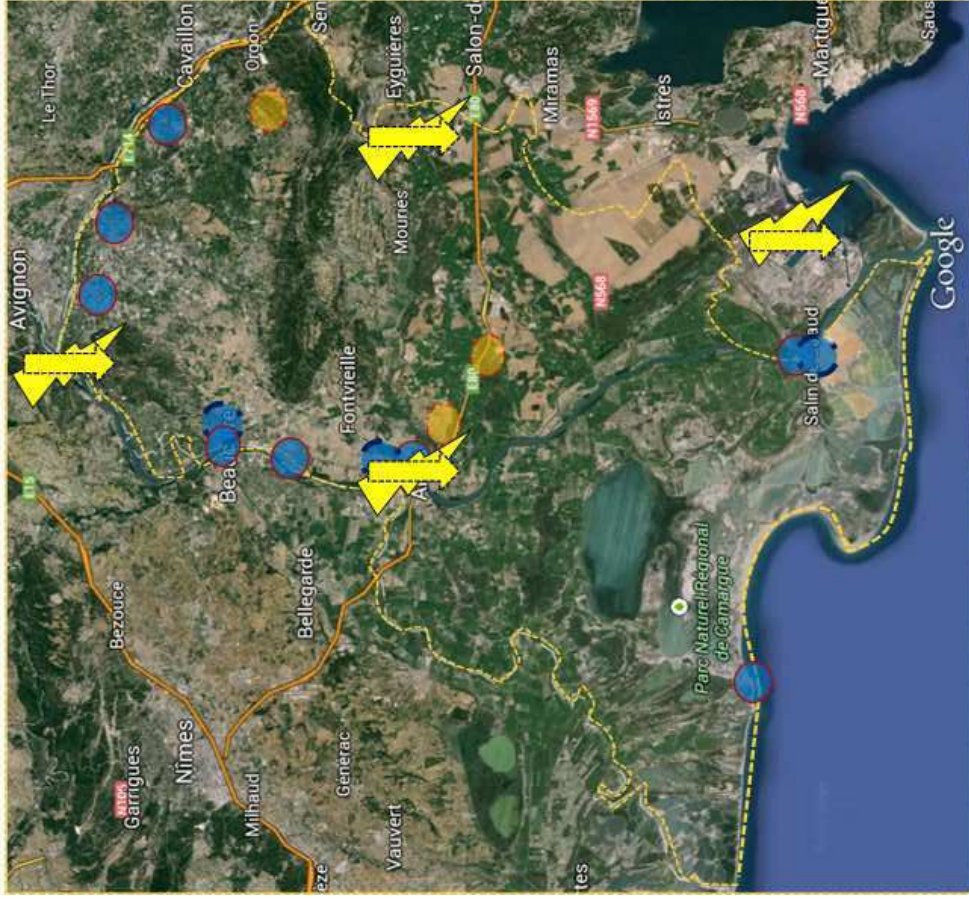
certaines domaines (feux de forêt, prévention du risque d'inondation avec le Plan Rhône), moins dans d'autres domaines (submersions marines).

Les acteurs clés à mobiliser	Etablissements industriels Services de l'Etat (DREAL, ex DRIRE) Communes en charge des plans de prévention des risques Zones d'activité Symadrem	
Les capacités actuelles (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les leviers Bonne organisation des process industriels	Les freins Connaissance insuffisante de certains aléas climatiques (hydrologie)
Les capacités futures (institutionnels/ réglementaires/soc/techniques etc.)	Les opportunités Amélioration de la prise en compte des risques (Plan Rhône)	Les menaces
Les pistes à approfondir	Intégrer les projections climatiques dans les procédures réglementaires (études d'impact, installations classées, sites Seveso...)	

Synthèse et cartographie

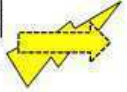
Les impacts sur les autres infrastructures et secteurs économiques en 2050

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Industrie chimique, agroalimentaire etc. (inondations etc.)	inondations et sécheresses				
Limitation des tensions électriques sur les réseaux en hiver	++ temp hivernale				
Impacts sur la logistique	liés aux perturbations consécutives aux événements extrêmes				
Légende	++ augmentation -- diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elévation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertain	bonne	faible ou incertain
		très faible	très faible	très bonne	opportunité



5. Impacts changement climatique

- Risques inondation et submersion
- Dégradation zones économiques
- Dégradation infrastructures et bâti
- Mouvements de terrains localisés
- Dégradation infrastructures et bâti
- Tension sur les réseaux liée aux canicules



Risques réseau électrique

Une vision croisée des enjeux

Cette partie, volontairement synthétique, vise à donner une vision d'ensemble de la vulnérabilité au changement climatique. Elle s'appuie sur les méthodes et outils de notation/classification développés par TEC.

Les enjeux prioritaires

La Figure 105 reprend notre système de notation de la vulnérabilité, conçue comme le croisement d'un niveau d'exposition à un aléa (ex : occurrence des canicules), d'une sensibilité du territoire (ex : nombre de personnes âgées dépendantes) et d'une capacité d'adaptation (ex : niveau de mise en œuvre des mesures du plan canicule). Le résultat de ce croisement est une note globale de vulnérabilité (colonne de droite).

Nous avons ici regroupé les différentes vulnérabilités thématiques et trier ces vulnérabilités par ordre décroissant. On y note très nettement :

- les questions de gestion de la ressource en eau, avec la remontée du biseau salé, les problèmes de ressources de surface et de recharge des nappes ;
- la forte présence des risques (inondations et submersions marines) et la question de la protection du littoral
- les milieux naturels fortement impactés selon la stratégie d'adaptation choisie
- l'agriculture comme secteur potentiellement très impacté.

Impacts identifiés	Indicateurs climat/impact	Niveau d'exposition à l'aléa	Sensibilité du Pays d'Arles	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité du Pays d'Arles
Risque de submersion marine temporaire (augmentation et changement de répartition surface)	EANM (incertitude sur l'amplitude)				
Modification des zones humides (eau douce) littorales	-- P ++ S (apport en eau douce) ++ EANM ,++ Remontée biseau salé, ++ Vents, ++ Submersions marines				
Salinisation des nappes EA(Crau/Rhône) en lien avec le remontée du biseau salé	EANM / biseau salé ++S				
Baisse des apports en eau dans les canaux d'irrigation en été (EA)	++T et Tmax (canicules) !-- P estivales, ++ S réduction couvert neigeux/débits été				
Baisse de recharge des nappes souterraines (Crau, Basse-Durance, Alpilles) d'approvisionnement en EP/EA	++ T/baisse P !--débits et étages Durance / -- des apports EA/incertitude hiver				
Baisse critique de la disponibilité de la ressource Durance, augmentation et allongement de la baisse du débit d'étiage (EA / EM / EI) /été	++ T et Tmax (canicules) !-- P estivales, ++ S -- couvert neigeux/débits estivaux				
Dégâts liés aux cultures liés aux sécheresses et remontée saline (riziculture/blé)	incertitude P / Pmax (intensification automne/hiver à LT)stagnation voire hausse débit Rhône/Durance/EANM				
Disparition des plages et atteinte aux biens liés à l'érosion du littoral	Incertitudes régime des vagues et de la houle EANM (incertitude sur l'amplitude)				
Risque crues de plaine automne/hiver Durance/Rhône	incertitude P / Pmax (possibilité d'une intensification automne/hiver à LT) hausse possible du débit Rhône/Durance en hiver et automne				
Augmentation des besoins en eau agricole, risque de conflits d'usage (EA)	++ S agricoles/météo/sols +++ ETP				
Modification et translation des aires de répartition des espèces (faune/flore)	tous les paramètres				
Baisse de la qualité des nappes EP/EA (Crau/Basse-Durance/ Alpilles/Rhône)	++ T/baisse P !--débits et étages Durance / -- des apports EA/incertitude hiver				
Erosion en lien avec les tempêtes et vents	incertitudes régime des vagues et de la houle				
Légende	++ augmentation -- diminution	très fort	très forte	très faible	très forte
	P précipitations S sécheresses	fort	forte	faible	forte
	T Températures V Vent	moyen	moyenne	moyenne	moyenne
	EANM Elévation Acc Niveau Mer	faible ou incertain	faible ou incertaine	bonne	faible ou incertaine
		très faible	très faible	très bonne	opportunité

Figure 105 : Les douze vulnérabilités les plus fortes

Une vision temporelle des enjeux

A la hiérarchisation des enjeux, exposés plus haut, peut s'ajouter une vision temporelle : comment vont évoluer les vulnérabilités entre aujourd'hui et 2100 ? Quelles sont les priorités à court, moyen et long terme ?

