



Plan Climat Air Energie

⇒ Vulnérabilités du territoire aux changements climatiques

Novembre 2021

Ce diagnostic des vulnérabilités du territoire de la communauté de communes Saint-Martin Vercors Isère est réalisé dans le cadre de l'élaboration du PCAET.

Certaines des problématiques qu'il aborde mériteraient d'être approfondies.

En l'état, il répond à l'attente exprimée par la communauté de communes de disposer d'un support pour "*structurer une première réflexion sur l'adaptation au changement climatique du territoire*".

Vulnérabilité aux changements climatiques : la définition du GIEC¹

" Le degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques auxquelles un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation ".

¹ Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (en anglais : IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change).

Sommaire

1. LE CLIMAT CHANGE	4
1.1. A l'échelle planétaire	4
1.2. En France	5
1.3. En Rhône-Alpes	6
2. LES ÉVOLUTIONS DU CLIMAT ET SES CONSÉQUENCES SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES	7
2.1. Ce que l'on peut dire des évolutions du climat sur le territoire	7
2.1.1. Températures	9
2.1.2. Précipitations	11
2.1.3. Evènements "extrêmes"	13
2.2. Les conséquences des changements climatiques sur le territoire	14
2.2.1. Eau	14
2.2.2. Transformations des milieux naturels	17
2.2.3. Santé	22
2.2.4. Risques	33
2.2.5. Activités agricoles	38
2.2.6. Forêt	46
3. ANNEXES	49
3.1. Personnes contactées	49
3.2. Sigles, abréviations et précisions	50
3.3. Les épisodes de canicule et leur impact sur la santé en France depuis 2003	52
3.4. L'impact des vagues de chaleur sur la santé	55
3.5. Le changement climatique va stimuler les pandémies et autres menaces sur la santé	58
3.6. Les territoires identifiés comme vulnérables aux changements climatiques dans le cadre du SDAGE.	61
3.7. La production agricole face aux sécheresses et canicule	64
3.8. Irrigation : développer des stratégies adaptées	65
3.9. Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau	68
3.10. Gérer la biodiversité des sols pour améliorer la résilience des agrosystèmes et leur adaptation au changement climatique	70
3.11. Une vision synthétique des principales conséquences des changements climatiques pour l'agriculture	71
3.12. Le projet ClimSec	72
3.13. L'occupation des sols sur le territoire Sud Grésivaudan	73
3.14. Exemples d'incidences des changements climatiques à l'échelle planétaire	74

1. Le climat change

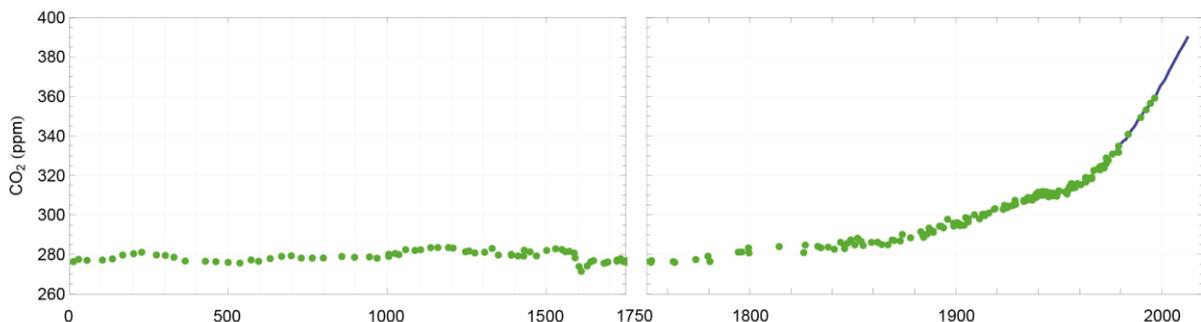
1.1. A l'échelle planétaire

En un peu plus d'un siècle (entre 1880 et 2012), la température moyenne à la surface de la Terre a augmenté de 0,85°C².

Ce réchauffement s'accélère ; chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850.

La comparaison entre les observations et les simulations du climat permet d'attribuer l'essentiel du réchauffement climatique des 50 dernières années aux gaz à effet de serre d'origine humaine. Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle. Cette augmentation s'explique en premier lieu par l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) et en second lieu, par le bilan des émissions dues aux changements d'utilisation des sols (déforestation notamment).

Concentrations de CO₂ (dioxyde de carbone) dans l'atmosphère depuis 1750
en partie par million (ppm) (source : 5e rapport du Giec, chapitre 6, 2013)



"Le cumul des émissions de CO₂ détermine dans une large mesure la moyenne mondiale du réchauffement en surface vers la fin du XXI^e siècle et au-delà" (rapport du GIEC)

Cette évolution se poursuit : d'ici 2100, la température moyenne à la surface de la terre pourrait encore augmenter, de 0,3° (dans le cas d'une réduction drastique, peu probable, des émissions mondiales de gaz à effet de serre) à près de 6°³.

Ce réchauffement est important : l'étude des carottes de glace prélevées en Antarctique ou au Groenland sur quelques centaines de milliers d'années révèle en effet que l'écart de température moyenne du globe entre une ère glaciaire et une ère interglaciaire n'est que de 4 à 6°C.

Il est également extrêmement rapide et, plus encore que son ampleur, c'est cette rapidité qui pose problème : **avec le climat, ce sont les conditions de vie qui se modifient très rapidement, avec des incidences majeures pour les activités humaines⁴.**

Le recul des glaciers de montagne, la montée du niveau des océans, la réduction de la surface occupée par la banquise et bien d'autres signes encore témoignent d'ores et déjà de ce réchauffement. Les résultats des simulations montrent également des variations du régime des précipitations. Mais les moyennes cachent des disparités notables : l'augmentation des températures et les conséquences du changement climatique ne se manifesteront de façon uniforme, **toutes les régions du globe ne seront pas touchées de la même façon**. Malgré cela, les différents modèles s'accordent sur un certain nombre de tendances pour la fin du XXI^{ème} siècle :

- **le réchauffement sera plus marqué sur les continents que sur les océans**, le réchauffement maximal étant prévu pour les régions arctiques ;
- à l'échelle planétaire, **le cycle de l'eau va s'intensifier**, ce qui implique un accroissement des précipitations moyennes sur les régions les plus humides et une diminution sur les régions les plus arides.

² <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-climat-futur-a-l-echelle-du-globe>

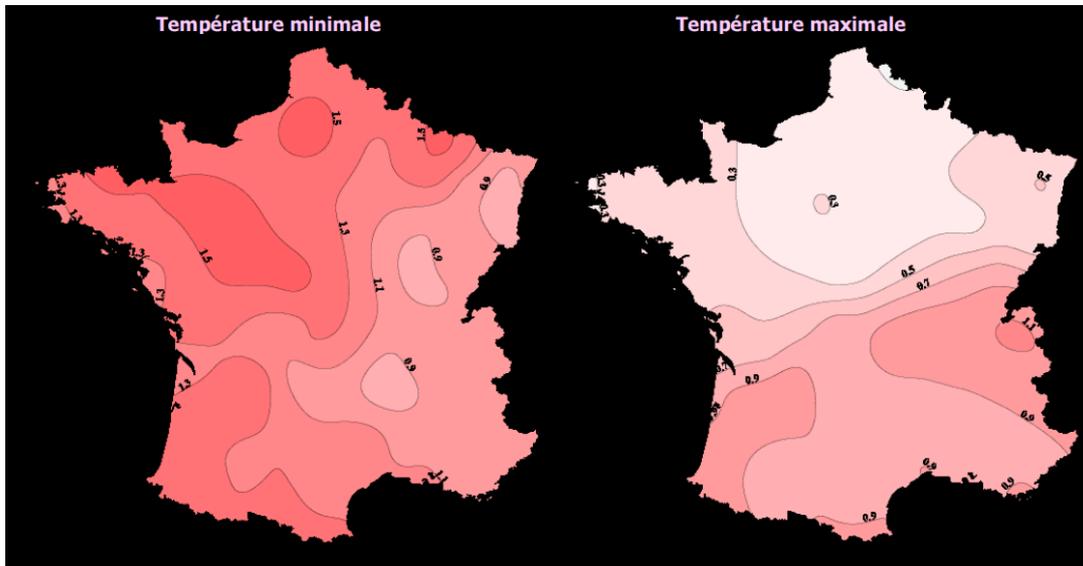
³ <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/le-climat-futur-a-l-echelle-du-globe>

⁴ Cf. les "Exemples d'incidences des changements climatiques à l'échelle planétaire" en annexe, p. 92.

1.2. En France

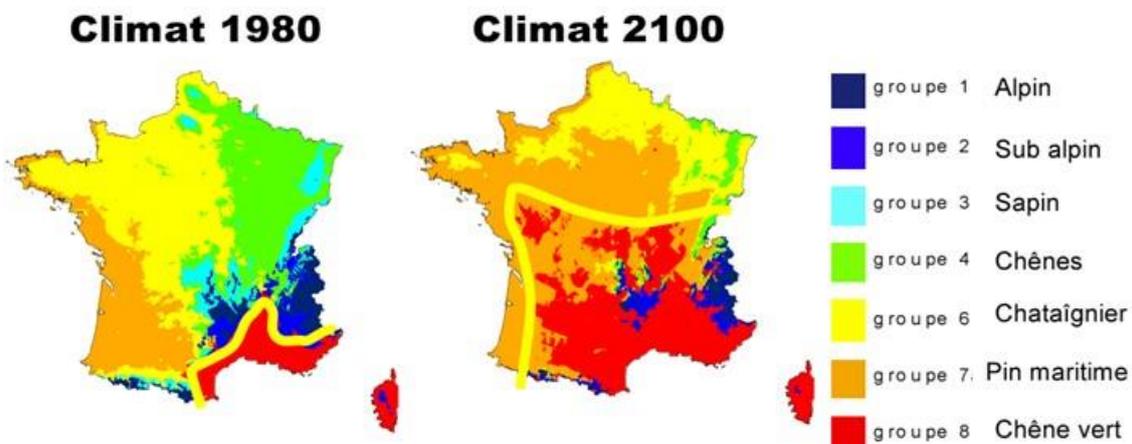
Le réchauffement observé en France est un peu supérieur à celui que l'on observe à l'échelle de la planète : les températures y ont augmenté de près d'un degré au cours du XX^{ème} siècle.

L'augmentation des températures en France au cours du XX^{ème} siècle ⁵:



Ce réchauffement se poursuit et s'amplifiera au cours du XXI^{ème} siècle, avec des conséquences importantes, notamment sur le régime des précipitations et la disponibilité de l'eau.

Ces évolutions modifient progressivement tout notre environnement ; on s'attend ainsi par exemple à une évolution importante de l'aire de répartition des principales formations forestières :



En France, l'évolution des précipitations est contrastée. Elles sont en hausse progressive lors de la période hivernale et en diminution pour la période estivale. Toutefois, un renforcement des précipitations extrêmes est observé sur une large partie du territoire (et notamment dans le sud), avec une forte variabilité dans les zones concernées⁶.

⁵ http://climat.meteofrance.com/chgt_climat2/chgt_climatique/constat/climat_rechauffe_france?page_id=13586

⁶ <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-du-changement-climatique-sur-leau>

1.3. En Rhône-Alpes

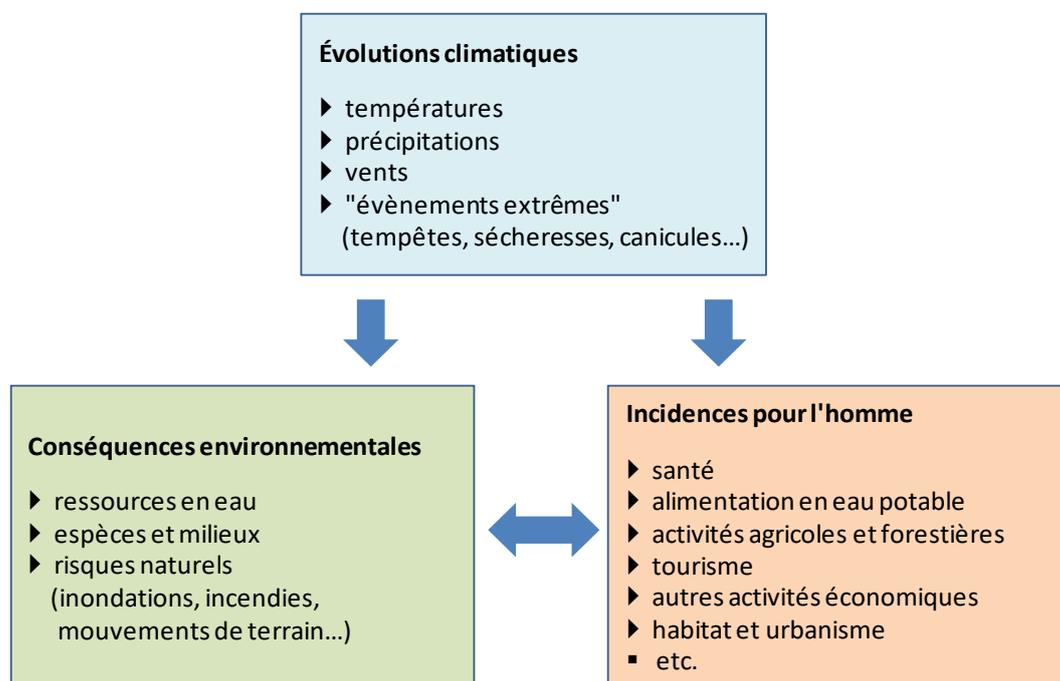
L'étude réalisée par Météo France dans le cadre de la préparation du SRCAE⁷ (Schéma Régional Climat Air Energie) identifie un certain nombre d'évolutions en Rhône-Alpes au cours du XXI^{ème} siècle :

- ▶ **une forte hausse des températures minimales l'été**, modélisée dans sa fourchette haute jusqu'à 6.5°C en moyenne pour la fin du siècle,
- ▶ **une baisse conséquente du nombre de jours de gel printanier**, qui pourrait conduire à ne voir apparaître ce phénomène en moyenne qu'une année sur deux dans les plaines drômoises à l'horizon 2080,
- ▶ **l'augmentation des températures maximales**,
- ▶ **l'explosion des situations caniculaires** dans la seconde moitié du siècle,
- ▶ **une tendance à la baisse du cumul des précipitations annuelles**, qui cache néanmoins des disparités saisonnières comme la très forte diminution des pluies estivales en plaine à l'horizon 2080, avec une diminution envisagée du cumul de 25 à 40% - mais une légère hausse dans le sud des Alpes à l'horizon 2030,
- ▶ **une augmentation du nombre de jours consécutifs de sécheresse** (d'ici là, ce nombre se stabiliserait ou diminuerait légèrement au nord de la région, mais augmenterait au sud),
- ▶ **un nombre de jours consécutifs secs par été en augmentation**,
- ▶ **pas de tendance observée sur les dernières décennies concernant le nombre ou l'intensité des tempêtes** (les projections effectuées jusqu'à présent ne suggèrent pas de modification du nombre ou de l'intensité des tempêtes pour le XXI^{ème} siècle).

⁷ *Etude du changement climatique pour le SRCAE Rhône-Alpes*, Etude réalisée par Météo-France Centre-Est, Division Développements-Etudes-Climatologie, pour la DREAL Rhône-Alpes, janvier 2011.

2. Les évolutions du climat et ses conséquences sur le territoire de la Communauté de communes

Les évolutions climatiques ont des conséquences directes sur les activités humaines, et des conséquences indirectes à travers leur impact sur l'environnement :



Ces évolutions climatiques et leurs conséquences sont décrites dans les pages qui suivent, à travers :

- ▶ ce que l'on peut dire des évolutions du climat sur le territoire (ci-dessous),
- ▶ leurs conséquences (à partir de la page 14) sur :
 - les cycles et la disponibilité de l'eau d'une part, les milieux naturels d'autre part,
 - les activités humaines.

2.1.Ce que l'on peut dire des évolutions du climat sur le territoire

L'évolution des principales variables climatiques au cours des décennies à venir est analysée à partir des données mises à disposition dans le cadre de Drias^{les futurs du climat} (<http://www.drias-climat.fr/>) . Coordonné par Météo France, Drias^{les futurs du climat} a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME).

Précisions méthodologiques

Les scientifiques utilisent depuis 2013 quatre scénarios d'émission de gaz à effet de serre : les RCP ("*Representative Concentration Pathway*"). A partir de ces scénarios de référence, les équipes travaillent simultanément : les climatologues produisent des projections climatiques utilisant les RCP comme entrée, tandis que les socio-économistes élaborent des scénarios d'émission qu'ils comparent aux scénarios RCP⁸.

Les quatre scénarios RCP s'intitulent RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 et RCP 8.5. Ces chiffres sont ceux du forçage radiatif, exprimé en W/m^2 , de chacun de ces scénarios à l'horizon de la fin du XXI^{ème} siècle. Un forçage radiatif est un changement du bilan radiatif (différence entre le rayonnement entrant et le rayonnement sortant) au sommet de la troposphère (situé entre 10 et 16 km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat - comme la concentration des gaz à effet de serre⁸. Ils traduisent ainsi différentes hypothèses d'évolution du climat.

⁸ <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/175>

Nous avons choisi de présenter les évolutions du climat sur le territoire de la Communauté de communes à partir des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 parce que :

- ▶ il est désormais acquis que le scénario RCP 2.6, correspondant à l'hypothèse de politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C (objectif fixé fin 2015 lors de la COP 21 à Paris), sera malheureusement inéluctablement dépassé,
- ▶ le scénario RCP 6.0, se rapproche sensiblement du scénario 4.5 (même s'il conduit à des conséquences plus pessimistes).

⇒ En définitive, **le choix des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 permet de dégager une trajectoire des évolutions climatiques auxquelles le territoire doit se préparer** fondées sur des hypothèses que l'on peut brièvement résumer de la façon suivante :

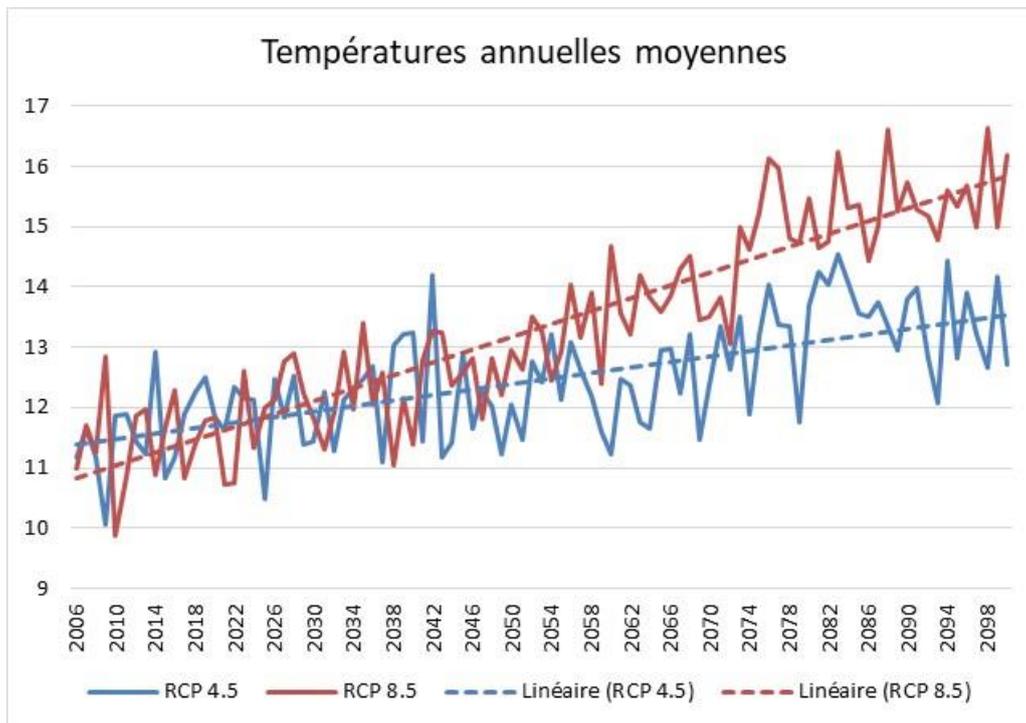
RCP 4.5	Ce scénario se fonde sur l'hypothèse d'une population mondiale qui atteint un maximum de 9 milliards d'individus au milieu du siècle pour décliner ensuite, avec une économie rapidement dominée par les services, les "techniques de l'information et de la communication", et dotée de technologies énergétiquement efficaces, mais sans initiatives supplémentaires par rapport à aujourd'hui pour gérer le climat. Ce scénario est le plus optimiste.
RCP 8.5	Ce scénario prolonge les tendances actuelles jusqu'à la fin du XXI ^{ème} siècle.

Les données utilisées sont celles des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME) et mises à disposition par Météo France sur le portail Drias^{les futurs du climat}⁹. La résolution spatiale de la grille de représentation des données la plus fine est de 8 km. Nous avons utilisé les données de la maille géographique centrée sur Saint-Vérand (modèle ALADIN, données 2006 à 2100).

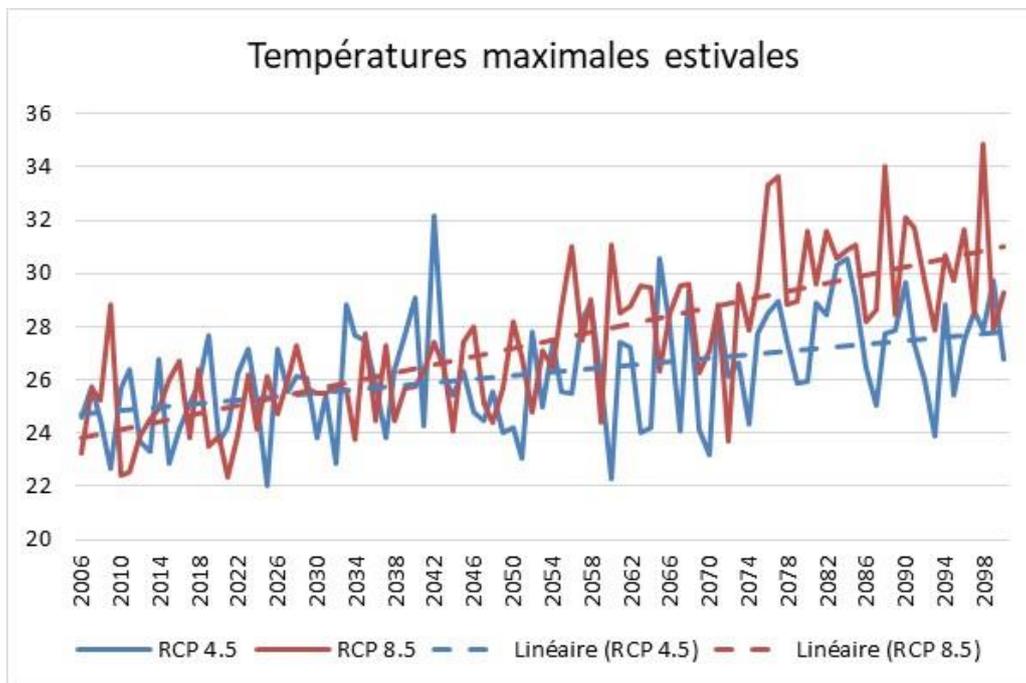
⁹ <http://www.drias-climat.fr/>

2.1.1. Températures

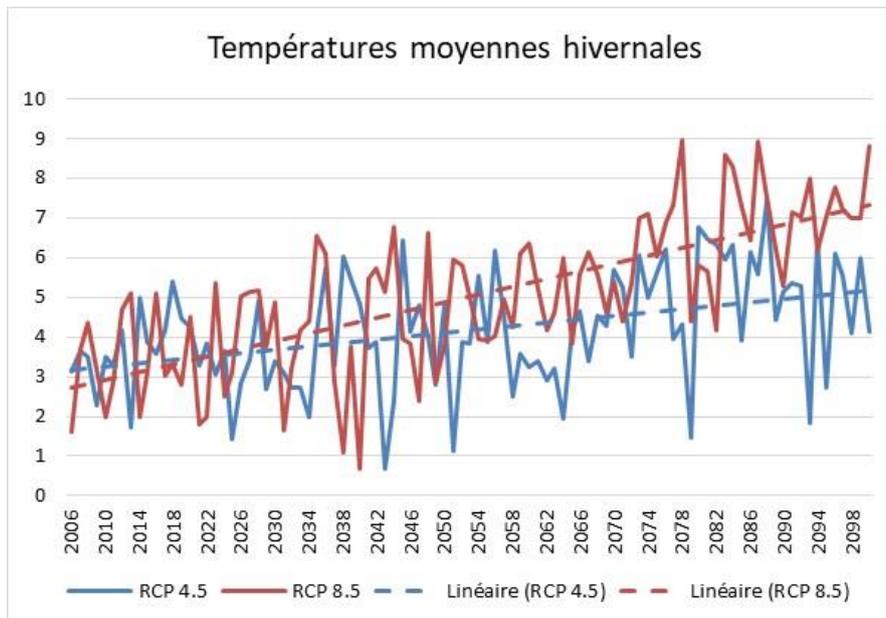
L'augmentation attendue des températures annuelles est très nette : de 2 à 5° environ d'ici la fin du siècle.



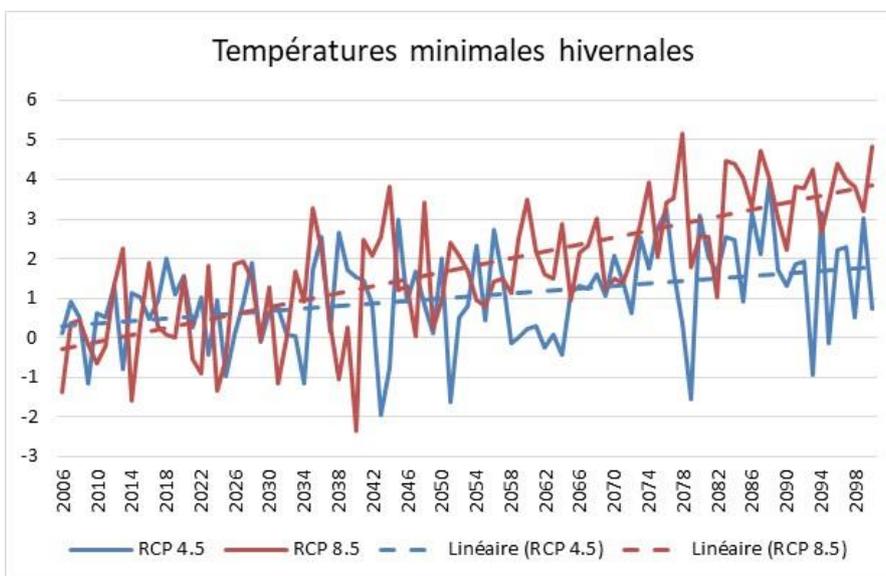
Avec une augmentation importante des plus fortes chaleurs estivales : de 3 à 7° environ



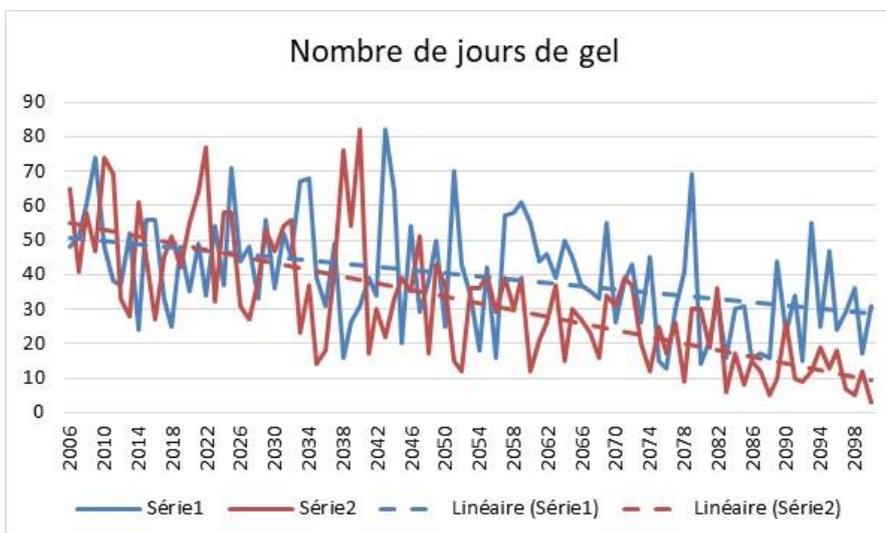
En hiver, les températures moyennes augmentent aussi:



Mais la tendance la plus significative, notamment dans ses conséquences pour la faune, la végétation et les cultures, est le relèvement des minimales hivernales :

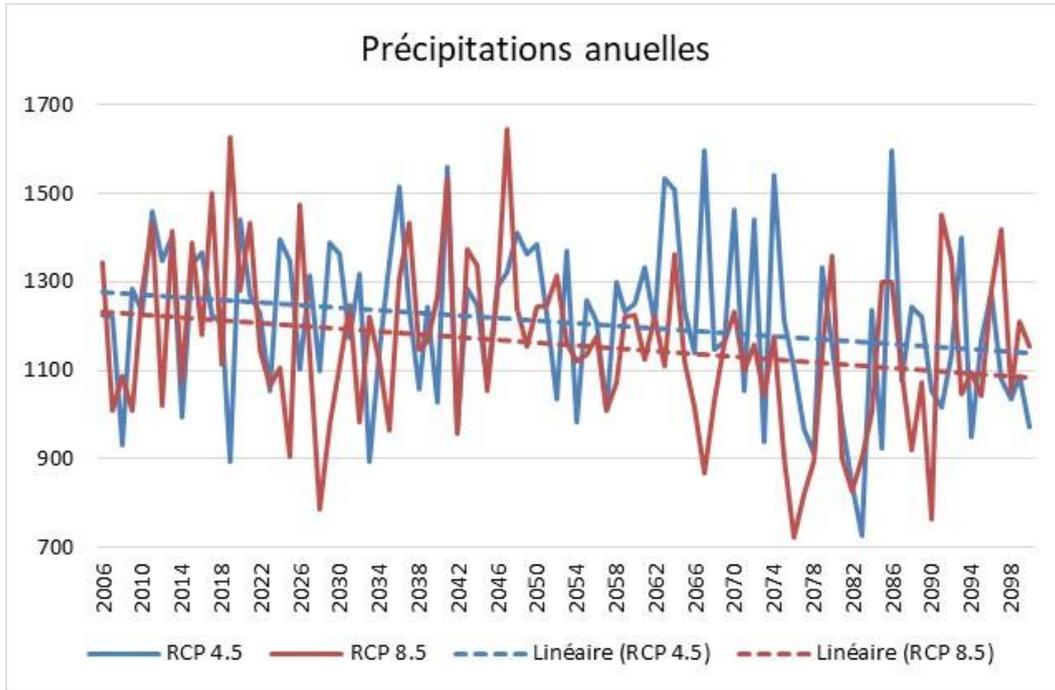


avec une réduction très importante des périodes de gel :

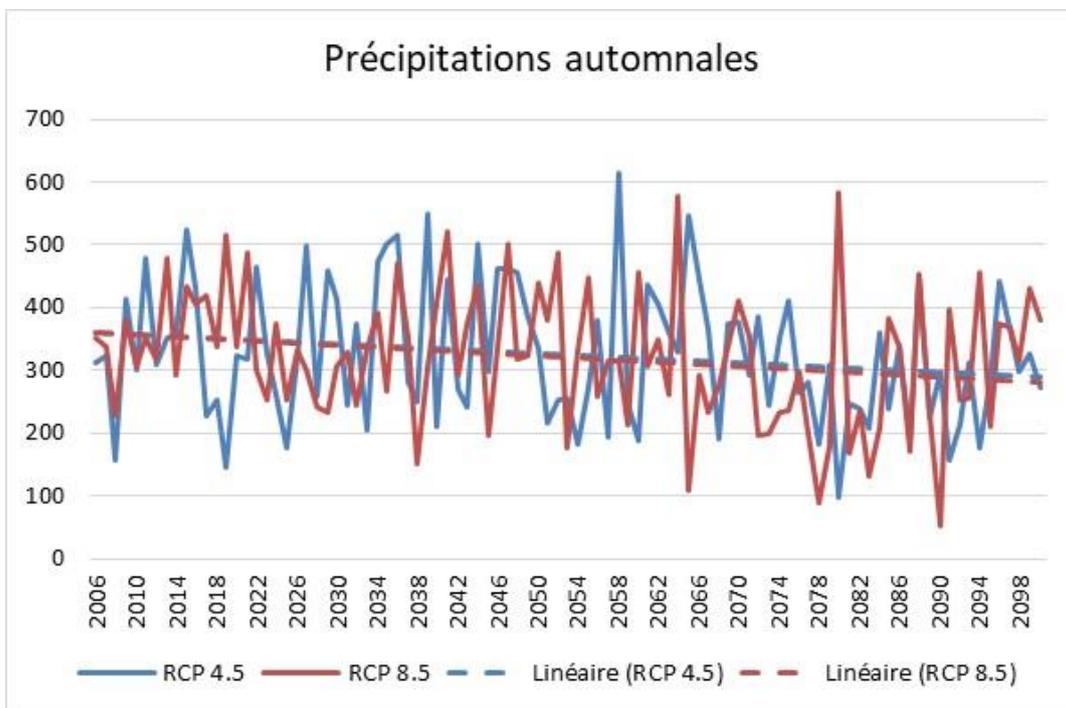


2.1.2. Précipitations

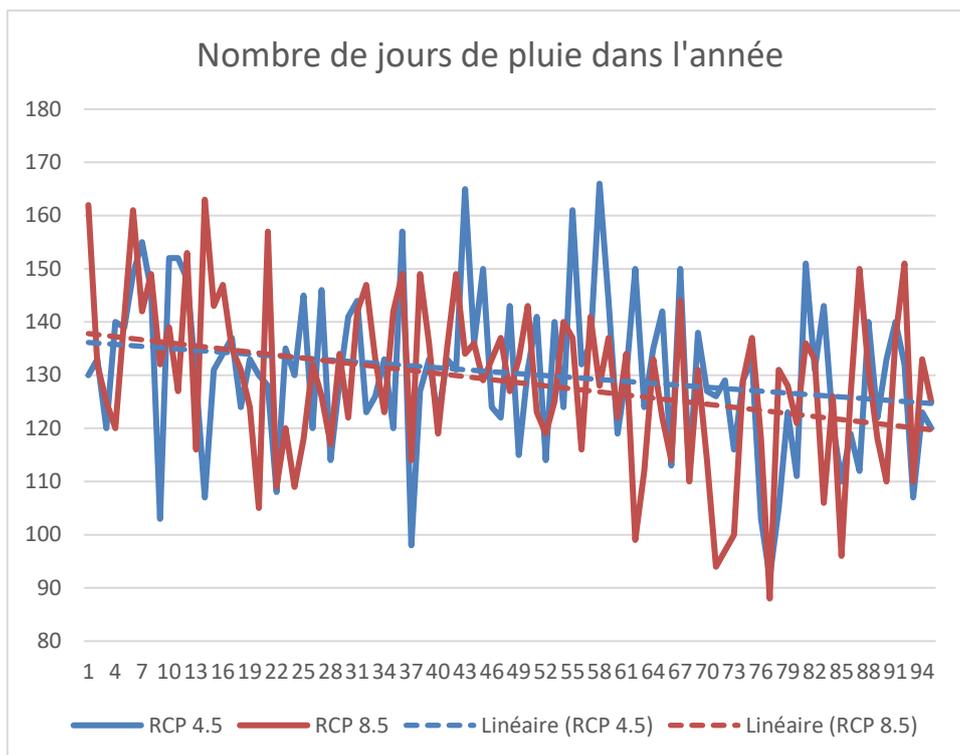
On s'attend à une diminution sensible des précipitations annuelles, de l'ordre de 15% d'ici la fin du siècle, quel que soit le scénario :



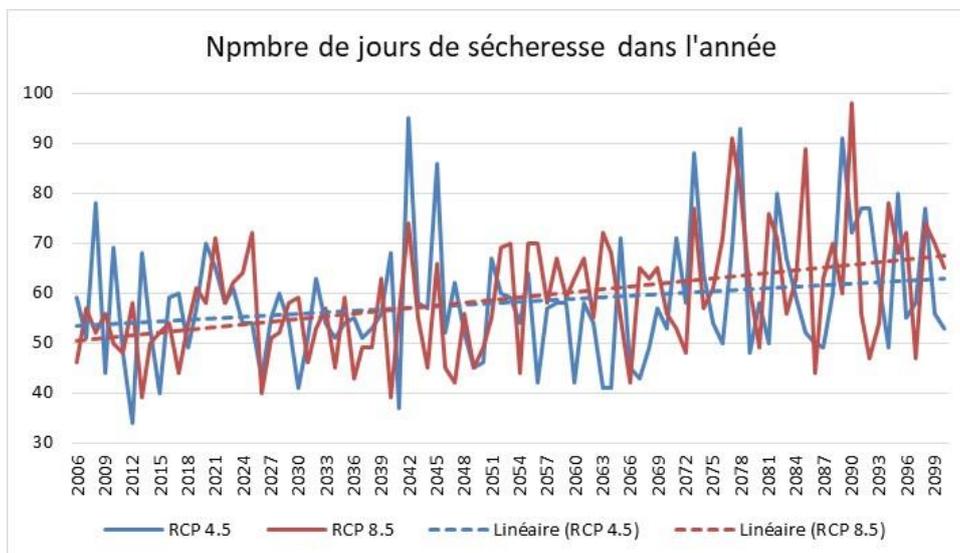
plus marquée à l'automne qu'aux autres saisons :



Mais ces précipitations seront surtout moins régulières : le nombre de jours de pluie diminue :



avec pour corollaire une augmentation du nombre de jours de sécheresse :



et des conséquences :

- ▶ pour la végétation, soumise l'été à un double stress, thermique et hydrique,
- ▶ pour la recharge des nappes souterraines, avec un déficit pluviométrique d'automne.