Le tableau ci-après présente en une page la synthèse de l'étude de vulnérabilité :

en haut de la figurent à la fois le réchauffement moyen correspondant aux impacts décrits, et la projection auquel il se rattache. Par exemple un réchauffement de +2°C se produirait autour de 2050 pour la projection médiane (référence), vers 2080 pour la projection « froide », et vers 2035 pour la projection « froide et humide ». Le lecteur reçoit donc un message sur l'incertitude liée aux projections climatiques. Il faut rappeler (cf. Cahier climat), que cette étude n'a pas retenu les scénarios d'émission les plus pessimistes, et que le réchauffement pourrait être encore plus marqué (de l'ordre de + 5°C) ;

- les autres lignes correspondent aux différentes vulnérabilités, classées par thématiques. Les vulnérabilités détaillées présentées dans les différentes parties thématiques de ce document ont parfois été regroupés pour plus de lisibilité. Les couleurs correspondent à différents niveaux de gravité de l'enjeu, estimée à dire d'expert par notre équipe. La notation utiliser la légende suivante :

Legende	vulnérabilité très forte
	vulnérabilité forte
	vulnérabilité moyenne
	vulnérabilité faible /incertaine
	opportunité

Globalement ce graphique montre une **aggravation générale des enjeux qui accompagne le réchauffement**. Les seules exceptions concernent :

- Certaines opportunités positives, dont l'impact continue de s'améliorer (baisse de la mortalité hivernale liée au froid, baisse du besoin de chauffage);
- Une inversion de tendance, la productivité des écosystèmes commençant par s'améliorer, puis se dégradant au-delà de certains seuils.

Cette analyse montre **qu'en fin de siècle la situation devient assez préoccupante pour certaines thématiques (salinisation des nappes et conflits sur l'eau en été), risques littoraux, disparition d'habitats naturels, vulnérabilités agricoles et touristiques).D'où le besoin d'une adaptation qui commence dès aujourd'hui.**

Projection froide	2030	2050	2080				
Projection médiane		2030	2050	2080			
Proj. chaude et sèche		2030	2050	2080			
Hausse T°	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Ressources en eau	Abaissement des apports externes dans les canaux en été, risque de conflits d'usages						
	Baisse des étiages et risques secs (Durance)						
	Salinisation des nappes et eaux de surface en lien avec remontée du biseau salé						
	Abaissement des nappes souterraines						
Mer et littoral	Dégradation de la qualité des eaux de surface et eutrophisation						
	Pollution des nappes consécutive au lessivage des sols						
	Risque d'érosion en lien avec les tempêtes et vents (plages, côtes rocheuses)						
	Risque submersion marine temporaire et/ou permanente, remontée du biseau salé						
Risques naturels	Modification et dégradation de la biodiversité marine (maladies, prolifération)						
	Modification des zones humides littorales						
	Risque de feux de forêt						
	Risque inondation (crues de plaine etc.)						
Milieus naturels	Risque inondation (crues torrentielles)						
	Risque submersion marine						
	Risque de mouvements terrain (retrait gonflement d'argile, etc.)						
	Translation des aires de répartition et modifications des écosystèmes						
Cadre de vie (infrastructures et urbanisme)	Disparition des habitats, effets d'entraînement						
	Productivité des écosystèmes						
	Risques de feux de forêt, de stress hydrique et de dépérissement						
	Menaces sanitaires (augmentation fréquence des pullulations, invasions)						
Santé et solidarités	Dégradation des milieux aquatiques						
	Impact des inondations/submersions sur les infrastructures et cadre bâti						
	Impact de la chaleur sur le bâti (ICU) et les infrastructures (intégrité Transports/Energie/Ports)						
	Besoins en refroidissement des bâtiments						
Agriculture	Besoins de chauffage des bâtiments						
	Dégâts causés au bâti par les mouvements de terrain (retrait gonflement argile)						
	Perturbations de la gestion des services liés aux extrêmes (inondations/sécheresse etc.)						
	Risques sanitaires liés aux épisodes caniculaires						
Tourisme	Risques sanitaires liés au froid						
	Risques sanitaires liés à la qualité de l'air (pollution à l'ozone)						
	Menaces liées aux événements extrêmes (inondations etc.)						
	Maladies allergènes et vectorielles						
Autres secteurs industries/logistique/ services	Maladies hydriques et infectieuses						
	Dégâts aux cultures liés au froid (gel, gel tardif, grêle etc.)						
	Dégâts aux cultures liés aux événements aux extrêmes de températures et baisse des précipitations et inondations						
	Dégâts aux cultures liés aux extrêmes de précipitations et inondations						
Legende	Vulnérabilité très forte						
	Vulnérabilité forte						
	Vulnérabilité moyenne						
	Vulnérabilité faible /incertaine						
Opportunité							

Une vision par géo-terroirs

En complément de l'effort de spatialisation qui a prévalu tout au long de ce document, tant dans le texte que dans les cartographies thématiques (voir les cartes de synthèse à la fin de chaque section thématique), les tableaux suivants essaient de résumer les principaux enjeux qui se posent aux différents territoires identifiés dans cette étude :

- Camargue
- Crau
- Plaine Rhodanienne
- Comtat-Val de Durance
- Alpilles et Montagnette.

Pour chacun de ces territoires sont présentés les principaux enjeux économiques, sociaux et écologiques liés au changement climatique, ici aussi avec un code couleur donnant une idée de la vulnérabilité d'ensemble.

Il ressort de cette analyse que :

- **la Camargue est très nettement la partie du territoire du Pays d'Arles qui est la plus vulnérable au changement climatique.** De par sa situation, cet espace cumule en effet les richesses (biodiversité) et les contraintes (submersions marines et crues du Rhône, salinisation...). D'où des risques économiques importants (tourisme, riziculture), des atteintes possibles au cadre bâti et aux infrastructures (submersions/inondations), un risque sur la ressource en eau (biseau salé) et les milieux naturels (salinisation, évolution de l'aire de répartition des espèces);
- **moins peuplée et plus loin de la mer, la Crau est sujette à des menaces essentiellement** en lien avec des conditions futures plus asséchantes sur le bassin versant Durance/Verdon dont elle dépend pour son approvisionnement en eau agricole. Ces conditions, combinées à une hausse potentiellement des conflits d'usages sur les prélèvements de la ressource durancienne, pourrait remettre en cause le modèle de fonctionnement actuel de cette péninsule hydraulique : Si les besoins agricoles pourraient être vraisemblablement satisfaits avec une baisse de la ressource en eau, en revanche la recharge de la nappe de Crau et les milieux pourraient l'être beaucoup moins. Se pose alors la question des impacts en chaîne qu'engendrerait une baisse des apports en eau et une hausse des besoins pour l'ensemble des activités du territoire : baisse de la nappe de la Crau, augmentation du biseau salé et des pollutions rendant l'eau impropre à la consommation humaine, impacts des remontées salines sur l'agriculture, hausse des conflits d'usage, transformation des milieux naturels.
- **Les Alpilles, la Montagnette, le Val de Durance et le Comtat montrent aussi une forte vulnérabilité liée à la gestion de la ressource en eau et au risque d'inondation**

(ruissellement et crues). S’y ajoutent des modifications des paysages et des terroirs (productions AOC) et des risques de feux de forêt dans ces parties boisées du territoire ;

- La **Vallée du Rhône concentre les enjeux urbains**, liés au confort thermique des habitants et à la vulnérabilité des activités économiques et urbaines aux inondations du Rhône.

Les principaux enjeux économiques

Enjeux identifiés	La Camargue	La Crau	Les Alpilles / Montagnette	Vallée du Rhône	Val de Durance / Comtat
Agriculture	Riziculture	Foin de Crau Elevages caprins Vergers	Vignobles	Céréales Cultures sous serres Maraîchage	Vergers Blé Maraîchage
	Blé dur		Maraîchage		
	Elevages caprins, bovins, équins		Oléiculture		
	Vignobles IGP		Vergers		
Tourisme	Disparition des plages et atteinte aux biens liés à l'érosion du littoral	Tourisme vert (cossouls etc.)	Modifications des paysages d'intérêt (vignobles etc.)	Tourisme urbain (centre Arles)	Modifications des paysages d'intérêt (vergers etc.)
	Dégradation confort thermique (chaleur/moustiques)	Dégradation confort thermique (chaleur)			
	Modification de la saisonnalité des activités				
Industrie et services	Salins de Giraud et Usine Solvay	Pôle logistique		Port fluvial Pôles logistiques Industries (chimie papier etc.)	Zones d'activités

Les enjeux sociaux

Enjeux identifiés	La Camargue	La Crau	Les Alpilles / Montagnette	Vallée du Rhône	Val de Durance / Comtat
La santé des populations	Confort thermique et risques sanitaires (canicules/moustiques)	Confort thermique et risques sanitaires (canicules)		Confort thermique et risques sanitaires (canicules)	confort thermique et risques sanitaires (canicules)
	Maladies vectorielles	Maladies vectorielles			
	Maladies allergènes				
	Menaces liées aux événements extrêmes (inondations etc.)	Menaces liées aux événements extrêmes (inondations etc.)	Menaces liées aux événements extrêmes (inondations etc.)	Menaces liées aux événements extrêmes (inondations etc.)	Menaces liées aux événements extrêmes (inondations etc.)
	Risques sanitaires liés à la qualité de l'air			Risques sanitaires liés à la qualité de l'air	risques sanitaires liés à la qualité de l'air
Cadre du bâti et infrastructures	Risque submersion marine (dégâts au bâti et infrastructures)	Risque inondation (Viguerat exutoire)	Risque inondation torrentielles+ruissellement (Gaudres)	Risque inondation crue+ruissellement (dégâts au bâti et infrastructures)	Risque inondation crue+ruissellement (dégâts au bâti et infrastructures)
	Risque Crue du Rhône		Risque de retrait-gonflement argile (Sud Comtat)		Risque de retrait-gonflement argile (Sud Comtat)
			Risques feux de forêt		

Les enjeux écologiques					
Enjeux identifiés	La Camargue	La Crau	Les Alpilles / Montagnette	Vallée du Rhône	Val de Durance /Comtat
La ressource en eau	Remontée biseau salé Camargue	Remontée biseau salé Crau	Baisse des apports externes	Baisse et allongement des étiages estivaux	Baisse des apports externes canaux d'irrigation
	Difficulté ressuyage en hiver par les pertuis	hausse besoins en EA pour irrigation estivale, risque conflit d'usage	Risque d'assecs plus fréquents et plus longs	Baisse de la qualité	Risques conflits d'usages (EA/tourisme/EP)
		Pollution accrue de la nappe			Dégradation qualité eau
		Baisse des apports externes réalimentant nappe de Crau			pollution accrue nappe durance
Les milieux	Zone littorale salinisation et érosion	Coussouls : sécheresse	Massifs forestiers : déperissement et translation espèces	Ripisylves / Canaux	Ripisylves/ Canaux /Marais etc.
	Zone humide "douce" salinisation, phénologie	Crau humide (canaux, ripisylves)			
	Ripisylves Rhône : pollution et salinisation				
	Espèces invasives				

Conclusion : vers l'adaptation

Ce travail de diagnostic a permis de réaliser une étude précise de la vulnérabilité du Pays d'Arles au changement climatique. Afin de préparer la Phase 3, qui consistera en une assistance à l'élaboration d'un programme d'actions, on peut, en guise de synthèse, se poser deux questions. Quel est le degré de la connaissance actuelle sur la vulnérabilité au changement climatique ? Quels sont les principaux dossiers qui se dégagent ?

L'état de la connaissance

Si l'on considère les trois composantes de la vulnérabilité (aléa, exposition, capacité d'adaptation), on peut considérer que comparativement à d'autres territoires, il est possible d'analyser la vulnérabilité du Pays d'Arles de manière assez fine.

La connaissance de l'aléa

L'aléa climatique (c'est-à-dire le climat futur, à partir des résultats des modélisations) est de mieux en mieux connu, et ce travail a pu bénéficier des résultats du programme de recherche ENSEMBLE, qui donne une vision multi-modèle, prenant bien en compte les incertitudes et marges d'erreur (sans prise en compte des scénarios extrêmes cependant). Il faut cependant préciser quelques points :

- **la précision (résolution spatiale et temporelle), mais parfois aussi le sens de certains signaux (certaines tendances de précipitations) sont susceptibles d'évolution dans l'avenir**, avec les nouvelles projections climatiques, notamment issues du 5^{ème} rapport du GIEC. Ce rapport a utilisé d'autres projections climatiques de référence (les scénarios RCP vont remplacer les scénarios SRES (A1, A2...)) ; par ailleurs le programme CORDEX de régionalisation du climat va progressivement mettre à disposition des données à haute résolution (11km pour l'Europe),

avec une meilleure prise en compte des phénomènes locaux. La science du climat évolue rapidement, et le diagnostic présenté ici ne représente qu'une photographie prise à un instant t, au vu de l'état de la connaissance susceptible d'être amendé dans un sens ou dans l'autre dans les années à venir ;

- il faut être conscient que **notre connaissance du climat futur restera toujours imparfaite**, pour diverses raisons (incapacité à connaître précisément les émissions de gaz à effet de serre des décennies à venir, limites de la prédictibilité du climat...). L'adaptation se fera donc toujours en contexte d'incertitude ;

La connaissance de l'exposition aux différents risques

Le territoire du Pays d'Arles est un territoire bien doté en études et données, notamment grâce à l'existence de nombreux laboratoires de recherche sur le territoire ou à proximité (Tour du Valat, Domaine du Merle, le DESMID de l'UMR ESPACE du CNRS, l'unité EMMAH de l'INRA Avignon, etc.), l'existence de deux PNR et plus récemment de contrats de delta/canaux/nappe. Cette connaissance a pu être utilisée efficacement.

Cette connaissance est en effet très bonne : le territoire dispose d'inventaires naturalistes assez complets, d'une « mémoire » des événements climatiques passés (impacts des crues et tempêtes passés), les principaux risques naturels ont été cartographiés avec précision (inondations du Rhône, submersion marine, érosion du littoral, risque incendies...).