2.1.3. Evènements "extrêmes"

Contrairement à une idée répandue, il n'est actuellement pas possible de dire si le changement climatique s'accompagnera d'une augmentation du nombre des évènements qualifiés d'"extrêmes" (tempêtes, tornades...). "Sur l'Atlantique nord en particulier, l'activité cyclonique varie naturellement selon des cycles de plusieurs dizaines d'années. Avec un recul d'une quarantaine d'années seulement, il est impossible de distinguer l'impact du changement climatique de la variabilité naturelle du phénomène"¹⁰. Cette observation vaut également pour la fréquence des épisodes de fortes pluies. "En l'état actuel de l'analyse des observations, on ne note pas de tendance marquée à l'augmentation du nombre d'épisodes de pluies diluviennes dans le Sud-Est de la France depuis qu'on peut les recenser de manière précise (à partir de 1958)"¹¹.

En revanche :

- ▶ il en accentue l'ampleur,
- ▶ il a des conséquences majeures sur le régime des précipitations, qui deviennent de plus en plus irrégulières, avec des conséquences importantes sur le cycle et donc la disponibilité de l'eau¹².

En résumé¹³ :

- ▶ **L'augmentation des températures, importante, s'accompagne d'une évolution du régime des précipitations, qui deviennent plus irrégulières,**
- ▶ **Les hivers deviennent plus doux, avec en particulier un relèvement des minimales hivernales qui a des répercussions profondes, sur les conditions de vie et la répartition des espèces animales et végétales comme pour les systèmes de production agricoles et forestiers,**
- ▶ **Les étés enregistrent des pointes de température plus élevées,**
- ▶ **L'effet des vents ne doit pas être sous-estimé, notamment parce qu'il accentue l'évapotranspiration et contribue ainsi à entretenir une sécheresse des sols dont les conséquences peuvent être plus importantes que la seule sécheresse climatique.**

Ces évolutions, dont on connaît les tendances mais dont il est difficile de préciser le rythme et l'ampleur, s'accompagnent d'une augmentation de la variabilité climatique ; le changement climatique n'est uniforme ni dans le temps ni dans l'espace : c'est à un dérèglement climatique tout autant qu'à un changement climatique que nous devons faire face.

Ces tendances, déjà observables, vont progressivement s'accroître, avec des conséquences sur l'environnement (ressources en eau, milieux, paysages) ainsi que pour les personnes et les activités humaines.

Ces conséquences sont de deux natures :

- ▶ **l'évolution des variables climatiques modifie progressivement les conditions de vie,**
- ▶ **des aléas plus "sévères" engendrant des risques accrus : inondations, épisodes de sécheresses, canicules, etc.**

L'ampleur des évolutions en cours est importante, mais plus encore leur rapidité : elles sont comparables, sur guère plus d'un siècle, à des évolutions qui s'étalaient historiquement sur des milliers d'années. Elles entraînent des changements de nos conditions de vie face auxquelles les adaptations spontanées et progressives sont insuffisantes.

¹⁰ "Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique", ONERC, Rapport au Premier ministre et au Parlement, La documentation française, 2019, p. 43.

¹¹ Météo France – "Évolution des pluies méditerranéennes et changement climatique", <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Evolution-des-pluies-mediterraneennes-et-changement-climatique.html>, consulté le 3 mars 2020.

¹² Outre les inondations qu'elles peuvent provoquer, des pluies diluviennes sur de courtes périodes ne permettent notamment pas à l'eau de s'infiltrer, et par conséquent de recharger les nappes souterraines, comme le font des pluies plus régulières.

¹³ Les tendances résumées ici ne font pas fi de la variabilité climatique : des évènements qui ne concordent pas avec ces tendances se sont toujours produits et continueront de se produire ; en témoigne par exemple la période de grand froid du mois de février 2012.

2.2. Les conséquences des changements climatiques sur le territoire

2.2.1. Eau

Au niveau national, "l'un des principaux défis à relever, si ce n'est le plus grand de tous, sera de faire converger une offre qui va diminuer avec une demande qui, déjà par endroits, n'est pas satisfaite et va encore augmenter du fait du réchauffement climatique. (...) Si l'on considère une stabilité de la demande, un déficit supplémentaire de 2 milliards de m³ pour la satisfaction des besoins actuels de l'industrie, l'agriculture (irrigation) et l'alimentation en eau potable serait observé à l'horizon 2050". (PNACC¹⁴, p. 81).

LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE BASSIN RHONE-MEDITERRANEE¹⁵

"Les projections d'évolution des paramètres de température, d'évapotranspiration et de neige sont des signes très nets d'une tendance vers la raréfaction de la ressource en eau, ce que les résultats des études d'impacts sur les débits confirment.

Avec une baisse généralisée des débits moyens à long terme, la gestion quantitative par l'augmentation de l'offre (stockage, ressources de substitution) ne sera certainement plus durable dans la plupart des cas. Le déficit de ressources et de précipitations devrait en effet toucher tous les territoires, même ceux dont la ressource est aujourd'hui considérée comme abondante (...)

De plus, **la viabilité de certains usages pourrait être mise en cause par les évolutions climatiques.** La question notamment de la forte saisonnalité de la demande en eau sur certains territoires, qui fait souvent correspondre un pic de demande en eau avec la période de moindre disponibilité de la ressource, se posera très probablement de façon plus aiguë qu'actuellement (...)

Malgré ces projections de baisse généralisée de la ressource en eau, on a pu noter que **les débits élevés et l'impact des crues ne devraient pas baisser, et pourraient même s'aggraver (...)**

Les incidences du changement climatique ne concernent pas uniquement la gestion quantitative de l'eau. A la lecture des impacts possibles sur l'hydrologie, **le lien entre la quantité et la qualité de l'eau apparaît renforcé, et la question des rejets devra certainement être réévaluée face à des débits d'étiage fortement diminués et à des milieux dont la capacité d'autoépuration pourrait baisser (...)**

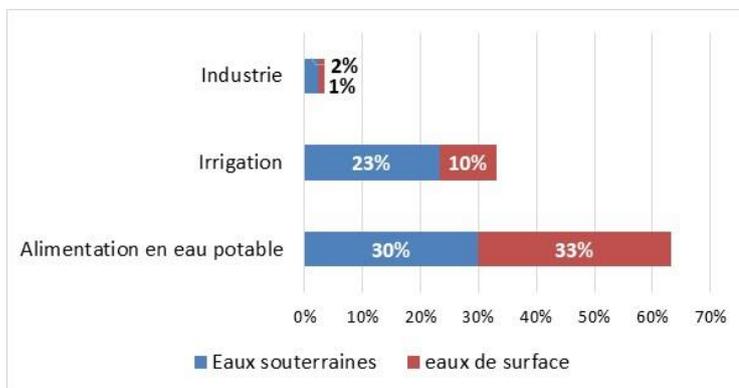
Le bon état des eaux s'impose comme un prérequis indispensable pour faire face aux impacts du changement climatique. **Toute mesure qui permettrait d'améliorer la résilience des milieux aux pressions va dans le sens d'une adaptation au changement climatique".**

⇒ Ces impacts ont fait de l'adaptation aux effets des changements climatiques la première des priorités du SDAGE (schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux) Rhône-Méditerranée 2016-2021.

Les changements climatiques accentuent le déséquilibre quantitatif des ressources en eau que connaît le territoire de la communauté de communes.

■ Un déséquilibre quantitatif

L'ensemble des prélèvements sont estimés à 8,3 millions de mètres cubes, auquel il faut ajouter 5,4 millions de mètres cubes prélevés dans l'Isère pour l'irrigation¹⁶.



auxquels il faut ajouter les prélèvements dans l'Isère pour l'irrigation.

¹⁴ Plan national d'adaptation au changement climatique.

¹⁵ "Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse" - Bilan des Connaissances, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, septembre 2012.

¹⁶ Source : étude des volumes prélevables.

■ Un déficit de ressources

Le SDAGE a identifié les bassins versants du Sud Grésivaudan parmi les territoires en déficit quantitatif, et vulnérables pour cette raison aux changements climatiques¹⁷. L'étude réalisée sur les volumes prélevables a confirmé ce diagnostic. *La majorité des cours d'eau subit des étiages naturellement contraignants pour le milieu. Certains sont dans le même temps fortement sollicités, car ils concentrent la majeure partie des prélèvements en eau du territoire alors qu'ils présentent très souvent des débits très faibles voir nuls en période estivale. C'est le cas du Merdaret, du Furand et de la Cumane, en particulier les tronçons du Merdaret à Chatte, ou du Furand à Saint-Antoine l'Abbaye.*

L'étude préconise dans un premier temps de ne pas aggraver une situation déjà contraignante pour le milieu :

- ▶ *sur les bassins versants de l'Armelle, du Frison, du Vézy de la Lèze, de la Drevenne, du Nant et du Merdare, l'objectif est un "gel des prélèvements" c'est-à-dire ne pas augmenter par rapport à la situation de référence les prélèvements qui pourraient à terme devenir impactant pour le milieu.*
- ▶ *sur les bassins versants de la Cumane, du Furand (amont) et du Merdaret des efforts de réduction sont attendus principalement les prélèvements AEP, excepté sur l'aval des cours d'eau où les prélèvements agricoles sont majoritaires.*

Le bassin versant du Tréry est l'exception du territoire : moins sollicité et surtout avec une ressource naturelle soutenue et pérenne qui lui permet de satisfaire les besoins minimums du milieu en période d'étiage sévère, il peut soutenir des prélèvements supplémentaires.

Un agriculteur, sur les hauts de Saint-Antoine-l'Abbaye, témoigne :

"En l'espace de 20 à 25 ans, les rivières, qui coulaient toute l'année, ne coulent désormais plus été.

Il y a sur mon exploitation un puits de 11 m de profondeur qui, du temps de mon grand-père, avait toujours de l'eau. Ce puits est à sec depuis longtemps.

De façon générale, toutes les sources ont baissé, même si elles n'ont pas pour autant nécessairement tarri".

■ Des déséquilibres que les changements climatiques ne pourront qu'accentuer.

Les changements climatiques accentuent les déséquilibres quantitatifs, avec "un effet ciseau" entre l'augmentation des besoins d'un côté et la diminution des ressources de l'autre.

↘ Diminution des ressources	↗ Augmentation des besoins
<ul style="list-style-type: none">▶ L'irrégularité croissante des précipitations réduit les possibilités d'infiltration, et par conséquent de recharge des aquifères¹⁸▶ Les débits d'étiage des cours d'eau diminuent.	<ul style="list-style-type: none">▶ Les besoins en eau des plantes augmentent, en particulier en période estivale, à travers une évapotranspiration plus marquée et une moindre recharge des horizons superficiels des sols et des nappes.▶ La demande en eau potable augmente également, pour comporter en particulier des effets de la chaleur.

L'irrégularité croissante des précipitations, qui se traduit par des épisodes de sécheresse plus prononcés et prolongés d'un côté, et de précipitations plus intenses de l'autre, a pour double effet de réduire la recharge des aquifères et d'augmenter les risques torrentiels ou d'inondation.

C'est la raison pour laquelle le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) explique que *"la question de la recharge des nappes doit être pensée en lien avec les enjeux de gestion du risque inondation et ceux de la gestion des milieux aquatiques"*. Il s'agit entre autres de maximiser le potentiel d'infiltration (à pluviométrie égale, l'infiltration moyenne passe ainsi de plus de 70 % en zone naturelle à moins de 30 % en zone imperméabilisée) et de concevoir les aménagements visant à augmenter les zones d'expansion de crues afin qu'ils répondent à la fois aux objectifs de limiter le risque d'inondation et de favoriser la recharge des nappes (en ralentissant les écoulements et favorisant l'infiltration).

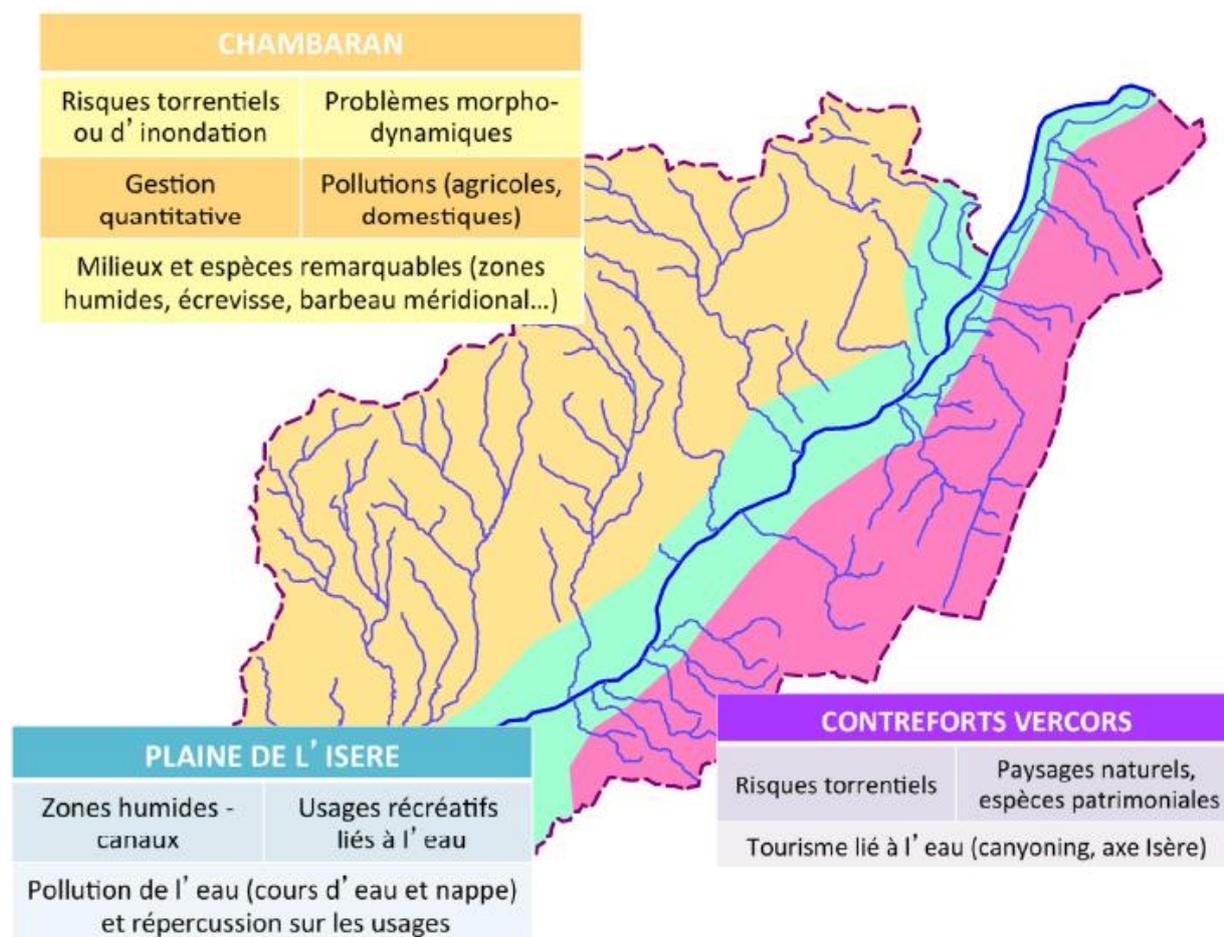
¹⁷ cf. annexe p. 78.

¹⁸ Le BRGM (Rapport RP-65807-FR, 2016) estime que la recharge future sera affectée par une baisse comprise en -5% et -25% sur la région Rhône-Alpes.

Les conséquences quantitatives des changements climatiques se conjuguent avec des conséquences qualitatives. La réduction des débits d'étiage, notamment, porte atteinte à la qualité et à l'équilibre biologique des cours d'eau durant l'été. L'augmentation des températures et le manque d'eau dans les rivières conduisent à :

- la non atteinte du bon état écologique ;
- la modification des communautés biologiques (réduction de la biodiversité) ;
- la moindre capacité d'autoépuration des rejets domestiques (en particulier sur les installations individuelles) – et par conséquent à revoir, pour les renforcer, les standards des dispositifs d'épuration.

En définitive, les changements climatiques accentuent l'ensemble des enjeux identifiés dans le cadre du SAGE :

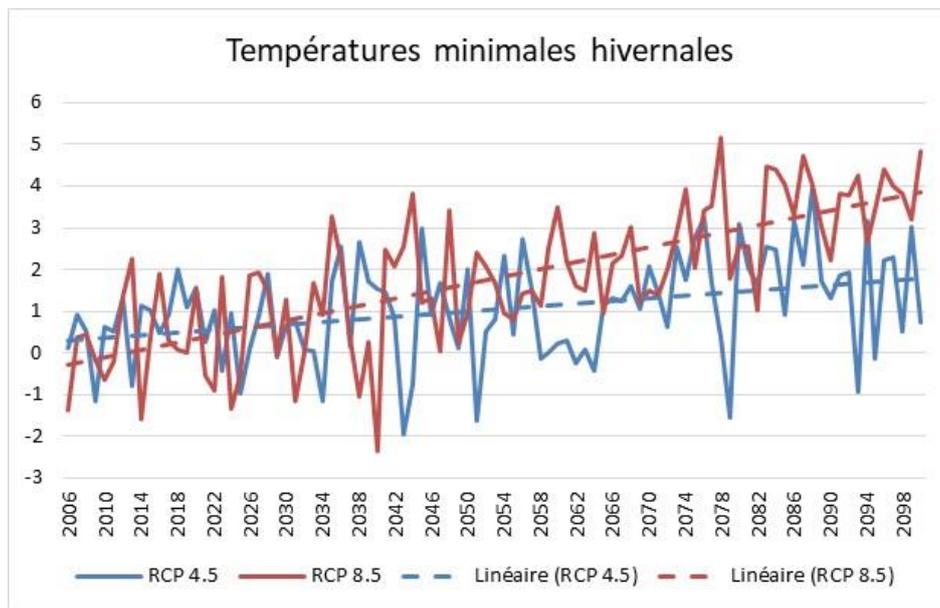


2.2.2. Transformations des milieux naturels

Les conditions de vie de la faune et de la flore sont notamment déterminées par les températures hivernales minimales et par la disponibilité de l'eau en période estivale.

De ce point de vue, deux manifestations du changement climatique sont particulièrement importantes.

La première, déjà mentionnée¹⁹, est celle du relèvement des températures hivernales minimales :



Cela peut notamment entraîner des conséquences pour :

- ▶ les espèces dont l'aire de répartition est jusqu'à présent limitée par des températures hivernales trop basses pour elles (l'apparition depuis quelques années des cigales sur le territoire de la Communauté de communes, insectes emblématiques d'un climat provençal, est symptomatique de ces évolutions),
- ▶ les essences qui ont besoin d'une période suffisante de froid durant l'hiver pour assurer ensuite une bonne floraison,

avec des répercussions en particulier sur la propagation et la répartition des espèces animales²⁰ et végétales (⇒ modifications des écosystèmes, apparition ou développement de parasites ou d'agents pathogènes²¹), et les conditions de développement des cultures (⇒ moins bonne floraison d'arbres fruitiers, par exemple).

La seconde est celle de la disponibilité en eau des sols²², notamment pendant la saison chaude.

Il est important de rappeler que la **disponibilité de l'eau n'est pas seulement celle des cours d'eaux et des aquifères**, indispensable pour répondre aux besoins des activités économiques et domestiques. **Elle est aussi celle des sols**, car cette disponibilité en eau des sols est déterminante pour les activités agricoles et forestières, bien sûr, mais aussi d'une façon plus générale pour l'ensemble des milieux "naturels" et leur *résilience*, c'est-à-dire leur capacité à s'adapter à des conditions de vie qui évoluent ; **elle conditionne ainsi dans une large mesure le devenir des territoires et de leurs paysages.**

¹⁹ Cf. p. 13

²⁰ "Parmi les bénéficiaires du changement climatique figurent la plupart des espèces d'insectes dont l'activité est amplifiée par l'augmentation de températures et qui survivront d'une année sur l'autre du fait d'hivers de plus en plus doux. L'agriculture et la sylviculture sont particulièrement concernées par cette évolution. De plus, le changement climatique n'aura pas seulement des conséquences sur les plantes et les animaux mais affectera aussi les micro organismes, bactéries, champignons et autres populations microbiennes qui accomplissent une myriade de fonctions importantes pour la vie sur Terre" (SRCAE Rhône-Alpes).

²¹ Par exemple, "avec le relèvement des températures minimales hivernales, d'autres espèces de moustiques [que le moustique tigre] pourraient se développer", vecteurs d'"infection virale à fort potentiel pandémique" ⇒ cf. p. 36.

²² "L'extension moyenne des sécheresses des sols depuis 1959 est (...) très nette depuis les années 1990. Depuis le début du XXIème siècle, douze années sur dix-sept ont dépassé la moyenne des surfaces touchées sur la période 1961-1990. Les années 2003, 2005, 2011, 2017 et aussi 2018 ont occasionné des sécheresses de grande ampleur". ("Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique", ONERC, Rapport au Premier ministre et au Parlement, La documentation française, 2019, p. 35).

C'est donc sous ces deux aspects qu'il convient d'aborder la question des conséquences du changement climatique sur la disponibilité de l'eau :

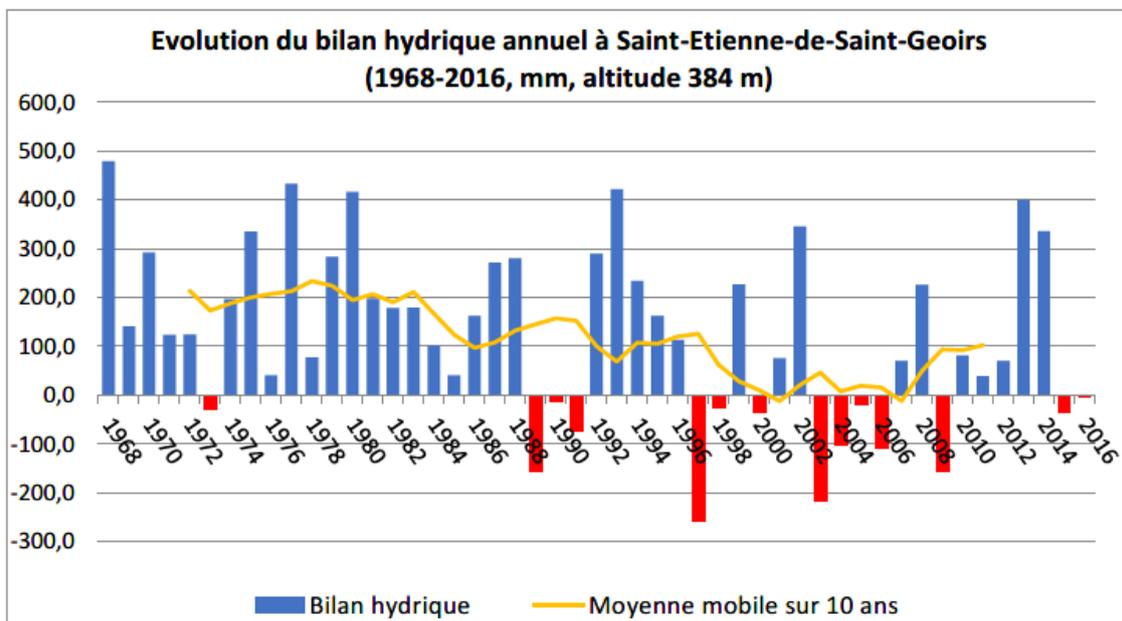
- le premier de ces deux aspects concerne principalement les eaux souterraines et superficielles.
- le second concerne les sols, considérés comme un "compartiment" essentiel des milieux "naturels", qu'ils soient agricoles, forestiers ou "sauvages".

Cela conduit à bien différencier les types de sécheresse²³ qui peuvent affecter la disponibilité des eaux :

- ▶ La **sécheresse météorologique** correspond à un déficit prolongé de précipitations.
- ▶ La **sécheresse des sols** se caractérise par un déficit en eau des sols superficiels (entre 1 et 2 m de profondeur), suffisant pour altérer le bon développement de la végétation. Elle dépend des précipitations et de l'évapotranspiration des plantes. Cette notion tient compte de l'évaporation des sols et de la transpiration des plantes (l'eau puisée par les racines est évaporée au niveau des feuilles). La sécheresse des sols est donc sensible aux précipitations, à l'humidité et à la température de l'air, au vent mais aussi des caractéristiques physiques et biologiques des sols, qui déterminent leur capacité à retenir une eau disponible pour les plantes.
- ▶ La **sécheresse hydrologique** se manifeste enfin lorsque les lacs, rivières ou nappes souterraines montrent des niveaux anormalement bas. Elle dépend des précipitations mais aussi de l'état du sol, qui influence les conditions de ruissellement et d'infiltration. Le réseau hydrographique et les caractéristiques des nappes déterminent les temps de réponse aux déficits de précipitations observés sur différentes périodes. La disponibilité hydrologique de l'eau découle en grande partie des réserves souterraines, dont l'alimentation (la "recharge") est principalement tributaire des précipitations automnales et hivernales.

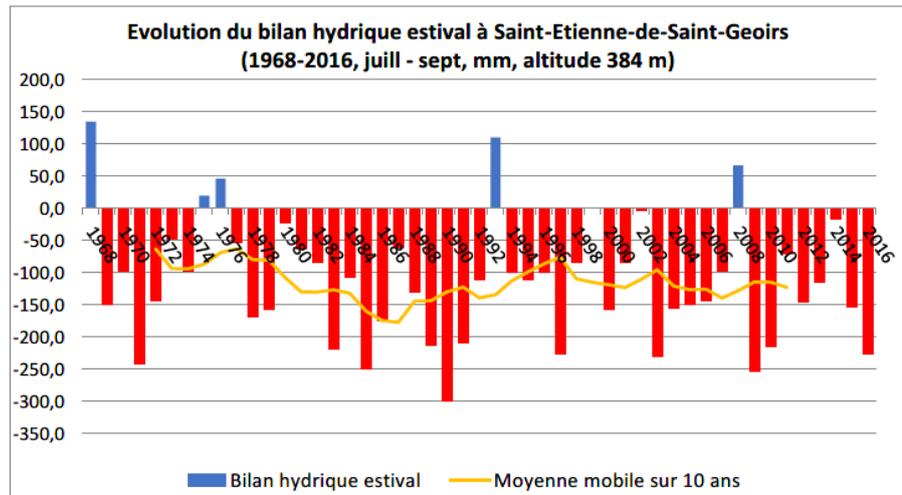
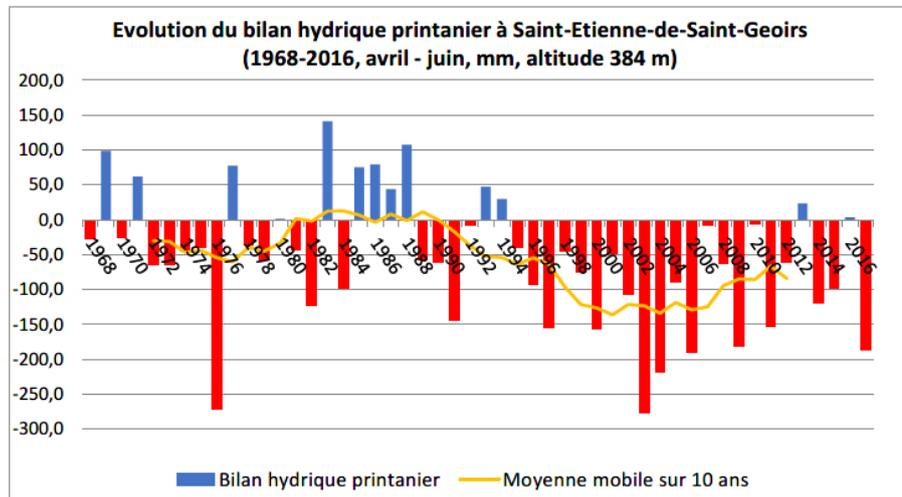
On observe déjà une diminution de la disponibilité en eau des sols.

L'évolution de cette disponibilité peut être traduite à travers le bilan hydrique, qui correspond à l'écart entre les apports et les pertes d'eau pour un couvert végétal et rend ainsi compte de la variation du stock d'eau du sol. On ne dispose pas d'un tel bilan sur le territoire de la Communauté de communes. Cependant, on observe, à partir des années 90, une baisse du bilan hydrique annuel, sur tous les départements d'Auvergne-Rhône-Alpes, ainsi que des déficits hydriques de plus en plus marqués au printemps et en été. C'est ce que montre bien le suivi du bilan hydrique réalisé sur la station de météo France la plus proche du territoire de la Communauté de communes, à Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs. Ce bilan, en moyenne annuelle, tend à diminuer :



²³ D'après Météo France, <http://www.meteofrance.fr/actualites/74452368-canicule-une-secheresse-deja-marquee-en-france>

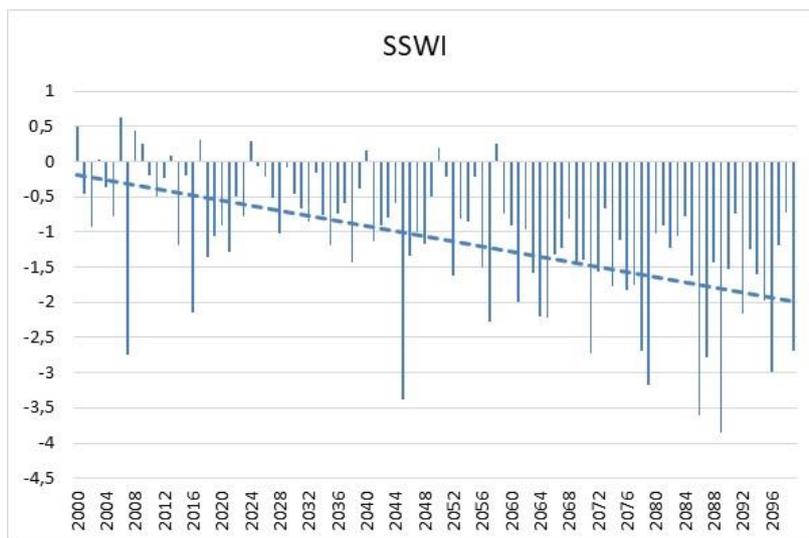
Mais ce qui est le plus significatif, c'est que ce bilan est chroniquement négatif au printemps et en été, lorsque les besoins de la végétation sont évidemment les plus importants²⁴.



Cette évolution s'accroîtra dans les prochaines décennies.

Le SSWI (Standardized Soil Wetness Index) - parfois improprement appelé indice de sécheresse "agricole", caractérise en réalité l'état d'humidité d'un sol. Lorsqu'il est égal à 0, il caractérise une situation d'équilibre entre l'eau disponible dans le sol et les besoins des plantes. Lorsqu'il diminue, cela signifie que l'humidité du sol n'est plus suffisante pour répondre de façon satisfaisant aux besoins des plantes.

L'évolution attendue du SSWI au XXI^{ème} siècle sur le territoire de la communauté de communes²⁵



²⁴ Ces trois graphiques du bilan hydrique de la station Météo France de Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs sont extraits du profil climat territorial de la communauté de commune Saint-Martin Vercors Isère communauté réalisée par l'ORCAE.

²⁵ Source des données : Drias^{les futurs du climat}.

La disponibilité en eau des sols diminue, avec pour conséquence un stress hydrique des végétaux, accentué par l'augmentation des températures.

Cette sécheresse des sols a et aura des conséquences majeures pour la végétation, qu'il s'agisse des plantes sauvages ou cultivées, et par conséquent pour les cultures, les forêts, et les milieux naturels d'une façon générale ; elle aura ainsi des répercussions importantes sur les paysages, et donc sur la physionomie du territoire.

L'expertise réalisée en 2006 par l'INRA sur l'évolution en France des sécheresses au XXI^{ème} siècle et leurs conséquences pour l'agriculture²⁶ considère ce scénario comme "*particulièrement inquiétant*" ; elle indique que :

- ▶ ces évolutions "*deviendront "très significatives" au milieu du siècle ("Des sécheresses inhabituelles en termes d'expansion spatiale ou d'intensité pourraient apparaître")*,
- ▶ *à la fin du siècle (...), il y a une grande probabilité qu'une grande partie du territoire connaisse de très longues sécheresses du sol, quasiment sans retour à la situation normale, définie par le climat actuel (...). Cet assèchement du sol en moyenne se retrouve en toute saison.*

Cette expertise souligne que l'augmentation des températures accentuera l'évaporation, et que les sécheresses du sol seront ainsi plus rapides et plus fortes que les sécheresses météorologiques ; c'est bien l'effet conjugué de l'évolution du régime des précipitations et de l'augmentation des températures qui remet en cause la disponibilité en eau des sols pour la végétation²⁷.

Les projections climatiques indiquent surtout que notre pays risque de connaître, lors de la seconde moitié du XXI^e siècle, des sécheresses quasi continues et de grande intensité, totalement inconnues dans le climat actuel ²⁸.

Coordonné par Météo-France, le projet de recherche ClimSec²⁹ s'est intéressé, de 2008 à 2011, à l'impact du changement climatique sur les sécheresses en France métropolitaine. Les simulations effectuées à l'aide de modèles climatiques régionalisés sur la France ont fourni des informations capitales sur l'évolution prévisible des sécheresses au cours du XXI^e siècle selon trois scénarios socio-économiques caractérisant les politiques climatiques suivies et leurs conséquences en matière d'évolution des concentrations en gaz à effet de serre : B1 scénario optimiste, A1B intermédiaire, A2 pessimiste. De manière générale, les résultats de ces simulations mettent en évidence une augmentation continue des sécheresses du sol en moyenne annuelle sur le territoire métropolitain au cours du XXI^e siècle. En fin de siècle, les projections réalisées à partir des trois scénarios s'accordent globalement sur un niveau moyen annuel d'humidité des sols correspondant au niveau extrêmement sec de la période de référence 1961-1990 ³⁰.

²⁶ "Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau Expertise scientifique collective", Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2006.

²⁷ Le rapport d'expertise précise ainsi que : "*cet élément [l'augmentation de l'évaporation liée à celle des températures] semble prépondérant dans la compréhension des changements du cycle hydrologique au XXI^e siècle et rend inadaptée la prise en compte des seules précipitations comme variable explicative pour décrire l'évolution des sécheresses*". Dit autrement : "*L'augmentation plus rapide du risque de sécheresse agricole comparée à celle du risque de sécheresse météorologique s'explique par une augmentation de l'évapotranspiration en surface directement liée à l'augmentation de la température*" ("Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique", ONERC, Rapport au Premier ministre et au Parlement, La documentation française, 2019, p. 70).

²⁸ <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/47512>

²⁹ Pour davantage de détails, voir "Le projet Climsec", en annexe, p. 90.