Cependant, cette étude, a mis en évidence **un certain nombre de domaines où la connaissance gagnerait à être améliorée : impacts du changement climatique sur le régime des crues du Rhône et de la Durance, sur la coïncidence des crues et des surcotes marines etc.**

La connaissance des capacités d'adaptation

Cette notion reste plus difficile à appréhender, et donc à évaluer. Elle recouvre une capacité cognitive (connaissances à disposition pour nourrir une politique d'adaptation), institutionnelles (structures de gouvernance en place), financière, mais aussi une appréciation qualitative liée à l'expérience des acteurs du territoire face aux aléas climatiques (ex : les populations du sud ont l'habitude de gérer la chaleur), ou de certaines caractéristiques propres à un secteur (la présence de TPE dans le tourisme limite la capacité à agir). Nous sommes attachés à donner une appréciation synthétique combinant tous ces éléments, notamment en présentant les dispositifs de prise en charge actuels (plan, schémas, commission) des différents risques.

Les grands dossiers qui se dégagent

Il semble de dégager de notre analyse et de notre hiérarchisation cinq enjeux prioritaires.

L'amélioration de la gestion de l'eau au service de l'ensemble des acteurs du territoire

Une part importante des enjeux identifiés est liée à l'hydrologie du territoire : situation de « péninsule hydraulique », avenir du système d'irrigation gravitaire, disponibilité de la ressource, contrôle des crues, salinisation, gestion de l'AEP et de l'assainissement. Avec le changement climatique, cette gestion de l'eau va être de plus en plus soumise à la disponibilité de la ressource en amont (retenue de Serre Ponçon) et aux conflits pour son partage, notamment en été. Par ailleurs la gestion de l'eau dépend de l'utilisation de la ressource pour l'irrigation (époque, intensité...on pense par exemple à la question de la recharge de la nappe de Crau ou à la situation des milieux de Camargue). Dans un contexte de tension croissante,

notamment en été, le territoire devra mettre en place une gouvernance plus affirmée pour être plus visible auprès des instances de décision (CED, AERMC, EDF), anticiper les hausses du coût de fonctionnement de ce système et réfléchir à son financement, et peut-être à terme faire des choix (continuer à dépendre de l'irrigation ou revenir à un fonctionnement plus méditerranéen).

L'adaptation des activités économiques au changement climatique

L'agriculture et le tourisme apparaissent particulièrement vulnérables au changement climatique.

L'agriculture en raison de sa fragilité par rapport à l'évolution des paramètres climatiques (températures estivales, événements extrêmes) et à la probable augmentation des conflits d'usage autour de la ressource en eau. Si les agriculteurs sont bien armés pour l'adaptation de leurs pratiques culturales et d'irrigation, cette adaptation (qui passera peut-être par la reconversion de certaines cultures) aura un coût qui pourra être difficile à assumer pour les exploitants.

La vulnérabilité du tourisme a plusieurs sources : chaleur estivale croissante (notamment en ville), érosion du littoral qui dégrade les conditions d'accueil aux Saintes-Maries-de-la-Mer, évolution des paysages. Certains métiers (campings) sont particulièrement concernés, et mériteraient d'être accompagnés (plans de prévention des risques...)

L'anticipation des risques attendus sur le littoral

Les risques liés aux inondations du Rhône ont, depuis 2003, été mieux compris, et sont en passe d'être contrôlés par la mise en œuvre du Plan Rhône. En revanche, le littoral est soumis à de multiples risques (submersion, érosion des côtes sableuses, biseau salé), qui, de l'avis général, sont mal pris en compte. Il s'agit donc de rattraper un certain retard, et dans certains cas d'envisager des options de long terme comme le recul stratégique du trait de côte.

La gestion de la chaleur estivale

Cette problématique est peut-être moins prégnante sur le Pays d'Arles que dans de grandes villes denses comme Paris ou Lyon, qui subissent le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Elle est cependant bien présente, et demande des actions en direction de publics spécifiques et vulnérables (touristes, personnes âgées), et autant que possible des actions de long terme permettant d'améliorer la qualité du cadre de vie (zones vertes, façades et toits végétalisés, eau et ombre en ville, normes de construction).

L'accompagnement de l'évolution des milieux naturels

Par son action directe sur les milieux naturels, et les impacts en chaîne liés à une moindre ressource en eau, le changement climatique va progressivement transformer les écosystèmes du Pays d'Arles: on pense aux dépérissements et aux incendies en forêt, au risque d'eutrophisation (voire d'assèchement) encouru par les zones humides, à la salinisation et la submersion de la Camargue qui pourrait engendrer la perte sèche de milieux sans politique foncière adaptée, à la perspective d'une Crau qui redeviendrait plus sèche avec la baisse de l'irrigation, au cas particulier des marais des Baux qui pourraient retrouver leur usage initial de « zone d'expansion de crue » en redevenant un marais, etc.

Ces évolutions seront trop rapides pour permettre une adaptation spontanée des écosystèmes. Pour en atténuer les conséquences, il va falloir mobiliser les ressources scientifiques et les instruments fonciers et de protection de la nature (ex : corridors écologiques permettant la migration des espèces).

Table des figures

Figure 1 : Démarche méthodologique d'ensemble	7
Figure 2 : Exemple de carte de représentation synthétique des enjeux.....	10
Figure 3 : Exemple de grille de notation de vulnérabilité.....	11
Figure 4: Les différents territoires de compétences et de projets du Pays d'Arles (au 28/11/2013)	12
Figure 5 : Les divisions infra-territoriales retenues pour ce travail	13
Figure 6 : Réseau Hydraulique de la Crau et des Alpilles (Source ; PNRA)	20
Figure 7 : Schéma de fonctionnement hydrologique	22
Figure 8 : Masses d'eau souterraines présentes sur le territoire du Pays d'Arles	23
Figure 9 Bilan hydrologique annuel de la Camargue	24
Figure 10 : Bilan hydrologique PNRA et des plaines périphériques	25
Figure 11 : Flux d'eau de l'aquifère de la Crau.....	26
Figure 12 : Analyse de l'évolution des cumuls de pluie à Salon-de-Provence (1961-2013).....	28
Figure 13 : Changements Climatiques et débit de la Durance amont (gauche) et aval (droite) ...	31
Figure 14 : Changements Climatiques et débits du Rhône.....	33
Figure 15 : Moyennes d'ensemble des changements de l'indice d'humidité des sols (SWI) entre 2046-2065 et 1970-1999, par saison. Tiré de Boé, 2007	35
Figure 16 : Exemple des différentes pressions s'exerçant sur un aquifère côtier et pouvant influencer sur le niveau de sel de l'aquifère.....	37
Figure 17 Simulation du drainage et des rendements des prairies irriguées à l'échelle du l'aquifère de Crau.....	38
Figure 18 : Simulation d'une baisse des précipitations sur la ressource en eau - 30mm/an à gauche et - 50mm/an à droite	39
Figure 19 : Les milieux du Pays d'Arles Source : CRIGE PACA, SMPA	46
Figure 20 : Les zones protégées des Bouches-du-Rhône. Source : baromètre de la biodiversité en PACA supplément de Terre sauvage n°237	47
Figure 21 : Richesse spécifique continentale de PACA. Source (baromètre de la biodiversité en PACA supplément de Terre sauvage n°237)	47
Figure 22 : Espèces floristiques observées par commune (Source CBNA –CBNM)	48
Figure 23 : Les enjeux de la Montagnette (Source : Atlas des paysages des BdR CG13)	49