³⁰ <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/impacts-du-changement-climatique-sur-les-phenomenes-hydrometeorologiques/changement-climatique-et-secheresses>

Zones humides : une préservation importante

Les zones humides deviennent à la fois plus fragiles (en raison des épisodes de sécheresse) et plus nécessaires (pour réguler la variabilité croissante des précipitations et contribuer à retenir l'eau).

Les zones humides assurent d'importantes fonctions biologiques, car elles abritent de nombreuses espèces animales et végétales, mais aussi hydrologiques, car elles participent à la régulation des eaux (zones d'expansion des crues, soutien des débits d'étiage et alimentation des nappes).

Elles constituent ainsi une "*infrastructurelle naturelle*" dont le rôle est encore plus important dans un contexte marqué par une variabilité accrue du régime des précipitations et des épisodes de sécheresse plus prononcés en durée et en intensité, mais elles peuvent en même temps être fragilisées par ces évolutions.

"Les zones humides (...) sont des milieux dont la fragilité pourrait s'accroître face aux évolutions climatiques (évaporation, pluviométrie). 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.

Les zones humides devraient être affectées par les variations de température et d'évapotranspiration (risques d'assèchement ou d'eutrophisation) et par les variations de pluviométrie ou de débits, selon leur fonctionnement hydrologique (assèchement ou risque d'inondation voire de submersion)".

Les zones humides, sur le territoire de la communauté de commune, sont principalement le long de l'Isère³¹



³¹ D'après la Cartographie de l'inventaire des zones humides d'Auvergne-Rhône-Alpes
https://carto.datara.gouv.fr/1/portail_zh_dreal_r84.map

2.2.3. Santé

Les conséquences des changements climatiques sur la santé peuvent être directes, à travers en particulier l'effet des températures sur l'organisme, lors notamment de fortes chaleurs, ou indirectes, lorsqu'elles influencent le développement d'allergènes ou de pathologies. L'impact des conditions météorologiques peut en outre se combiner avec celui de la qualité de l'air.

2.2.3.1. L'impact des vagues de chaleur

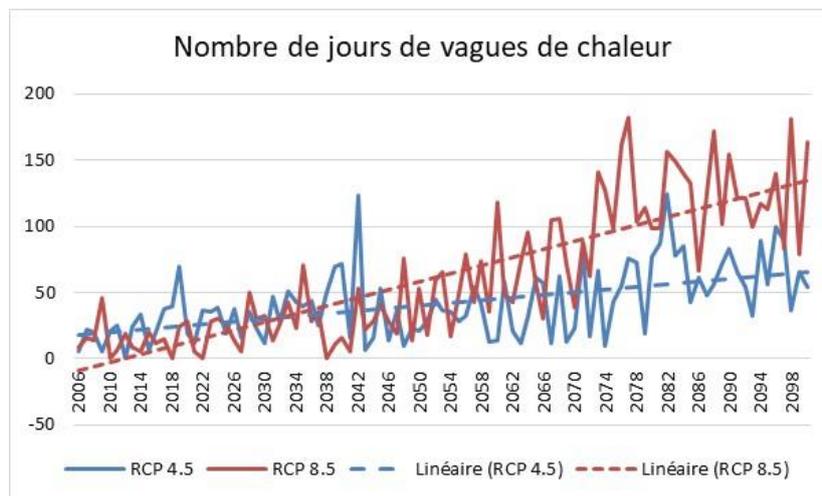
■ AU NIVEAU NATIONAL

"L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur en France est sans équivoque : les vagues de chaleur recensées depuis 1947 à l'échelle nationale ont été deux fois plus nombreuses au cours des trente-quatre dernières années que sur la période antérieure. Cette évolution se matérialise aussi par l'occurrence d'événements plus forts (durée, intensité globale) ces dernières années"³².

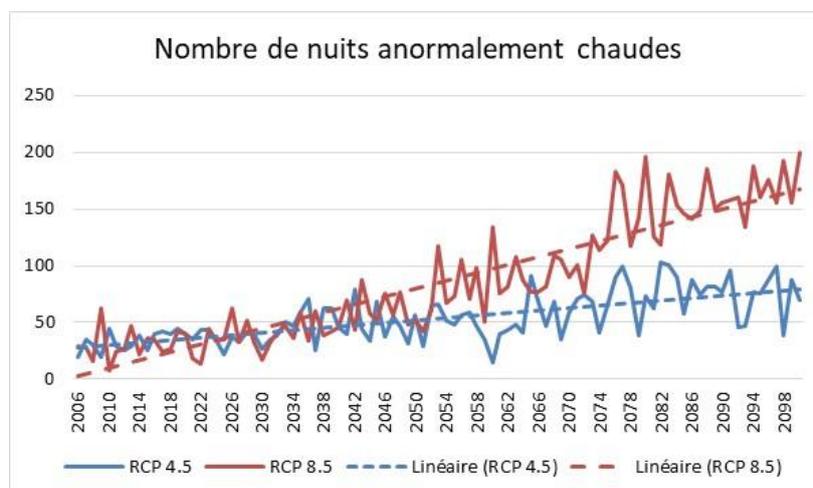
"Dès la période 2021-2050, les vagues de chaleur estivales deviendront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses par rapport à la période de référence 1976-2005. Les pics de chaleur pourront atteindre des niveaux plus élevés. On s'attend ainsi à ce qu'il y ait de l'ordre de deux fois plus de jours de vagues de chaleur, tous scénarios confondus. Le quart Sud-Est de la France devrait connaître des évolutions plus marquées que les autres régions (...)"³³.

■ SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES

On attend une augmentation très importante du nombre de jours de vagues de chaleur :



avec des épisodes de canicule marqués en particulier par des nuits anormalement chaudes qui ne permettent pas le repos nocturne :



³² "Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique", ONERC, Rapport au Premier ministre et au Parlement, La documentation française, 2019, p. 29.

³³ idem, p. 66.

■ LES CONSEQUENCES

Les épisodes caniculaires de l'été 2003 ont entraîné en France une surmortalité importante. Leur impact, sur les populations les plus fragiles en particulier, a été largement étudié : il est aujourd'hui bien documenté³⁴. Il a conduit au plan canicule mis en place à partir de 2004 et actualisé depuis chaque année.

PRINCIPES DU SYSTEME D'ALERTE CANICULE ET SANTE (SACS)

L'objectif du Sacs est d'identifier une vague de chaleur susceptible d'avoir un impact sanitaire majeur, afin de permettre la mise en place rapide de mesures de prévention et de gestion efficace de l'évènement. Le Sacs est fondé sur la surveillance d'un indicateur biométéorologique (IBM) pouvant être lié à une forte surmortalité quotidienne. Cet indicateur, qui tient compte de certains critères qualitatifs (météorologiques, environnementaux, démographiques) est défini par l'Institut national de veille sanitaire (INVS) et Météo-France. Il est la moyenne sur trois jours des températures minimales nocturnes et maximales diurnes. Deux seuils d'alerte, diurne et nocturne, ont été définis dans chaque département pour cet indicateur ; ces seuils, en Isère, sont respectivement de 19°C et 34°C³⁵.

Si les prévisions météorologiques indiquent un risque suffisamment élevé d'atteindre ou de dépasser ces seuils, l'INVS recommande d'activer le niveau de "*mise en garde et actions*" du Plan National Canicule. D'autres paramètres sont également pris en compte dans la décision, par exemple l'intensité de la vague de chaleur, sa durée et son extension géographique.

Le plan départemental de gestion d'une canicule comporte 3 niveaux :

- Niveau 1 : "Veille saisonnière" (du 1er juin au 31 août),
- Niveau 2 : "Mise en garde et actions" (vague de chaleur prévue ou en cours),
- Niveau 3 : "Mobilisation maximale" (canicule avec impact sanitaire important, compliquée d'effets collatéraux).

Si les fortes chaleurs affectent l'ensemble de la population, les personnes âgées sont les plus vulnérables, a fortiori lorsqu'elles sont isolées ou dans des situations précaires.

Les plus de 65 ans représentent sur le territoire de la communauté de communes 21% de la population³⁶, les plus de 80 ans 6%. Cette proportion des personnes âgées augmentera vraisemblablement dans les années à venir³⁷.

Les mesures de prévention et de protection lors des vagues de chaleur sont largement développées dans le cadre des plans canicules ; on pourra s'y référer³⁸. Elles sont déclinées en fonction des différents publics et visent prioritairement à les protéger des fortes chaleurs et à en combattre les effets.

L'augmentation de la fréquence des épisodes caniculaires doit conduire à développer la réflexion sur les mesures les plus appropriées. Il s'agit en particulier d'éviter celles d'entre elles qui pourraient se révéler "contre-productives", à travers notamment un recours évitable à la climatisation. Il s'agit par ailleurs d'habituer les organismes à travers des stratégies progressives d'acclimatation.

³⁴ Cf. annexe sur l'impact des vagues de chaleur sur la santé, p. 72.

³⁵ <http://www.isere.gouv.fr/Politiques-publiques/Securites/Securite-sanitaire/Plan-Canicule-2019-en-Isere>

³⁶ selon les chiffres de l'INSEE pour l'année 2016.

³⁷ A l'échelle de la région Rhône-Alpes, les projections indiquent que les plus de 60 ans représenteront 30% de la population totale en 2030, contre 19% en 2003 ; la population de plus de 85 ans pourrait augmenter de 77 %.

³⁸ <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-climatiques/article/le-plan-national-canicule>

EVITER ET LIMITER LA CLIMATISATION

Pourquoi la climatisation ne peut-elle pas être une réponse de long terme du système sanitaire dans la lutte contre la chaleur ? ³⁹

- ▶ pour des raisons de **cohérence des politiques climatiques** : la climatisation augmente les consommations d'énergie et, par conséquent, les émissions de gaz à effet de serre. Très localement, la climatisation, comme les véhicules en circulation, diffuse de la chaleur qui renforce l'effet d'îlot de chaleur.
- ▶ parce qu'elle peut **fragiliser le système électrique** : le développement de la climatisation peut poser de sérieuses difficultés en rendant le système de lutte contre la chaleur dépendant de l'approvisionnement électrique dans un contexte où celui-ci peut être fragilisé lors des périodes estivales (tensions sur les productions hydroélectriques et thermiques refroidies par cours d'eau du fait de la sécheresse hydrique et de températures élevées, perte d'efficacité du système de transport-distribution, etc.). L'impact d'une coupure d'électricité prolongée pourrait alors être désastreux ;
- ▶ parce qu'elle pose des **problèmes sanitaire** : les équipements de climatisation, individuels ou centralisés, peuvent avoir des impacts sanitaires directs sur les populations environnantes (irritations par l'émission de poussières, syndrome des bâtiments malsains (sécheresse et irritation des yeux, fatigue, maux de tête, etc.), allergies, infections pulmonaires, etc.) ;
- ▶ parce qu'elle reste **inaccessible à ceux qui pourraient en avoir le plus besoin** : *"Les systèmes de climatisation sont gourmands en énergie et pourront être trop onéreux pour les populations les plus vulnérables et cela aggraverait l'inégalité sociale face aux vagues de chaleur. [En outre,] une dépendance par rapport à des mesures de refroidissement actives nécessitant des quantités importantes d'énergie pourrait se révéler désastreux pour la santé publique en cas de coupure d'électricité au cours d'un épisode caniculaire prolongé."*⁴⁰

Une utilisation intelligente de la climatisation dans les établissements accueillant des personnes âgées⁴¹.

"Les pouvoirs publics demandent que dans un délai de 4 ans, chaque établissement accueillant des personnes âgées soit équipé d'un local climatisé suffisamment vaste pour y accueillir tous les résidents durant 2 à 3 heures par jour. Mais outre les consommations supplémentaires d'énergie qu'entraîne la climatisation, celle-ci peut avoir à son tour des incidences sanitaires (développement de la légionellose) ou des chocs thermiques si la différence de température entre les locaux climatisés et ceux qui ne le sont pas est trop importante, si le niveau auquel il faut régler la climatisation n'est pas inférieur à la température ambiante de plus de 5 °C

La climatisation n'est pas une panacée. Elle contribue à intensifier l'effet de serre et donc indirectement à élever les températures. Elle peut favoriser la légionellose en cas de maintenance insuffisante des tours de refroidissement. Elle peut aussi causer des chocs thermiques préjudiciables aux personnes âgées en passant brutalement d'une ambiance climatisée à une ambiance non climatisée.

A l'inverse, grâce à la climatisation, les Etats-Unis ont réussi, à intensité identique, à réduire la mortalité, pendant les vagues de chaleur, de 42 %, voire de plus de 50 % dans certains Etats comme la Floride. Il semble raisonnable de plaider pour "une climatisation intelligente". Elle ne doit pas fonctionner du printemps à l'automne mais simplement pour passer quelques caps difficiles. Elle ne doit pas non plus fonctionner 24 heures sur 24. Les enquêtes épidémiologiques montrent que deux ou trois heures par jour dans un local climatisé permettent de récupérer dans de bonnes conditions, voire mieux qu'en séjournant en permanence dans de telles ambiances. Une climatisation intelligente ne doit pas être trop froide : au lieu de fixer un seuil de température (22, 23°C), il est préférable de choisir une valeur de 5°C inférieure à la température extérieure. Cela permet à la fois de réduire le choc thermique et de diminuer notablement l'impact énergétique de la climatisation".

³⁹ Simon HALES, *Les canicules sont-elles une menace pour la santé publique ? Une perspective européenne*, http://www.invs.sante.fr/beh/2007/22_23/beh_22_23_2007.pdf

⁴⁰ Les canicules sont-elles une menace pour la santé publique ? Une perspective européenne, Simon Hales (simon.hales@otago.ac.nz) 1,2, Christina Koppe3, Franziska Matthies1, Bettina Menne1 http://www.invs.sante.fr/beh/2007/22_23/beh_22_23_2007.pdf

⁴¹ Jean-Pierre BESANCENOT, CNRS : GDR Climat et santé, Faculté de médecine de Dijon, lors de la table ronde "La Bourgogne face aux aléas climatiques : les leçons de l'année 2003", 24 juin 2004.

L'adaptation aux épisodes de fortes chaleurs passe entre autres par un travail sur la qualité des bâtiments. Les objectifs de maîtrise de la consommation énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre se focalisent sur les économies de chauffage. Il est important d'y intégrer les objectifs d'amélioration du confort d'été.

Les bâtiments anciens et, au contraire, les plus récents, ne sont pas ceux qui présentent de ce point de vue les plus mauvaises performances. Ce sont plutôt les bâtiments intermédiaires, de l'après-guerre jusqu'aux années 80, qui protègent le moins bien leurs occupants des chaleurs estivales ; cela représente une forte proportion des logements - plus de 40% - qui sont directement concernés sur le territoire de la communauté de communes :

Date de construction des logements ⁴²	Nombre	%	
Avant 1919	3572	19,4	26%
De 1919 à 1945	1143	6,2	
De 1946 à 1970	2625	14,3	43%
De 1971 à 1990	5295	28,8	
De 1991 à 2005	3570	19,4	31%
De 2006 à 2013	2195	11,9	

FORTES CHALEURS : SE PROTEGER... MAIS AUSSI S'HABITUER

"La thermorégulation permet de maintenir notre température corporelle dans une fourchette étroite de fonctionnement biologique optimal (...). Quand la température corporelle s'élève, la vasodilatation cutanée permet d'évacuer de la chaleur vers le milieu extérieur par convection. Ce mécanisme n'est plus efficace au-dessus d'une température interne de 38 °C et obéit à la loi immuable de la thermodynamique (aucun corps ne peut se refroidir s'il est placé dans un environnement plus chaud).

Le principal moyen d'évacuer de la chaleur est la sudation. Son efficacité dépend de la température extérieure, mais aussi de la saturation de l'air en eau et du flux d'air sur la peau, qui favorisent l'évaporation de la sueur ou l'empêchent (air très humide et stagnant). Elle entraîne une déshydratation et une perte d'électrolytes dangereuses pour la pompe cardiaque, sollicitée pour maintenir la perfusion des organes vitaux et des muscles (...), alors que le volume sanguin est réduit et largement détourné vers la surface corporelle. L'âge et l'état de santé (notamment cardiaque et rénal) vont ainsi influencer la tolérance de l'organisme à la chaleur et le seuil de température corporelle au-dessus duquel l'effondrement du système de thermorégulation conduit à l'hyperthermie létale. D'autres facteurs individuels interviennent, tels que l'indice de masse corporelle, la composition corporelle (pourcentages de masse maigre et de masse grasse), la surface corporelle, la morphologie, le sexe et les traitements médicamenteux, ainsi que les différents facteurs (santé mentale, capacités cognitives, autonomie physique) conditionnant les capacités d'adaptation comportementales (s'abriter de la chaleur, se découvrir, boire, cesser de s'agiter, etc)"

"L'acclimatation est un mécanisme d'adaptation physiologique à long terme, qui permet d'optimiser la thermorégulation. Les réponses physiologiques surviennent plus vite et sont à la fois plus amples et moins coûteuses pour l'organisme. L'augmentation de la capacité de sudation s'accompagne ainsi d'une augmentation de la capacité de réabsorption rénale (eau et électrolytes). La moindre souffrance de l'organisme repousse la sensation d'inconfort thermique et l'impossibilité de fournir un effort physique ou intellectuel (...)

Dans tous les cas, l'acclimatation est un phénomène progressif qui nécessite une exposition à la chaleur. Or, jusqu'à présent, lorsqu'une vague de chaleur touche une région tempérée, les conseils délivrés aux populations sont des recommandations d'éviction. L'évolution vers des messages incitant à une exposition graduelle, très prudente au début, serait pertinente pour préparer l'avenir"⁴³.

⁴² Source : Insee, RP2016.

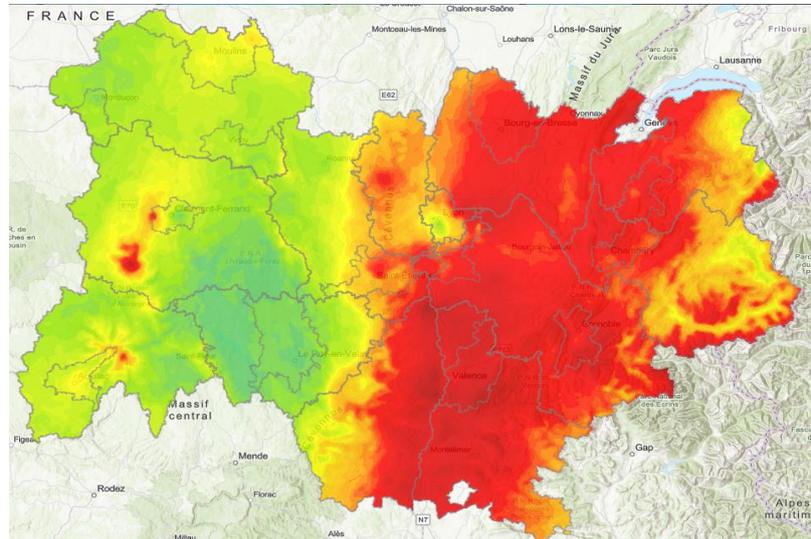
⁴³ S'adapter à un monde plus chaud : jusqu'où l'homme peut-il aller ? Analyse rédigée par Laurence Nicolle-Mir (Hanna E, Tait P. Limitations to thermoregulation and acclimatization challenge human adaptation to global warming. Int J Environ Res Public Health 2015; 12: 8034-74). – Vol 15 n° 3 – Mai-Juin 2016, in Year book Environnement et santé 2017, John Libbey Eurotext.

■ EFFETS COMBINES DES VAGUES DE CHALEUR ET DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Les vagues de chaleur s'accompagnent souvent de niveaux élevés de pollution⁴⁴. Or, les effets de la chaleur et des polluants atmosphériques ne font pas que s'additionner, ils se renforcent mutuellement - ce qui conduit le Professeur Besancenot à affirmer que "la qualité de l'air et la chaleur agissent ainsi de façon synergique sur la mortalité"⁴⁵.

Les espaces ruraux ne sont pas nécessairement épargnés, notamment par la pollution à l'ozone. L'ozone est en effet un polluant dit "secondaire"⁴⁶, qui se diffuse très au-delà des foyers d'émission des polluants primaires :

Nombre de jours "pollués" à l'ozone (O₃) dans l'air ambiant, c'est-à-dire où le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8h est supérieur à 120µg/m³ ⁴⁷, estimée par modélisation sur la région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2018⁴⁸.



Quel impact pour la santé ?

"L'ozone est un gaz qui peut pénétrer jusqu'aux voies respiratoires les plus fines et causer de graves problèmes sanitaires. Des concentrations qui dépassent 180 µg/m³ en moyenne horaire sont surtout dangereuses pour les enfants, les personnes âgées, les insuffisants respiratoires et les asthmatiques. A partir de 240 µg/m³, il existe un risque élevé pour la population entière. (...). Les effets sur la santé humaine vont de la toux, d'irritations des yeux, du nez et de la gorge, de maux de tête, des douleurs à la poitrine jusqu'à une diminution de la fonction respiratoire, une fréquence plus élevée de crises asthmatiques et des infections respiratoires plus graves"⁴⁹.

⁴⁴ Les conditions anticycloniques favorisent à la fois la persistance de températures élevées et l'augmentation des taux de polluants dans l'atmosphère (ozone, dioxyde d'azote, particules en suspension, soufre), en s'opposant, en l'absence de vent, à leur dispersion tant verticale qu'horizontale.

⁴⁵ Jean-Pierre BESANCENOT, CNRS : GDR Climat et santé, Faculté de médecine de Dijon, lors de la table ronde "La Bourgogne face aux aléas climatiques : les leçons de l'année 2003", 24 juin 2004.

⁴⁶ L'ozone se forme sous l'action du rayonnement solaire à partir de polluants "primaires", principalement les oxydes d'azotes (émis par les pots d'échappement, les centrales thermiques et les procédés industriels) et les composés organiques volatils (hydrocarbures provenant de mauvaises combustions d'essence, peintures, colles, solvants, etc.). Cette transformation chimique de polluants primaires en ozone est ainsi renforcée par des conditions de fort ensoleillement.

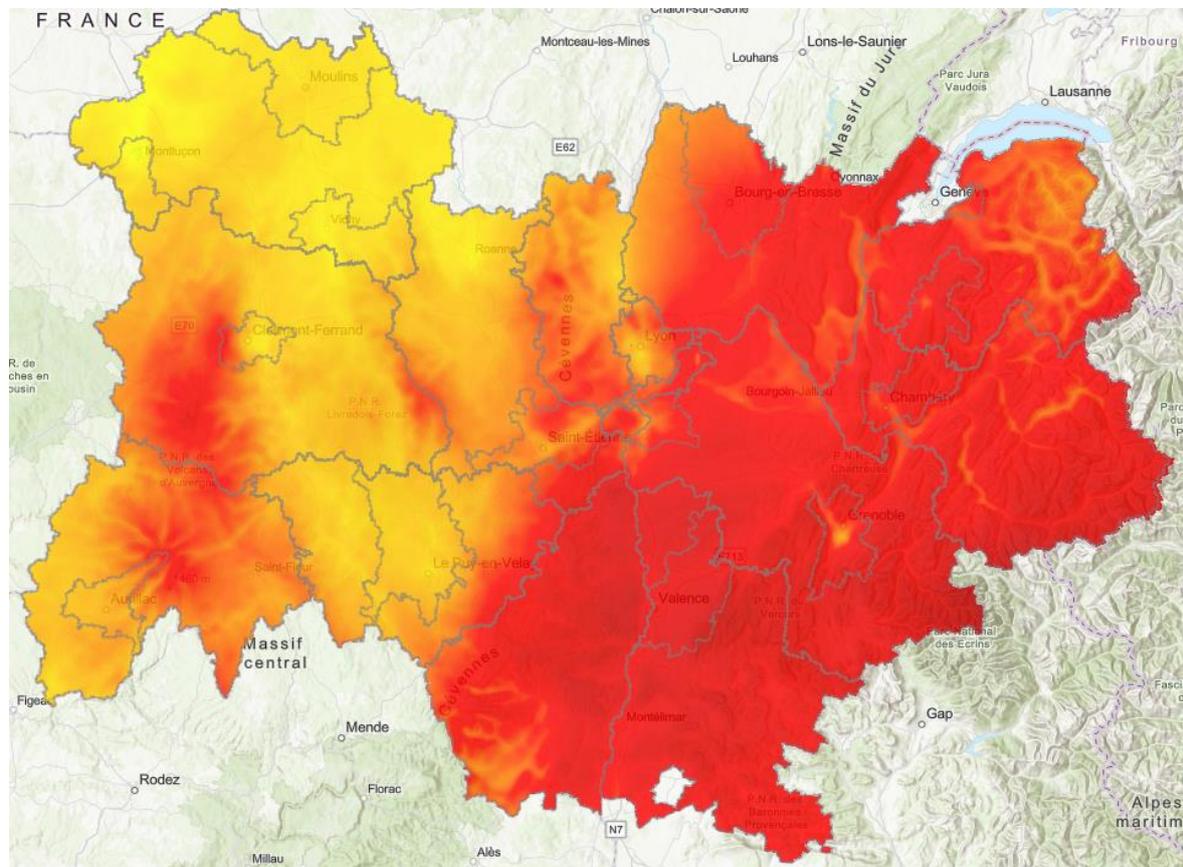
⁴⁷ Valeur cible : la concentration de 120 µg/m³ en moyenne glissante sur 8h ne doit pas être franchie plus de 25 jours par an (moyenne sur 3 ans).

⁴⁸ Source : ATMO Auvergne Rhône Alpes,

<https://atmoaura.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=758a06eb90fc4b7abee43ca4a3236f3b>, 3 mars 2020.

⁴⁹ https://environnement.public.lu/fr/loft/air/Polluants_atmospheriques/ozone/effets-ozone-sante-environnement.html (site du Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable du Grand-Duché de Luxembourg).

Indépendamment de ses effets sur la santé humaine, l'ozone a également un impact sur la végétation. Lorsqu'il atteint des concentrations importantes, il provoque la formation de nécroses sur les feuilles et les aiguilles d'arbres forestiers mais également sur de nombreux végétaux des milieux naturels. La photosynthèse des végétaux soumis à ces concentrations peut diminuer et provoquer à terme des baisses de rendement pour les cultures, voire des dépérissements des écosystèmes.



AOT40 Ozone (O₃) dans l'air ambiant,
estimée par modélisation sur la région Auvergne-Rhône-Alpes, en 2018.

Valeur cible pour la protection de la végétation : l'AOT 40 annuel ne doit pas être supérieur à 18 000 µg/m³h (en moyenne sur 5 ans). Correspond au cumul des concentrations horaires supérieures à 40 parties par milliard (40 ppb soit 80 µg/m³), mesurées de mai à juillet en utilisant uniquement les valeurs horaires recensées entre 8 heures et 20 heures.



LE CLIMAT



L'AIR



Les impacts des changements climatiques sur la qualité de l'air et la santé, résumés par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes⁵⁰.

2.2.3.2. Le développement de facteurs allergènes et infectieux

Les conditions climatiques influencent, de façon parfois importante, la répartition géographique et le développement d'allergènes et de vecteurs de maladies infectieuses.

Les allergies

Plus de 20% des Français sont touchés par des réactions allergiques aux pollens. Les pollens représentent ainsi "un facteur de risque de diverses pathologies et manifestations cliniques : asthme, rhinite allergique, conjonctivite, sinusite, etc. En langage courant, le terme de "rhume des foins" est utilisé pour nommer la pollinose ou rhinite saisonnière"⁵¹.

La météo – et donc le climat – joue un rôle déterminant : elle intervient dans le déclenchement de la pollinisation, influe sur la quantité de pollen produit et le transport des grains dans l'air. En période de pollinisation, les grains de pollen sont émis en très grande quantité (un pied d'ambrosie, par exemple, peut produire 2,5 milliards de grains en une seule saison). La situation météorologique la plus propice à la libération et à la dispersion des pollens est une journée très ensoleillée, sans précipitation, avec des températures élevées et un vent modéré.

Par ailleurs, les hivers doux favorisent une pollinisation précoce. Les évolutions attendues du climat (cf. supra) peuvent ainsi avoir un impact significatif sur l'augmentation des périodes de pollinisation.

Tous les pollens ne sont évidemment pas allergisants, et pas de la même façon.

⁵⁰ <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/actualite/infographie-dereglement-climatique-quels-sont-les-effets-sur-la-qualite-de-lair-en-rhone>

⁵¹ Observatoire régional de la Santé de Rhône-Alpes.

A l'initiative du Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA), les espèces sont classées en France selon un potentiel allergisant allant de 0 à 5 (0 étant un potentiel nul et 5 un potentiel très fort).

Cyprès, bouleau, chêne, frêne, platane, charme et olivier sont les principaux arbres émettant des pollens allergisants.

Principaux pollens allergisants

Potentiel allergisant (0 = nul ; 5 = très fort)			
Arbres		Herbacées	
Cyprès	5	Graminées ⁵²	5
Bouleau	5	Ambroisie	4
Chêne	4	Armoise	4
Charme	4	Pariétaire	3
Frêne	4	Chenopode	3
Platane	4	Plantin	3
Peuplier	3	Oseille	2
Saule	3	Ortie	1
Noisetier	3		
Hêtre	3		
Olivier	3		
Tilleul	3		
Aulne	3		
Mûrier	3		
Châtaignier	2		
Orme	1		
Pin	0		

(Source : Météo-France, d'après RNSA)

Les maladies allergiques sont responsables d'une forte morbidité. On estime que l'asthme coûte chaque année, en France, 1,5 milliard d'euros, dont 65 % de coûts directs et 35 % de coûts indirects. Le coût de la rhinite allergique serait également important mais plus difficile à estimer. L'asthme est responsable d'une mortalité estimée entre 1 500 et 2 000 décès par an.

Maladies infectieuses

Les cinq types de maladies infectieuses devraient être impactés différemment par le changement climatique. Les **maladies vectorielles** (le chikungunya et le paludisme par exemple) sont transmises par des vecteurs (animaux à sang froid, insectes, acariens) dont l'abondance et la répartition géographique sont sensibles aux conditions climatiques et évoluent avec elles. Les **zoonoses** sont des maladies qui circulent chez des animaux et peuvent se transmettre à l'homme ; les rongeurs sont les principaux animaux porteurs de maladies et leurs populations peuvent évoluer sous l'effet du changement climatique. Les **maladies alimentaires** (du type salmonellose) sont transmises par la consommation de produits alimentaires ; elles posent la question de la conservation des aliments et du respect de la chaîne du froid, dont l'efficacité peut être affectée par les changements climatiques. Les **maladies hydriques** (type choléra) sont transmises lors de contacts avec une eau insalubre et le changement climatique devrait impacter la qualité des eaux. Les **maladies respiratoires** (du type bronchite, pneumonie et allergies) sont la cinquième catégorie de maladie infectieuse ; les conditions climatiques devraient impacter la transmission des virus et les conditions de production des allergènes.

⁵² Phléole, ivraie, dactyle, pâturin.

Un exemple d'invasion : l'ambroisie

L'ambroisie est connue pour les allergies qu'elle provoque. Au moment de sa floraison, elle libère du pollen abondant et fortement allergisant : il suffit de quelques grains de pollen d'ambroisie par m³ d'air pour provoquer des réactions allergiques.

En France, **6% à 12%** de la population est exposée à l'ambroisie et développe des allergies avec :

- des rhumes, identiques à celui du rhume des foins mais avec des symptômes beaucoup plus prononcés,
- des rhinites, survenant en août-septembre, associé à un écoulement nasal,
- de la conjonctivite,
- des symptômes respiratoires tels que la trachéite,
- de la toux,
- de l'urticaire ou de l'eczéma,
- apparition d'asthme ou aggravation de celui-ci.

Les agriculteurs doivent aussi faire face à la prolifération de l'ambroisie, car l'ambroisie se développe dans des milieux ouverts non enherbés comme les chantiers, les bords de chemin mais également dans les grandes cultures, notamment dans les cultures de printemps comme les champs de tournesol.

L'ambroisie ne constitue plus un risque lié aux changements climatiques... dans la mesure où elle est déjà très présente. **Mais elle constitue une bonne illustration de la façon dont une espèce au départ absente de notre territoire a pu y arriver et s'y développer, favorisée par des conditions climatiques qui ont facilité son développement.**

L'ambroisie est arrivée sur le sol français au milieu du XIXe siècle, probablement à la faveur d'une cargaison de graines de semences en provenance des Etats-Unis. C'est une plante invasive qui s'installe sur les terres dénudées et inoccupées. Elle envahit surtout les plaines et les régions de basse altitude. Elle pousse très vite. Peu de sols lui résistent, car la texture et la composition du sol n'ont pas d'impact sur son développement.

Son extension est favorisée par les conditions climatiques ⁵³ :

- **elle présente une grande tolérance aux stress écologiques (sécheresse, salinité...).**
- **la disparition de gels précoces au début de l'automne, qui permettaient d'empêcher son extension, lui permet désormais de s'étendre vers les régions plus au nord.**

Actuellement, elle progresse fortement dans différentes régions. Si le quart Sud-Est de la France est le plus touché avec notamment la vallée du Rhône, d'autres régions comme les Pays de Loire, Poitou Charente, l'Alsace, le Centre ou encore la Bourgogne commencent à être infestées. Les spécialistes s'accordent à dire que la plante a désormais envahi une zone allant de Bordeaux à Bucarest⁵⁴.

⁵³ Les concentrations dans l'air du pollen d'ambroisie pourraient en outre avoir quadruplé en Europe à l'horizon 2050. Le changement climatique serait responsable des deux tiers de cette augmentation, le tiers restant serait dû quant à lui à la colonisation de la plante, favorisée par les activités humaines. Ces estimations, réalisées par des chercheurs du CNRS, du CEA, de l'INERIS et du RNSA en collaboration avec plusieurs instituts européens, sont publiées dans la revue Nature Climate Change le 25 mai 2015. <https://www.ipsl.fr/Actualites/Actualites-scientifiques/Allergies-les-concentrations-en-pollen-d-ambroisie-pourraient-quadrupler-en-Europe-d-ici-2050>

⁵⁴ Source : Comité Parlementaire de suivi de risque Ambroisie - <http://www.parlementaires-ambroisie.fr/tout-savoir-de-l-ambroisie/>

Moustique tigre :

les changements climatiques ne sont pas la cause de sa propagation, mais ils la facilitent.



Le moustique tigre ⁵⁵ (*Aedes albopictus*) est très facile à identifier grâce à ses rayures noires et blanches présentes sur le corps et sur les pattes qui lui donnent un aspect très contrasté. C'est un moustique de petite taille (plus petite qu'une pièce d'un centime d'euro) ne dépassant pas 1 cm d'envergure⁵⁶.

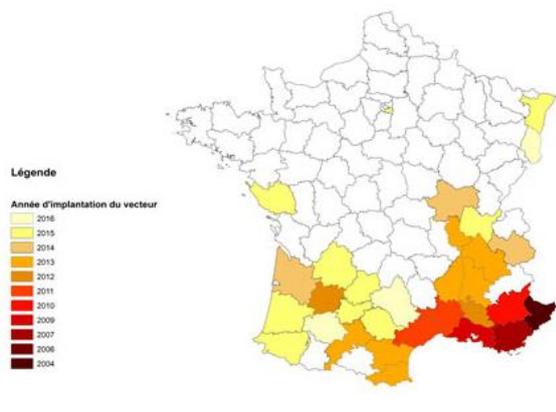
Originaire des forêts tropicales d'Asie du Sud-Est, le moustique tigre s'est adapté à divers environnements, et notamment au milieu urbain, en colonisant une multitude de récipients dans lesquels il pond ses œufs. Grâce au commerce international et notamment à celui des pneus usagés, il a progressivement été introduit sur les cinq continents ces trente dernières années. Cette capacité à être transporté et à coloniser des zones tempérées est due à une plasticité physiologique également importante. D'une part, ses œufs ont comme particularité de résister à la dessiccation (assèchement), ce qui favorise leur transport et augmente leur durée de vie. D'autre part sa capacité de diapause ("hibernation") lui permet de survivre durant l'hiver sous forme d'œufs en dormance dans les régions tempérées.

L'espèce est aujourd'hui implantée dans plus de 80 pays d'Asie, de l'océan Indien, du Pacifique, d'Afrique, du bassin méditerranéen et des Amériques. Cette expansion fulgurante lui vaut d'être classé parmi les dix espèces les plus invasives au monde.

Détectée en Italie dans les années 90, l'espèce est surveillée en France métropolitaine depuis les années 2000. L'implantation d'une population de moustiques tigre a été mise en évidence dans le Sud-Est de la France en 2004 à Menton. L'espèce est aujourd'hui implantée dans 33 départements de France métropolitaine.