Figure 24 : Situation Géographique de la Crau	50
Figure 25 : Coussouls de Crau	51
Figure 26 : Opération de réhabilitation de la CDC biodiversité	51
Figure 27 Salinité des sols du Delta.....	53
Figure 28 Affectation des sols de la Camargue et exemples de milieux-types du territoire.....	53
Figure 29 : Les statuts de protection de la Camargue (Source : PNR Camargue).....	54
Figure 30 Exemples d'oiseaux nidifiant dans la zone.....	55
Figure 31 Exemple d'îlot de nidification	56
Figure 32 Interdépendance entre riziculture et oiseaux d'eau	57
Figure 33 Abondance des oiseaux en Camargue (Tour du Valat, traitement baromètre de la biodiversité en PACA supplément de Terre sauvage n°237	57
Figure 34 : Représentation de la limite du climat méditerranéen	59
Figure 35 : Evolution de l'aire de répartition de la chenille processionnaire du pin. Source (Martin 2005p.19).....	60
Figure 36 : L'impact du réchauffement sur les climats 2000 – 2100 (Source : INRA Nancy).....	61
Figure 37 : Evolution de l'aire de répartition du chêne vert (Source : projet Carbofor, modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises » juin 2004.)	62
Figure 38 : Les conséquences du changement climatique sur le fonctionnement des écosystèmes	63
Figure 39 : Relations entre températures moyennes (avril - septembre et dates de maturité - vendanges du Pinot noir à Beaune et la Rocheptot. (Source : Chabin et al. 2007)	63
Figure 40 : Réduction du taux de ramification des houppiers en forêt méditerranéenne © M. Vennetier / Irstea Source : projet DROUGHT.....	65
Figure 41 : Paysage d'une sansouire en Camargue.....	69
Figure 42 : Localisation de l'aléa feu sur le pays d'Arles.....	74
Figure 43 Diagnostic des PIDAF (Plan Intercommunal de Débroussaillage) dans les BdR..	75
Figure 44 : Nombre de risques naturels par commune en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur..	81
Figure 45 : Nombre d'arrêtés et nature des catastrophes naturelles pour les communes du Pays d'Arles depuis 1982.....	82
Figure 46 : Carte des arrêtés de catastrophe naturelle en PACA entre 1982 et 2008	82
Figure 47 : Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles par saison sur le territoire du Pays d'Arles (1982-2010).....	83
Figure 48 : Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles par catastrophe (1982-2010)	84
Figure 49 : L'occupation des sols secteur Montagnette/Alpilles.....	84
Figure 50 : localisation de l'aléa feux induit sur le territoire du Pays d'Arles	85

Figure 51 L'aléa inondation sur le territoire du Pays d'Arles.....	90
Figure 52 : La coïncidence de la crue de décembre 2003 avec une surcote marine.....	91
Figure 53 : Coût des dommages de la crue de 2003.....	93
Figure 54 : les dommages causés par les inondations de 2003.....	93
Figure 55 : Les types de crue du Rhône	95
Figure 56 : Cartes des principales inondations liées aux crues du fleuve Rhône	96
Figure 57 : Evolution du débit du Rhône à Beaucaire à l'horizon 2046-2065 par rapport à la période de référence 1970-1999	97
Figure 58 : Evolution du débit de la Durance en amont (gauche) et aval (droite) à l'horizon 2046-2065 par rapport à la période de référence 1970-1999	98
Figure 59 : Quelques événements météorologiques exceptionnels sur Barbentane	99
Figure 60 : Effet de la conjonction d'une crue et d'une surcote due à une tempête	100
Figure 61 : Programme de sécurisation des ouvrages, scénarios hydrauliques et prise en compte du changement climatique	103
Figure 62 : Impact de la sécurisation des ouvrages sur l'impact des crues.....	106
Figure 63 : Zonage du PPR la Rhône sur le territoire du SCOT Pays d'Arles.....	109
Figure 64 : Dérive du littoral et accrétion / érosion de ce dernier	112
Figure 65 : Mise en évidence de la montée du niveau de la mer méditerranée par les satellites d'altimétrie.....	113
Figure 66 : Evolution du trait de côte (2000-2004).....	113
Figure 67 : Vue satellite (Google Earth) Saintes-Maries-de-la Mer	114
Figure 68 Valeurs des enjeux socio-économiques au droit du village des Saintes-Maries-de-la-Mer	115
Figure 69 : Les projections d'élévation du niveau de la mer du 5 ^{ème} rapport du GIEC	116
Figure 70 : Valeurs caractéristiques des côtes marines pour différents scénarios de crue sur le Rhône	117
Figure 71. Le retrait-gonflement des argiles.....	119
Figure 72. Carte d'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Bouches-du-Rhône	120
Figure 73 : Offre de prise en charge (2009)	126
Figure 74 : Densité professionnelle des médecins et assimilés. Source : Rapport d'Etude : Dynamique des métiers de la santé, de l'action sociale, culturelle et sportive PACA, 2010	127
Figure 75 : Eloignement à l'offre de soins de ville de spécialistes, le cas des ophtalmologues. Sud INSEE, l'essentiel Une région bien dotée en médecins spécialistes, en dépit de fortes disparités territoriales.....	127
Figure 76 : Evolution du vieillissement de la population entre 1999 et 2008.....	128
Figure 77 : Projection de population à l'horizon 2030 - Bouches-du-Rhône - Scénario central .	128

Figure 78 : Effets de la chaleur urbaine sur les populations. Source : Institut national de santé publique du Québec, 2009.....	129
Figure 79 : Bilan de la qualité de l'Air 2012 Ouest des BdR Air Paca.....	131
Figure 80 : Evolution du cumul de précipitation aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence.....	134
Figure 81 : Effets des différentes variables environnementales sur les éclosions à l'horizon 2020, 2050 et 2080 pour les scénarios A2 et B2 pour les 4 complexes paysagers considérés.....	135
Figure 82 : Positionnement géostratégique de la Région PACA en Europe. Source : CCI PACA .	140
Figure 83 : Cartographie des infrastructures de transports et des pôles logistiques du Pays d'Arles. Source : PRES logistiques.....	141
Figure 84 : Les infrastructures de transports en Région PACA : une armature complète et multimodale. Source : PRES Logistique.....	142
Figure 85 : Aléa des territoires au retrait-gonflement des argiles. Source : Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Bouches-du-Rhône, BRGM, 2004.....	144
Figure 86 : Evolution de la population du Pays d'Arles entre 1968 et 2008.....	149
Figure 87 : Population et densité en 2008.....	150
Figure 88 : Exemple d'un îlot de chaleur urbain : Paris.....	152
Figure 89 : Calamités agricoles.....	160
Figure 90 : Sensibilité du riz au sel selon les stades de développement.....	163
Figure 91 : Position du coin salé en fonction du débit du Rhône.....	163
Figure 92 : Impact de la sécheresse et de la salinité sur le riz, l'exemple de 2011.....	164
Figure 93 : Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962.....	168
Figure 94 : la modification des stades phénologiques, l'exemple de la vigne.....	170
Figure 95 : évolution de la date théorique des premières coupes en fonction des évolutions climatiques (température uniquement) simulées selon le scénario climatique A1B (les données avant 2010 proviennent de la station météorologique du domaine du Merle).	172
Figure 96 : Les infrastructures territoriales en matière de tourisme en 2008. Source INSEE.....	181
Figure 97 : Evolution de l'offre d'hébergement touristique. Source : Insee 2011.....	182
Figure 98 : Les éléments les plus importants dans la décision en cas de choix entre plusieurs destinations (3 réponses possibles).....	183
Figure 99 : Evolution des températures mensuelles dans des villes méditerranéennes, entre 1961-1990, 2011-2030, 2046-2065. Scénario A1B du GIEC.....	186
Figure 100 : Evolutions du nombre de jours avec un indice de confort touristique (TCI) supérieur à 70 (conditions très favorables au tourisme). Période 2021-2050 comparée à 1971-2000. Gauche : moyenne des modèles ENSEMBLE, droite : valeurs individuelles des modèles.....	187
Figure 101 : Contribution des différents secteurs d'activités à la croissance de l'emploi salarié privé (2000-2010) Source : AUPA, 2010.....	193
Figure 102 Electro-sensibilité de la France au froid. Source : RTE – ADEME.....	194

Figure 103 : Exemple des effets de la chaleur sur une installation solaire de 10 kW. Source : Hepsul - Soleil Marguerite	196
Figure 104 : Projets de rénovations des digues d'ici 2020. Source : Symadrem	197
Figure 105 : Les douze vulnérabilités les plus fortes	202

Liste des entretiens réalisés

Organisme	Nom et Prénom
ACCM - Service eau et assainissement	Pecault Olivier Bo Alexandre
Association des Arrosants de la Crau	Guyot Fabienne Guichard Gaëtan Plazy Jean Louis Arlot Louis
Centre d'Etudes Techniques Méditerranée (CETE)	Charraud Sylvain
Centre Français du Riz	Thomas Cyril
Chambre Commerce et Industrie (Cci) Pays d'Arles	Jouteau Olivier
Chambre d'agriculture 13	Baury Claude
CIRAME	Ramel Jean-Pierre
Comité du Foin de Crau	Tronc Didier
DRAAF Paca/CED	Hors Jérôme
Domaine du Merle	Charron François
Hôpital d'Arles	Levraud Catherine
IRSTEA (projet R2D2)	Eric Sauquet
Jeunes Agriculteurs des Bouches-du-Rhône	Mazely Jérôme
Parc Naturel Régional des Alpilles (PNRA)	Pirastru Jean Michel Galand Nathalie
Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC)	Vadon Anne Granier Marie Marobin Delphine Arnassant Stephan
Syndicat Intercommunal du Canal des Alpines Septentrionale (SICAS)	Pourpe Noémie Reynaud Laurent
Syndicat Mixte de Gestion de la Nappe Phréatique de la Crau (SYMCAU)	Alcazar Charlotte
Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM)	Mallet Eric
Tour du Valat	Sandoz Alain
Ville d'Arles	Combé Odile
Ville d'Arles - Service Risques	Morvan Eric

Bibliographie

AFSSA	Rapport sur l'évaluation du risque d'apparition et de développement de maladies animales compte tenu d'un éventuel réchauffement climatique	Rapport	2005
AFSSET	Impacts sanitaires des installations en climatisation. Contribution au Plan Canicule	Rapport	2004
AFSSET - CSTB	Impacts sanitaires des installations de climatisation - Contribution Plan Canicule	Rapport	2004
ARVALIS Institut du Végétal - INRA	Lutte contre les taupins	Publication	2009
Association A.Rocha	Concertation sur l'avenir des Marais des Baux	Concertation	2007
Aznar, J.C., A. Dervieux et B. Picon	Les enjeux de la gestion hydraulique dans le delta du Rhône. Synthèse des travaux. Rapport final PNRZH. 76 p.	Article	2000
BCEOM	Etude globale du bassin versant du Vigueirat	Etude	2002
BRANCH - Natural England	Biodiversité et aménagement du territoire dans un climat en mutation. Rapport final du projet	Etude	2007
BRGM	Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Bouches du Rhône	Rapport	2005
BRGM	Phénomènes de submersion marine sur le littoral de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer	Publication	2002
Brisson, Caubel, INRA	Quelle adaptation de notre agriculture au changement climatique?	Publication	2008
Bruzzi Carole	Tempêtes morphologiques et ouvrages de défense côtière : le cas du littoral oriental du delta du Rhône	Rapport d'étude	1999
Camille Roumieux	Modélisation de la dynamique saisonnière d'Aedes (ochlerotatus) Capsius (Pallas, 1771) (Culicidae) en contexte de changement climatique	Thèse	2012
CC3	Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union Européenne	Livre vert	2007
CCE	Adaptation au changement climatique : vers un cadre d'action européen	Livre blanc	2009
CCRAD	Etude hydraulique sur le bassin versant Nord des Alpilles: sur l'Anguillon (d'Orgon à Chateaurenard) et sur le Vigueirat (jusqu'à St Gabrel à Tarascon)	Etude	2009
CEDD	Economie de l'adaptation au changement climatique	Rapport	2010
Cemagref	R2D2 2050	Programme de recherche	de 2013
CEMAGREF, G2C	Vulnérabilité sociale au risque inondation du Rhône aval – dans le cadre du programme de recherche régional « DIGSURE »	Programme de recherche	de En cours
Cemagref, Préfectures Gard et BdR	La crue du Rhône de décembre 2003 : Quels enseignements ? Table ronde n°2	Compte-rendu de réunion	de 2004
CEREGE	EUROSION Etude de cas sur le delta du Rhône	Programme de recherche	de
CEREGE, AO GICC-2	Programme IMPLIT: IMPACT DES EVENEMENTS EXTREMES (TEMPETES, SURCOTES) SUR LES HYDROSYSTEMES DU LITTORAL MEDITERRANEEN DANS LE CADRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	Programme de recherche	de 2007
Conseil général	Etude des effets des changements climatiques sur le territoire des Bouches-	Rapport	2012

Bouches-du-Rhône (TEC)	du-Rhône		
Conseil général Bouches-du-Rhône	Plan départemental de Protection contre l'Incendie		2009
CG 13 (Safege)	Etude de l'évolution du trait de côte du littoral des Bouches-du-Rhône au regard de l'érosion marine		2008
Conservatoire du littoral	« Chaud et froid sur le littoral », Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du littoral, Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100.	Atelier	2005
Chambre d'agriculture des Bouches-du-Rhône	Diagnostic agricole du Pays d'Arles	Rapport	2012
Chassain, R.	Pour un Plan de Gestion du Littoral Camarguais	Rapport mission	de 2010
CNRM	Cartopas	Outil en ligne	
CNRM	Plateforme DRIAS de mise à disposition des scénarios climatiques régionalisés	Outil en ligne/base de données	en de publié
CNRM – Sciences et vie	Simulateur climatique	Outil en ligne	
Cochran, Y. Caisse des Dépôts	Infrastructures de transport en France : vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation	Rapport	2009
Cœur D., Charensol G., DRE Rhône-Alpes	Inondations Rhône 2003	Film	2007
Colombert et al. CSTB	Climat urbain : de l'évolution des villes au changement climatique	Rapport	2006
Commission Européenne	Pêche et aquaculture en Europe - Changement climatique : quel impact sur la pêche	Publication	2007
Conseil général Bouches-du-Rhône	Plan Climat Energie Territorial (PCET) 13	Document d'orientations	2012
Conseil régional Paca	Schéma Régional d'Aménagement de Développement Durable des Territoires (SRADDT) Paca	Document d'orientations	
Conseil régional Paca	Plan Climat Energie Territorial (PCET) Paca	Document d'orientations	en cours
Conseil régional Paca, DREAL Paca (Sogreah)	Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) - Diagnostic	Document d'orientations	2012
Contrat de canal Crau Sud Alpilles	Contrat de canal Crau / Alpilles (diagnostic)	Rapport	2010
Cousin, A.	Propositions pour une stratégie nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, partagée entre l'État et les collectivités territoriales	Document stratégique	2011
CPIE, Maison du Fleuve Rhône	Etude bassin versant sud Arles: Perspectives pour la mise en valeur du Rhône méridional	Etude	2010
CR Paca	Schéma Régional de la Ressource en Eau (projet Source)	Document d'orientations	en cours
CREDOC - TEC	Météorologie, Climat et déplacements touristiques : comportements et stratégies des touristes	Rapport	2009