► Départements et années d'implantation en France métropolitaine⁵⁷ :

L'implantation du moustique tigre en Isère a été confirmée au cours de l'été 2012⁵⁸.



Le moustique tigre est capable de transmettre à l'homme différents virus dont ceux de la dengue et du chikungunya. Bien que ces maladies sévissent principalement en zones tropicales, la survenue de cas autochtones (contractés sans voyage) en France métropolitaine représente un risque bien réel ⁵⁹. Ainsi, en 2010, deux cas autochtones de dengue et deux cas autochtones de chikungunya ont été détectés respectivement à Nice et à Fréjus. En 2013, un cas autochtone de dengue a également été identifié dans les Bouches-du-Rhône.

ces virus (dengue et chikungunya) ait lieu en France métropolitaine, plusieurs conditions sont nécessaires :

- *la présence du vecteur,*
- *l'exposition du moustique au virus de la dengue ou du chikungunya,*
- *une "naïveté" immunologique de la population humaine à ce virus, ce qui est le cas des métropolitains, très peu confrontés à ces virus.*

⁵⁵ Crédit Photo : James Gathany www.cdc.gov. <https://www.eid-rhonealpes.com/moustiques/les-especes-de-moustique-importees-en-france-que-l-on-retrouve-en-region-auvergne-rhone-alpes>

⁵⁶ <http://www.signalement-moustique.fr/sinformer>

⁵⁷ source : Santé publique France <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-transmission-vectorielle/Chikungunya/Donnees-epidemiologiques/France-metropolitaine/Chikungunya-dengue-et-zika-Donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-France-metropolitaine-en-2017>

⁵⁸ ARS : "Dossier de presse - *Aedes albopictus* ou moustique tigre : la situation en Isère".

⁵⁹ Le département de l'Isère a été classé au niveau 1 du plan national anti-dissémination du chikungunya et de la dengue depuis le 1er mai 2013⁵⁸.

L'exposition des moustiques tigres présents en France aux virus de la dengue et du chikungunya est notamment possible lorsque des voyageurs, de retour de pays où ces maladies sont présentes (Antilles, Amérique du Sud, Asie du Sud-Est, Océan Indien) reviennent infectés, introduisent ces virus en France métropolitaine et se font piquer par des moustiques tigres locaux. Après quelques jours, ces moustiques seront capables de transmettre à leur tour, sur le territoire métropolitain, le virus à une personne qui n'a pas voyagé⁶¹.

Le Chikungunya se manifeste par des douleurs articulaires aiguës pouvant être persistantes, souvent très invalidantes. À ces atteintes articulaires peuvent s'associer des maux de tête, de la fièvre, des douleurs musculaires importantes, une éruption cutanée au niveau du tronc et des membres, une inflammation d'un ou plusieurs ganglion(s) lymphatiques cervicaux, une conjonctivite ou encore des malformations fœtales sur les femmes enceintes.

La dengue "classique" se manifeste, après 2 à 7 jours d'incubation, par l'apparition d'une forte fièvre souvent accompagnée de maux de tête, de nausées, de vomissements, de douleurs articulaires et musculaires et d'une éruption cutanée ressemblant à celle de la rougeole. Une brève rémission est observée au bout de 3 à 4 jours, puis les symptômes s'intensifient avant de régresser au bout d'une semaine. Chez certains patients, le tableau clinique de la maladie évolue selon deux formes sévères : la dengue hémorragique (environ 1% des cas) puis la dengue avec syndrome de choc, qui est mortelle. ⁶⁰.

Avec le relèvement des températures minimales hivernales, d'autres espèces de moustiques pourraient se développer, avec un risque de propagation d'infection virale à fort potentiel pandémique.

L'EID⁶² indique que si le moustique tigre est à l'heure actuelle la seule espèce de moustique importée présente en Auvergne-Rhône-Alpes, "*d'autres espèces sont observées dans des régions proches, tels Aedes japonicus⁶³ et d'Aedes koreicus⁶⁴, qui seront probablement également observées chez nous d'ici quelques années*". Elle souligne qu'"à **la faveur d'une évolution climatique importante, d'autres espèces de moustiques pourraient s'installer en Métropole. La première d'entre elle est Aedes aegypti**. Présente dans les Caraïbes et le Maghreb, l'implantation de cette espèce en Métropole est actuellement limitée par l'existence d'une période hivernale froide. En effet, l'absence de période de diapause dans le développement des œufs de cette espèce ne permet aux larves et aux adultes de résister à une période climatiquement défavorable. **Une élévation des températures hivernales permettrait de lever cette barrière climatique**".

Or ce moustique - Aedes aegypti - est le principal vecteur de la dengue, que l'OMS qualifie d'"**infection virale à fort potentiel pandémique** émergeant rapidement dans de nombreuses parties du monde (...), transmise par les moustiques, et qui provoque un syndrome de type grippal pouvant parfois évoluer vers des complications potentiellement mortelle. L'incidence de la dengue a été multipliée par 30 au cours des 50 dernières années. On estime que la moitié de la population mondiale est désormais exposée au risque"⁶⁵.

⁶⁰ cf. <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/chikungunya>

⁶¹ <http://www.signalement-moustique.fr/sinformer>

⁶² Entente Interdépartementale de Démoustication ; <https://www.eid-rhonealpes.com/moustiques/les-especes-de-moustique-importees-en-france-que-l-on-retrouve-en-region-auvergne-rhone-alpes>

⁶³ Observée pour la première fois en France en 2013, en Alsace, et est en expansion depuis.

⁶⁴ En Europe, cette espèce a récemment été trouvée dans l'est de la Belgique, ainsi que dans la province de la Vénétie en Italie ou en Allemagne. Autour de ces spots d'installation, l'espèce ne semble cependant pas s'étendre de manière trop importante même si des suivis restent à mettre en place (...) En France métropolitaine, l'espèce est trouvée sporadiquement chez des importateurs de pneus usagés en provenance des régions d'Asie du sud-est.

⁶⁵ Source : Organisation mondiale de la Santé, <https://www.who.int/denguecontrol/mosquito/fr/>

2.2.4. Risques

2.2.4.1. Retrait-gonflement des argiles

"Sous l'effet de la sécheresse, certaines argiles se rétractent de manière importante et entraînent localement des mouvements de terrain non homogènes pouvant aller jusqu'à provoquer la fissuration de certains pavillons. C'est ce qu'on appelle le phénomène de retrait-gonflement des argiles.

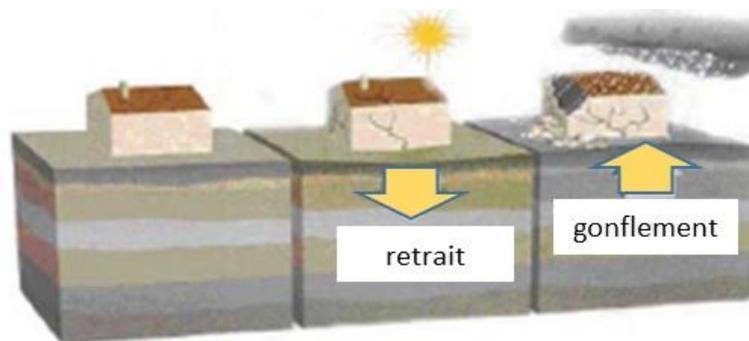
Un matériau argileux a une consistance qui se modifie en fonction de sa teneur en eau. Il est dur et cassant lorsqu'il est desséché, plastique et malléable à partir d'un certain degré d'humidité. Ces modifications de consistance s'accompagnent aussi de variations de volume dont l'amplitude peut être parfois spectaculaire.

En climat tempéré, les argiles sont souvent proches de leur état de saturation et leur potentiel de gonflement est relativement limité. En revanche, elles sont souvent éloignées de leur limite de retrait, ce qui explique qu'en Europe la plupart des désordres liés au retrait-gonflement s'observent après une sécheresse intense et prolongée.

En période sèche, la tranche la plus superficielle du sol (1 à 2 m de profondeur) est soumise à l'évaporation. Se produit alors une rétraction des argiles qui se traduit verticalement par un tassement du sol et horizontalement par l'ouverture de fissures de retrait, à l'instar de ce que l'on peut observer dans une mare qui s'assèche. Ce sont ces mouvements de terrains, généralement non uniformes, qui provoquent la fissuration des maisons individuelles, structures légères, fondés souvent de manière très superficielle ou hétérogène, ce qui les rend particulièrement vulnérables.

(...) les dommages dus à ces désordres (représentent, derrière les inondations, le risque naturel qui entraîne les dépenses les plus importantes en France."⁶⁶.

Figure 1 : Le phénomène de retrait-gonflement des argiles illustré
(Source : BRGM – Bureau de recherches géologiques et minières)



Le retrait-gonflement de sols argileux engendre chaque année des dégâts coûteux, principalement dans les logements individuels. L'accentuation des écarts entre périodes "humides" et "sèches" risque d'entraîner une augmentation du nombre des années présentant une sinistralité importante⁶⁷.

Une cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles a été réalisée par le BRGM. Cette cartographie hiérarchise les zones sujettes au phénomène de retrait-gonflement selon un degré d'aléa croissant. Ce risque est défini de la façon suivante :

- ▶ Les zones où l'aléa retrait-gonflement est qualifié de fort sont celles où la probabilité de survenance d'un sinistre sera la plus élevée et où l'intensité des phénomènes attendus est la plus forte.
- ▶ Dans les zones où l'aléa est qualifié de faible, la survenance de sinistres est possible en cas de sécheresse importante mais ces désordres ne toucheront qu'une faible proportion des bâtiments (en priorité ceux qui présentent des défauts de construction ou un contexte local défavorable, avec par exemple des arbres proches ou une hétérogénéité du sous-sol).
- ▶ Les zones d'aléa moyen correspondent à des zones intermédiaires entre ces deux situations extrêmes.

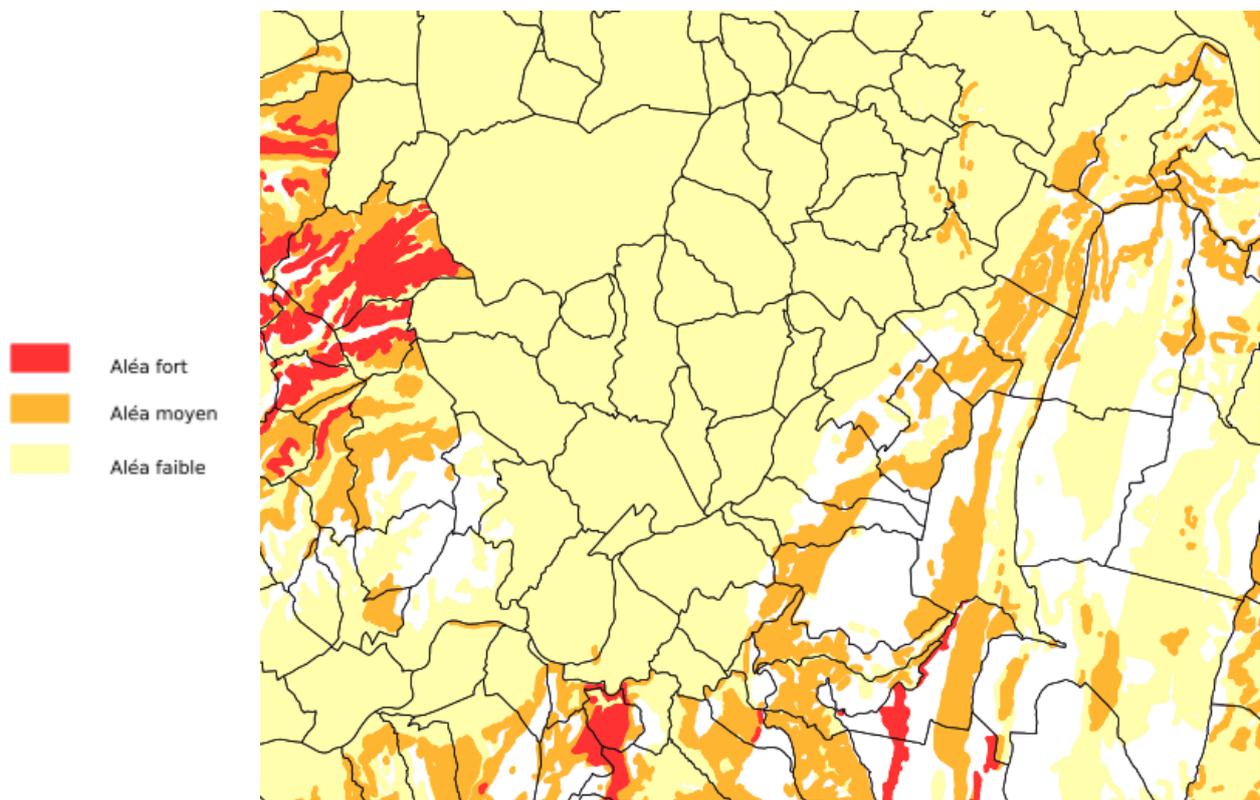
⁶⁶ BRGM, extrait du communiqué de presse "prévenir le risque de fissuration des maisons dû au retrait-gonflement des argiles, conséquence de la sécheresse", 7 août 2003.

⁶⁷ Entre autres parce que la profondeur de terrain affectée par les variations saisonnières de teneur en eau, qui ne dépasse guère 1 à 2 m sous les climats tempérés, peut atteindre 3 à 5 m lorsque ces variations s'amplifient. L'augmentation prévisible de la durée et de l'intensité des épisodes de sécheresse risque d'entraîner un accroissement de la profondeur du sol affectée par le phénomène du retrait-gonflement des argiles.

- ▶ Quant aux zones où l'aléa est estimé a priori nul, il s'agit des secteurs où les cartes géologiques actuelles n'indiquent pas la présence de terrain argileux en surface. Il n'est cependant pas exclu que quelques sinistres s'y produisent car il peut s'y trouver localement des placages, des lentilles intercalaires, des amas glissés en pied de pente ou des poches d'altération, de nature argileuse, non identifiés sur les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, mais dont la présence peut suffire à provoquer des désordres ponctuels.

Il est possible de construire sur des sols argileux sujets à ces phénomènes de retrait-gonflement, à condition de mettre en œuvre des prescriptions relativement simples qui n'entraînent pas nécessairement de surcoût majeur. Mais cela suppose des études géotechniques préalables qui, en pratique, sont rarement réalisées.

L'exposition du territoire de la communauté de communes au risque de retrait-gonflement des argiles⁶⁸



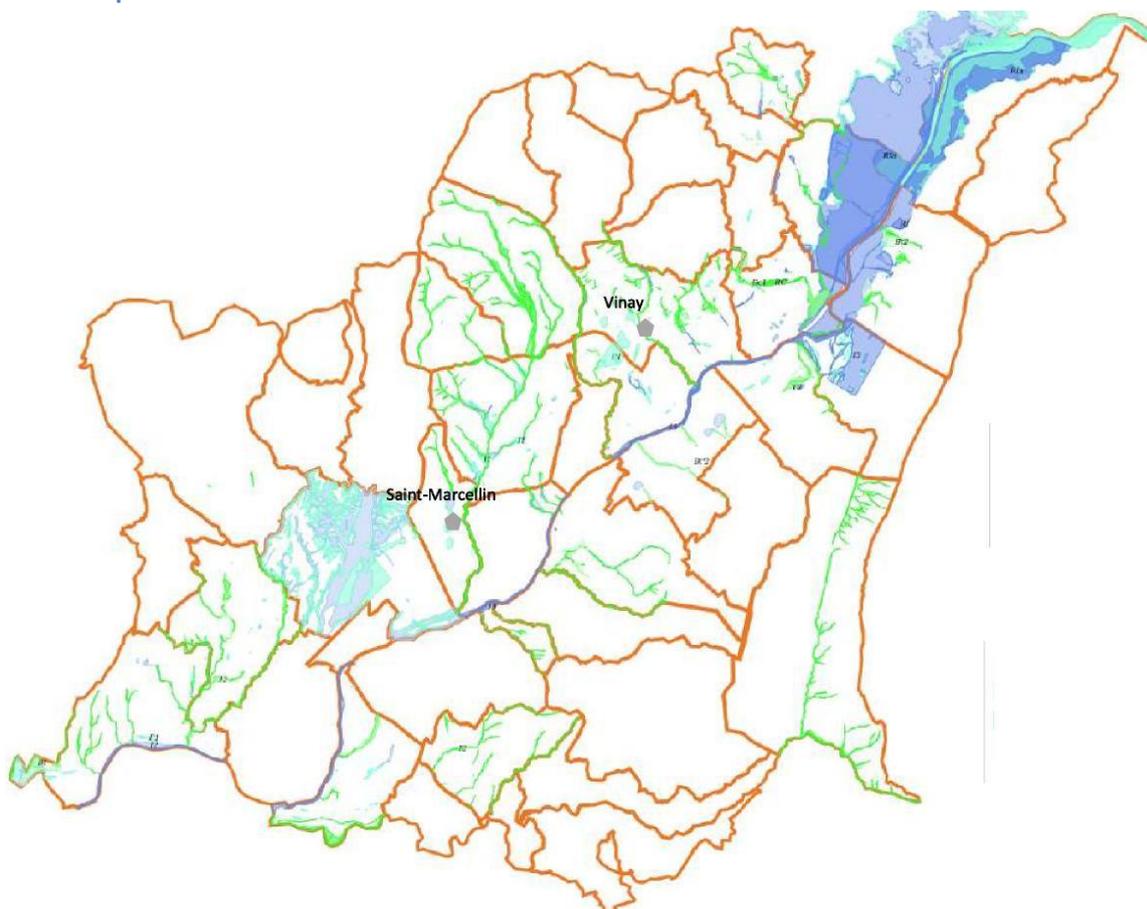
⇒ Les communes concernées, en plus ou moins grande partie, sont toutes situées sur la rive gauche de l'Isère : Beauvoir-en-Royans, Châtelus, Choranche, Cognin-les-Gorges, Izeron, Malleval, Montaud, Pont-en-Royans, Presles, Rencurel, Rivière, Rovon, Saint-André-en-Royans, Saint-Gervais, Saint-Pierre-de-Chérennes, Saint-Quentin-sur-Isère.

2.2.4.2. Inondations

L'irrégularité accrue des précipitations, avec des épisodes de fortes pluies, augmente les risques d'inondation.