CTIFL	Conférence Balandran Fruits – CC septembre 2008	Conférence	2008
CYPRES PACA	Risques majeurs	Base de données	
DATAR	Comment expérimenter autour des paysages et du climat ?	Actes du colloque	2011
DDTM	Note sur la gestion des canaux du Pays d'Arles	Note	2012
DDTM / CETE	vulnérabilité de la camargue à l'aléa submersion marine	Rapport	2010
Delavière M. - Guégan J.-F. Ministère de la Santé	Les effets qualitatifs du changement climatique sur la santé en France	Rapport	2008
Dervieux A., Geneviève Jolly, G et Allouche, A.	Gestion de l'eau et projet de territoire : vers une gestion intégrée du delta du Rhône. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement. Vol 7, n°3.	Article	2006
Dervieux, A.	La difficile gestion globale de l'eau en Camargue (France) : le Contrat de delta. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement. Vol 6, n°3.	Article	2005
DESMID – PNRC	Enquête socio-ethnologique sur les perceptions de la démoustication et des moustiques auprès des populations des localités de Salin de Giraud et de Port Saint Louis du Rhône	Enquête	2007
DESMID - Université Aix Marseille	Listes de projets de recherche	Ressource en ligne	
DESMID - Université Aix Marseille	Le paysage éducatif : des paysages écologiques aux paysages urbains, quelle construction sociale des paysages dans les actions d'éducation à l'environnement	Programme de recherche	de 2004
DESMID - Université Aix Marseille	Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône : les catastrophes de 1856 et de 1993-94 (2001-2003).	Programme de recherche	de 2003
DESMID - Université Aix Marseille	CAMADAPT Adaptation aux changements globaux de la réserve de biosphère Camargue grand Delta	Programme de recherche	de 2010-2013
DGEC	Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles – Synthèse n°2	Publication	2010
DGPR	GASPAR	Base de données	
Direction régionale de l'environnement PACA	La plaine du Comtat Interface Grand-Avignon - Alpilles	Rapport	
DREAL PACA & Agence de l'eau RM&C	Diagnostic de la gestion quantitative de la ressource en eau de la Région Paca	Publication	2006
Dubois, G. et Ceron, JP.	Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme	Rapport	2007
Duchiron, Schnitzler INRA	La forêt face aux changements climatiques : de la gestion productiviste à une sylviculture de l'écosystème	Publication	2009
EDF	Les effets du changement climatique dans le domaine de l'eau et de l'énergie - Comment les limiter et s'y préparer?	Conférence	2011
EEA	Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation	Rapport	2007
EID Méditerranée, PNRC	Etude de définition des enjeux de protection du littoral sableux en Camargue, 3 vol (p 26-p36-p33)	Rapport d'étude	2006
Expertise scientifique collective. Amigues et	Sécheresse et agriculture. Adapter l'agriculture à un risque accru de manque d'eau	Publication	2006

al. - INRA

Forêt Méditerranéenne	Observer et s'adapter au changement climatique en forêt méditerranéenne - Actes du colloque de décembre 2010	Publication	2011
Forêt Méditerranéenne	Spécial Energie - Forêt Teritoires	Publication	2010
Forêt Méditerranéenne	Changements climatiques et forêt méditerranéenne - Actes du colloque Novembre 2007	Publication	2008
FP7 EU	PESETA Project	Projet de recherche	2012
François, B.	Gestion optimale d'un réservoir hydraulique multiusages et changement climatique. Modèles, projections et incertitudes Application à la réserve de Serre-Ponçon	Thèse	2013
Garcia de Cortazar-Atauri, I.	Adaptation du modèle STICS à la vigne : Utilisation dans le cadre d'une étude du changement climatique à l'échelle de la France	Publication	2006
GICC, Laurent Basilico, Natacha Massu, Daniel Martin	Changement climatique, impacts sur le littoral et conséquences pour la gestion	Séminaire	2010, Fréjus
GIEC	Working Group I contribution to the IPCC 5th Assessment Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis" + Résumé à l'attention des décideurs (ONERC)	Rapport	2013
GIEC	Contribution des groupes de travail I, II, III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC.	Rapport	2007
Groupe Interministériel (Ecofys)	Evaluation du coût des impacts du changement climatique en France	Rapport	2009
Hendrikx P.	Les maladies émergentes consécutives au réchauffement et à l'extension des zones humides, Les incidences sur la santé animale : l'exemple de la fièvre catarrhale du mouton	Publication	2000
IFEN	Pression foncière dans les cantons littoraux	Rapport	2003
INRA	Projet CLIMATOR	Livre vert, actes du colloque	2007 - 2010
INSERM	Surmortalité liée à la canicule d'août 2003	Rapport	2004
Lafarge	Connaissance karst	Etude	
Landmann G. - Breda N., Houllier F. - Dreyer E. - Flot J-L	Sécheresse et canicule de l'été 2003: quelles conséquences pour les forêts françaises ?	Publication	2003
Le Scouernec, M. INSEE	Dossier « Effets du changement climatique sur le tourisme »	Dossier	2008
Lelievre, Finot, StatgerSupAgroMtpl	Programme ClimFourel	Programme de recherche	2012
Létard et al.	La France et les français face à la canicule	Rapport	2003
LETARD, FLANDRE, LEPELTIER OPECST / Sénat	La France et les Français face à la canicule, Rapport de l'OPECST n°195	Rapport	2004
LITEAU	Colloque LITEAU Bordeaux 2011	Actes du colloque	

Maires	Lettre des élus de Boulbon St Pierre de Mézouargues Tarascon Vallabrègues – prévention risque inondation	Lettre au préfet	2008
MEDD	Éléments pour l'élaboration des plans de prévention du risque inondation La mitigation en zone inondable Réduire la vulnérabilité des biens existants	Document d'étape	2005
MEDDE, Mission interministerielle	Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts	rapport	2010
MEDDE/AERM	Plan de Bassin d'Adaptation au Changement Climatique	Avant projet	2013
MEDDE/AERM	Plan de Bassin d'Adaptation au Changement Climatique - Bilan des impacts	Rapport	2013
MEDDE/CEDD	Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts	Rapport	2010
MEDDE/CEGDD	Expertise du schéma de protection contre les crues du secteur de Tarascon-Arles	Présentation	2009
MEDDM (Sogreah)	Explore 2070: Eau et changement climatique: quelles stratégies d'atténuation possibles	Programme de recherche	de 2011-2013
MEEDDE/PREFECTURE DU GARD Service de prévision de crues Grand Delta	Règlement de surveillance de prévision et de transmission de l'information sur les crues (RIC)	Règlement	2012
MEEDDM - CGEDD	Les enjeux écologiques et fonciers en Camargue	Publication	2011
MEEDDM - CGEDD	Rapport du CGEDD n°005602-01 expertisant le dispositif de protection contre les crues du secteur de Tarascon-Arles	Expertise	2008
MEEDTL	Plan national d'adaptation de la France aux effets du changement Climatique 2011 – 2015	Plan	2011
Météo France	Estimation de l'impact du changement climatique dans le domaine de l'eau et des incendies de forêt	Rapport	2009
Ministère de l'Agriculture et de la pêche	Atlas départemental du risque d'incendie de forêt 13	Publication	2009
Nicolas, L.	Programme de recherche MEEDM « Eaux et Territoires – CAMPLAN	Programme de recherche	de En cours
OCDE	aspects économiques de l'adaptation au changement climatique	Rapport	2008
Olioso, A. et al.	Modelling of drainage and hay production over the Crau aquifer for analysing impact of global change on aquifer recharge	Publication	2013
Olioso, A. et al.	Bilan Hydrique des agrosystèmes de Crau face aux changements globaux	Publication	2013
ONERC	Villes et adaptation au changement climatique	Rapport	2010
ONERC	Changement climatique : Coût des impacts et pistes d'adaptation.	Rapport au Premier Ministre et au Parlement	2009
ONERC	Changements climatiques et risques sanitaires en France	Rapport	2007
ONERC - Groupe interministériel (Ecofys)	Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France	Rapport	2008

ONERC (Sogreah)	Stratégie Nationale d'Adaptation au changement climatique	Stratégie	2007
ONERC, dir. J.Jouzel	Le climat de la France au XXIe siècle Volume 2	Publication	Fév.2012
ONERC, dir. J.Jouzel	Le climat de la France au XXIe siècle Volume 3, Evolution du niveau de la mer	Publication	Fév.2012
ONERC	Impacts du changement climatique sur les activités vitivinicoles	Publication	2005
ONF	FOR CLIMADAPT		2010- 2013
Pachauri et al.	Bilan 2007 des changements climatiques : Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC	Rapport	2007
Pays d'Arles – SCOT	ELABORATION DU SCOT DU PAYS D'ARLES Réunion d'échange entre le Syndicat Mixte du Pays d'Arles et la DDE	Compte-rendu de réunion	2009
Pays d'Arles- SCOT	Comptes-rendu du groupe inondations SCOT	Comptes-rendus de réunion	2009
Picon, B. et M. Provensal,	Faut-il se protéger de la mer ? Instabilités naturelles et politiques publiques dans le delta du Rhône. Faire Savoirs, vol. 2.	Article	2002
Picon, B. et M. Provensal,	Faut-il se protéger de la mer ? Instabilités naturelles et politiques publiques dans le delta du Rhône. Faire Savoirs, vol. 2.	Article	2002
Plan Rhône	Plan Rhône 2007-2013 : les objectifs	Document stratégique	2007
Plan Rhône	Plan Rhône : Objectif de compétitivité régionale et emploi 2007-2013	Document de mise en œuvre (DOMO)	2007
PNRA	Charte PNRA	Document d'orientations	2005
PNRA	Diaporama : la paysage des Alpilles	Ressource en ligne	
PNRA	La Directive de protection et de mise en valeur des paysages des Alpilles	Diaporama de présentation	
PNRA	Etude diagnostic et prospective sur les ressources et les besoins en eau du territoire du Parc Naturel Régional des Alpilles – Présentations et CR d'ateliers	Relevé de réunion	2011
PNRA (Artelia)	Etude diagnostic et prospective de la ressource et des besoins en eau	Etude	en cours
PNRC	Charte PNRC	Document d'orientations	2011
PNRC	Forum scientifique : 40 ans de recherche au service de la gestion en Camargue	Actes du colloque	2010
PNRC	Atlas de la réserve de biosphère de Camargue	Atlas	2012
PNRC – PNRA	Documents d'objectifs des sites Natura 2000	Document d'objectifs	
PNRC, BRGM	Etude des phénomènes de submersion marine sur le littoral de la commune des Saintes-marie de la Mer	Rapport d'étude	2003
PNRC, DESMID	Paysages et développement durable	Programme de recherche	

Préfecture BdR	DTA Bouches-du-Rhône	Document de planification	2007
Préfecture BdR	Dossier Départemental sur lesrisques majeursdans les Bouches-du-Rhône	Orientations	
Préfecture de la zone de Défense et de Sécurité Sud	PROMETHEE	Base de données	
Préfecture des Bouches-du-Rhône	PPRIa de la commune d'Arles (zonage, rapport, règlement)	Document de planification	2012
Préfecture des Bouches-du-Rhône	PAC submersion marine Camargue	Lettre du préfet	2010
Préfecture PACA	CPER Paca 2007-2013	Contrat de Pays	2007
Provansal M. et F. Sabatier,	Impacts de la montée du niveau de la mer sur la côte du delta du Rhône. in Actes du col d'Arles, Roland Paskoff éd., « Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. ». pp : 78-82	Article	2000
Provansal M. et F. Sabatier,	Impacts de la montée du niveau de la mer sur la côte du delta du Rhône. in Actes du col d'Arles, Roland Paskoff éd., « Le changement climatique et les espaces côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses. ». pp : 78-82	Article	2000
Rigolot, E.	Impacts du changement climatique sur les feux de forêt	Présentation	2007
Rocha, A. (école supérieure agronomique de Montpellier)	Adaptation de l'activité agricole à un contexte de zone inondable ou zone humide	Etude	2007
Roman-Amat B.	Préparer les forêts françaises au changement climatique	Publication	2007
Rosecchi, E., P. Chauvelon, G. Poizat et A. Crivelli, TOUR DU VALAT	Conséquences de la variabilité hydro-saline d'un complexe lagunaire méditerranéen, induite par la gestion hydraulique et les contraintes climatiques, sur ses peuplements piscicoles: le cas du système Vaccarès. Programme de recherches LITEAU I, Rapport Final et annexes	Programme de recherche	de 2003
Seguin, B.	Forêts et milieux naturels face au changement climatique	Publication	2007
Seguin, B.	Le changement climatique : conséquences pour l'agriculture et la forêt. Rayonnement du CNRS n°54	Article	2010
Sfez, L. et A. Cauquelin,	Attitudes face à l'adaptation au changement climatique : le cas de la camargue. Rapport CREDAP – CREDATIC, 90 p	Article	2006
SGAR Paca (Ecofys)	Mission d'étude et de développement des coopérations interrégionales et européennes - MEDCIE Grand Sud Est: Etude sur les effets du changement climatique à horizon 2030, 2050, 2100 - Phase 1	Publication	2008
SGAR Paca (RCT-Explicit)	MEDCIE Grand Sud Est Phase 2	Publication	2010
SGAR Paca (Sogreah)	MEDCIE Grand Sud Est Phase 3	Publication	en cours
SICAS	Pré-diagnostic réseau canaux irrigation	Rapport	2009
SMPA – CR Paca	Contrat de Pays 2011-2013 : Vers un éco-territoire pour le Pays d'Arles	Contrat de Pays	2011
SMPA – PNRA – PNRC	Etude Stratégie énergétique	Rapport d'étude	2010

SMPA – SCOT	Diagnostic enjeux ScoT – 1ère phase de travaux	Rapports	2007
Suarez Serge, Sabatier François	Eléments de réflexion pour une gestion plus cohérente d'un système anthropisé : exemple du littoral du delta du Rhône	Rapport d'étude	1999
SYMCAU	Diagnostic qualitatif/quantitatif et analyse de l'évolution des risques sur la nappe de Crau	Rapport	2009
Thibaudon M. RNSA	Pollens, allergies et changement climatique	Rapport	2007
Tour-du-Valat	GIZCAM: Gestion Intégrée d'une Zone humide littorale méditerranéenne aménagée : la CAMargue	Programme de recherche	de 2009
Vennetier et al.	Adaptation phénologique P. Alep changement clim. Forêt Méditerranéenne (32)2 151-167	Publication	2011
VERSeau Développement, MEDDTL	Changement climatique et littoral méditerranéen : comprendre les impacts, construire l'adaptation – Synthèse des programmes de recherche CIRCLE-Med 2008-2011		2012
	Contrat de delta	Document stratégique	2012