Les aléas identifiés ont été cartographiés (cf. page suivante). Ils concernent principalement la plaine de l'Isère, au nord du territoire (plus au sud, les reliefs plus prononcés, sur les deux rives de l'Isère, diminuent ce risque), et l'ensemble des zones exposées aux risques torrentiels de nombreux petits cours d'eau, notamment côté Vercors d'une part et rive droite de l'Isère sur les secteurs de Saint-Marcellin, Chatte et Vinay d'autre part, ainsi que la Bourne à Pont-en-Royans.

⁶⁸ <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/argiles/carte#/com/26114>



Cartes d'aléas

T : Risques crues torrents et rivières torrentielles

C : Risques de crues rapides de rivières

- Faible
- Moyen
- Fort
- Autres

Zones PPRI

- Risque faible
- Risque moyen
- Risque fort
- Autres

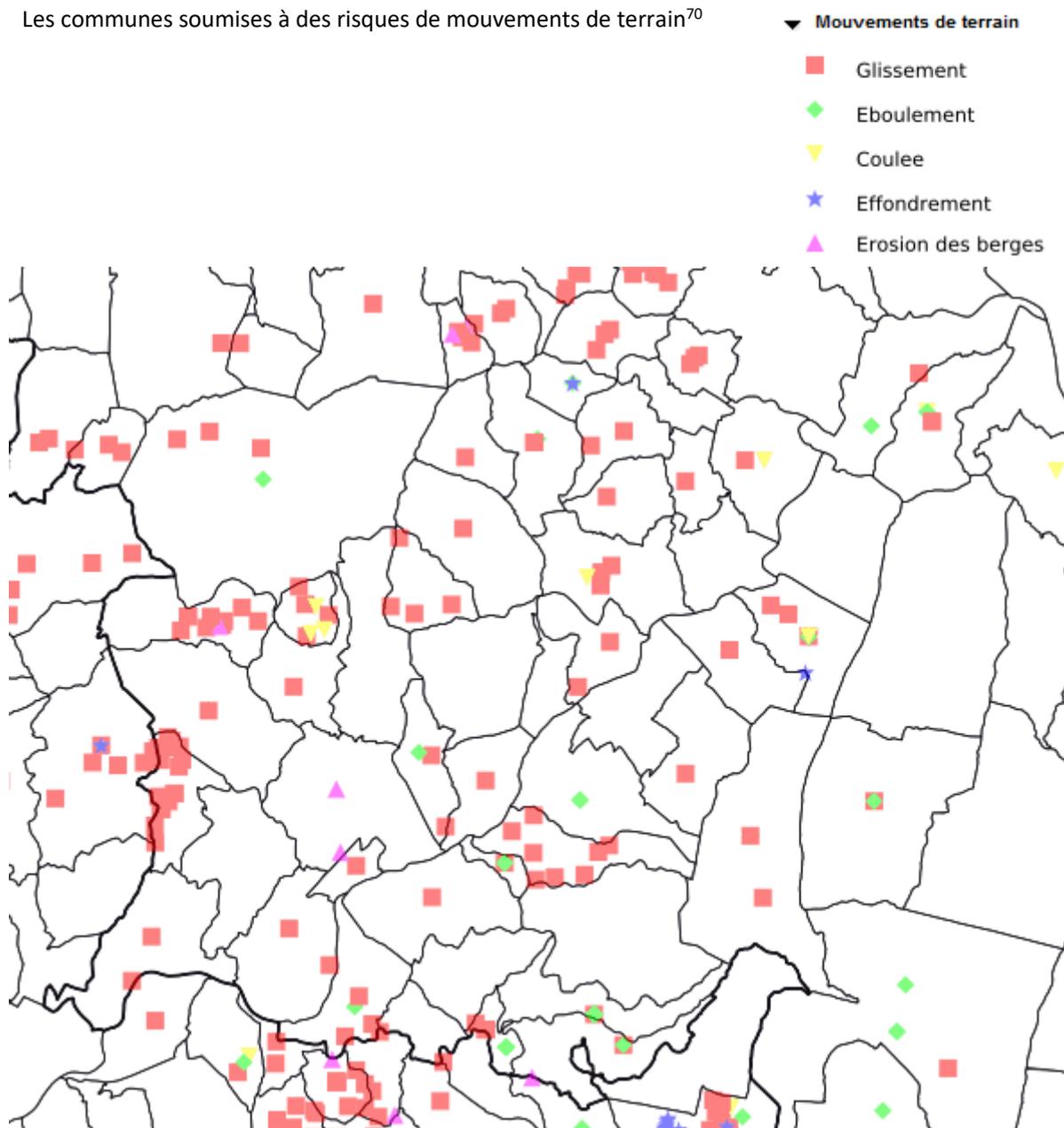
(PPRI : Plan de Prévention du Risque Inondation)

⁶⁹ Carte SYMBHI ; compilation de données de PPRI et de cartes d'aléas connues numérisées (cartographie non exhaustive).

2.2.4.3. Mouvements de terrain

Plusieurs communes sont sujettes à des mouvements de terrain, glissements notamment, que l'irrégularité des précipitations est susceptible d'accentuer.

Les communes soumises à des risques de mouvements de terrain⁷⁰



⁷⁰ <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain/carte>

2.2.4.4. Infrastructures

Les infrastructures - routes, réseaux électriques, lignes téléphoniques, réseaux de distribution et d'assainissement d'eau, éclairage urbain - peuvent être affectés par les inondations et par les épisodes de grand froid ou, au contraire, de chaleurs trop élevées.

■ Routes

Des chaleurs élevées peuvent affecter les réseaux routiers. Une chaussée peut atteindre des températures très supérieures à celle de l'air, car le sol s'échauffe plus vite. Quand l'air atteint 30 °C à 40 °C au soleil, la surface de la route s'échauffe jusqu'à environ 60 °C à 70 °C⁷¹. Si les autoroutes sont épargnées grâce à des matériaux résistant aux températures extrêmes (entre -15 et 50° environ), le réseau secondaire est en revanche exposé quand le soleil tape dur. *"Le bitume de certaines chaussées peut parfois se ramollir et remonter en surface"*⁷². Les routes secondaires sont généralement recouvertes d'un enduit superficiel, moins cher que l'enrobé⁷³, utilisé sur les axes majeurs. Composé pour une petite partie de bitume et pour l'essentiel de gravillons, l'enduit est plus sensible aux températures extrêmes, même s'il ne "fond" pas au sens propre, mais perd de sa consistance et ramollit⁷⁴. Mais 60 ou 70°C à la surface de la chaussée noire suffisent pour que ce mélange d'hydrocarbures ramollisse et adhère aux pneus.

■ Réseaux électriques

Les lignes de transports et de distribution d'énergie sont sensibles au gel, vents forts et fortes pluies, et la stabilité des sols est essentielle à la sécurité des réseaux. L'élévation des températures implique une perte en capacité de transport du réseau électrique (évaluées de 7,5 à 11%) et les réseaux de transport-distribution peuvent être fragilisés par les épisodes de fortes chaleurs ; les câbles et équipements enterrés sont sensibles à la chaleur du sol, qui peut localement dépasser 50°C lors d'évènements caniculaires.

Le PNACC - Plan National d'Adaptation au changement climatique - définit quelques mesures pour l'adaptation des infrastructures de transport comme de *"passer en revue et adapter les référentiels techniques pour la construction, l'entretien et l'exploitation des réseaux de transport (infrastructures et matériels)"*. Il s'agit de s'assurer que les infrastructures construites il y a plusieurs décennies pour une période longue (jusqu'à un siècle ou davantage), selon des référentiels techniques élaborés il y a trente ou cinquante ans (voire plus pour certains ouvrages, même s'ils ont été révisés depuis, notamment sur l'aspect sécurité, et les infrastructures renforcées en conséquence) permettent de répondre de façon satisfaisante aux évolutions possibles des différentes sollicitations – conditions moyennes et extrêmes – attendues sous l'effet des changements climatiques.

⁷¹ <https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/pourquoi-le-bitume-fond-il-au-soleil-6809>

⁷² Patrice Parisé, directeur général des routes au ministère de l'Équipement.

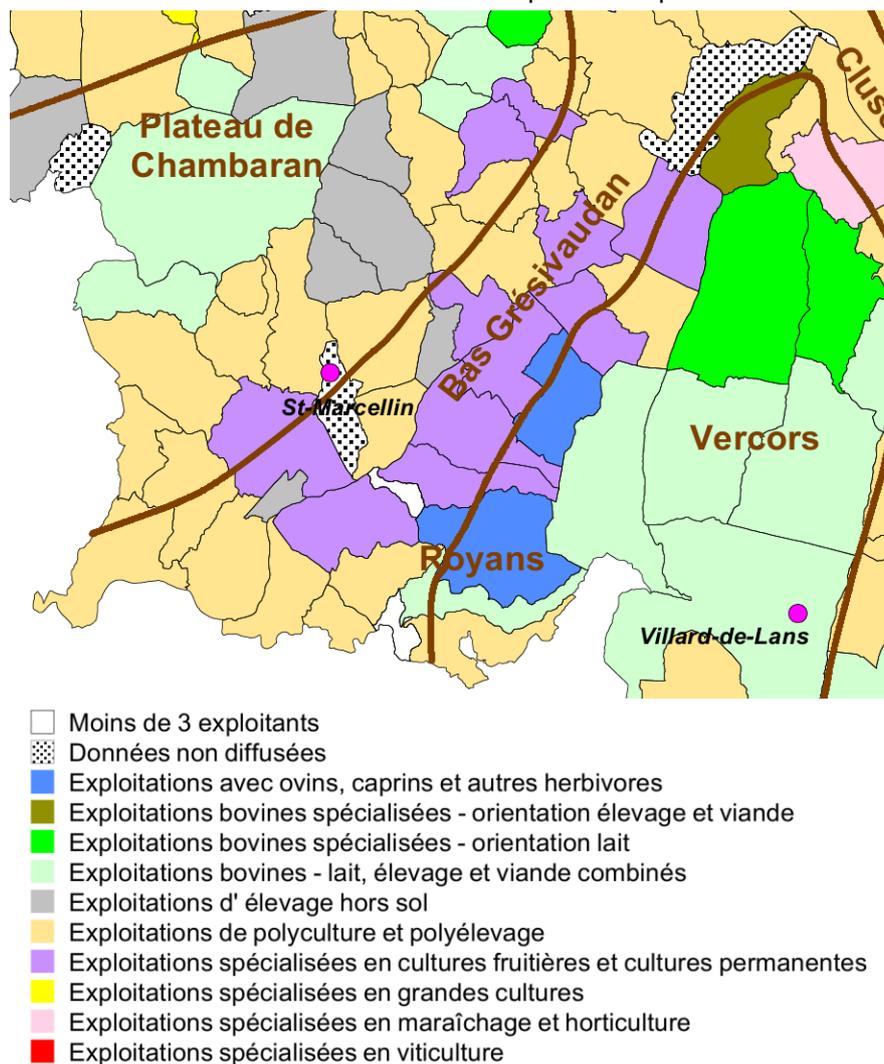
⁷³ Selon Dominique Irastorza-Barbet, directeur des Affaires Techniques de l'Union des syndicats de l'industrie routière française, un mètre carré de cet enduit de surface coûte en moyenne quatre fois moins qu'un enrobé.

⁷⁴ Il ne devient liquide qu'à 150 °C, sa température de fusion. Les différents bitumes qui peuvent être utilisés affichent chacun une température de ramollissement différente. *"Le plus mou utilisé en France, le 160/220, sert surtout pour l'entretien de routes à trafic plutôt faible. Il perd de sa consistance dès qu'il est exposé quelques heures à 35 °C. Le bitume le plus largement coulé est le 35/50, employé essentiellement dans la construction de chaussées neuves ou l'entretien de routes à plus grand trafic, telles les autoroutes. Il commence à 'fondre' après plusieurs heures à 50 °C environ"*. <https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/pourquoi-le-bitume-fond-il-au-soleil-6809>

2.2.5. Activités agricoles

2.2.5.1. Les activités agricoles sur le territoire de la communauté de communes

Les orientations technico économiques des exploitations :



Deux productions emblématiques :

- ▶ La Noix de Grenoble (Appellation d'Origine Protégée⁷⁵),
- ▶ Le Saint-Marcellin, fromage au lait de vache sous Indication Géographique Protégée⁷⁶ depuis 2013.

Les surfaces agricoles couvrent globalement de l'ordre de 60 % du territoire^{77,78}.

Le dernier recensement général de l'agriculture date de 2010. Les données disponibles sont donc un peu anciennes. Elles permettent cependant de dresser à grands traits une image des principales surfaces et productions :

- ▶ les surfaces en herbe représentent environ la moitié des surfaces agricoles,
- ▶ les vergers - noix principalement – en représentent de l'ordre de 30 % (27 % en 2010, mais les surfaces plantées tendent à augmenter), et une part importante d'entre eux sont irrigués (43 % en 2010),
- ▶ les céréales, oléagineux et protéagineux représentent environ 20 % des surfaces agricoles, dont un tiers environ étaient irrigués en 2010.

⁷⁵ L'aire géographique de la Noix de Grenoble couvre 261 communes sur trois départements dont 184 en Isère, 48 dans la Drôme et 29 en Savoie, principalement le long de la vallée de l'Isère. Elle comprend près de 7 000 ha de vergers.

⁷⁶ Dont la zone de production s'étend très au-delà du seul périmètre de la communauté de communes : elle comprend 274 communes sur la Drôme, l'Isère et la Savoie.

⁷⁷ Source : contrat de rivière.

⁷⁸ Ces surfaces diminuent : de 7 % entre 2000 et 2010 ; de combien depuis ?

2.2.5.2. Les conséquences des changements climatiques sur les activités agricoles

Les principales conséquences des changements climatiques pour les activités agricoles sont liées à l'eau : l'irrégularité croissante des précipitations rend les ressources plus aléatoires tandis que l'augmentation des températures accroît les besoins des plantes, l'été notamment.

Les changements climatiques ont cependant bien d'autres conséquences également, notamment sur le calendrier des productions et le développement des insectes, parasites ou agents pathogènes, indépendamment des aléas liés à des événements particuliers (comme les chutes de grêle ou de neige qui, en 2019, ont fortement endommagé les cultures en général, et les noyeraies en particulier, ou l'épisode de gel tardif d'avril 2021).

2.2.5.2.1. Nuciculture

- On observe sur les noyers des conséquences imputables aux changements climatiques.
 - ▶ Des maladies et/ou ravageurs qui évoluent, et qui se manifestent notamment lorsque les arbres sont en situation de stress hydrique ; par exemple :
 - Le Carpopapse⁷⁹, qui habituellement fait deux générations par an, tend désormais à en faire trois (comme en 2018 par exemple). Conséquence : les individus sont plus nombreux, et la saison sensible plus longue (jusque vers le 15 septembre). Or, une noix atteinte est une noix perdue pour la commercialisation. Outre la perte directe, cela engendre un travail considérable de tri (qui, pour être bien fait, ne peut être que manuel, le tri optique ne donnant pas des résultats satisfaisants). Protéger les noyers du carpopapse nécessite d'augmenter les traitements (et donc l'utilisation de produits phytosanitaires en agriculture conventionnelle, de pièges à phéromones en agriculture biologique), avec par conséquent des surcoûts pour les nuciculteurs.
 - On commence à voir apparaître un lépidoptère⁸⁰ qui vient d'Afrique du Nord. Les problèmes qu'il peut poser n'ont pas encore été mesurés, mais il constitue un signe avant-coureur d'un développement possible de nouveaux ravageurs.
 - ▶ On observe au printemps un débourrement hétérogène (vraisemblablement dû au manque de froid hivernal - cf. p. 10), avec pour conséquence un étalement dans le temps de la floraison, et donc une pollinisation puis une fructification plus faibles (et avec des fruits plus petits lorsque cette fructification est plus tardive).
 - ▶ On observe également des dépérissements importants (bois mort) en lien avec les épisodes de chaleur et/ou de stress hydrique : ces épisodes provoquent dans les vaisseaux des arbres la formation de bulles d'air qui fragilisent les branches.
 - ▶ L'évolution des températures automnales peut aussi poser problème. En 2019, la neige est tombée le 14 Novembre alors même qu'il n'y avait pas eu de période préalable de froid, qui aurait entraîné la chute des feuilles ; ces dernières ont par conséquent retenu la neige, et de nombreuses branches ou arbres ont cassé sous son poids⁸¹. L'épisode neigeux est ainsi venu s'ajouter à d'autres épisodes, comme les tempêtes de juin et juillet de la même année, qui avaient déjà affaibli les arbres.

■ Manque d'eau et irrigation

Depuis 1995, le SENURA⁸² établit des prévisions de récolte à partir d'un échantillonnage de vergers. Ces observations permettent de constater des rendements très différents, selon les années, selon que les arbres sont ou non irrigués⁸³.

⁷⁹ Le carpopapse est un papillon de nuit dont la larve s'attaque aux fruits du pommier, du poirier, du noyer et d'autres arbres fruitiers.

⁸⁰ Ectomyélois ceratoniae

⁸¹ Des nuciculteurs parlent ainsi de "cassure" pour désigner ce passage quasiment sans transition de l'été à des conditions hivernales, avec les risques qui s'ensuivent pour les arbres (alors qu'"il y avait en général toujours des gelées autour de la Toussaint, qui amenaient les arbres à perdre leurs feuilles en quelques jours").

⁸² La SENURA, à Chatte, est une station d'expérimentation nucicole de référence pour le Sud Est de la France.

⁸³ En appellation d'origine protégée, l'irrigation est (depuis 2016 ?) autorisée jusqu'à la récolte.

Les noyeraies connaissent des situations de stress hydriques importants⁸⁴ et répétés, sur les zones de coteaux mais aussi en plaine : on observe par exemple, entre Poliéna et Tullins, une mortalité chez des noyers qui ont un enracinement relativement superficiel, car ils rencontraient jusqu'à présent l'eau à 3 m de profondeur. Le niveau des nappes descendant, ces arbres dépérissent, voire meurent, faute d'un enracinement suffisamment profond et d'eau en été.

L'irrigation des noyers s'est développée depuis une trentaine d'années. Il y a plusieurs raisons à cela. La principale d'entre elles est l'irrégularité croissante des précipitations. Mais elle est également liée au passage au ramassage des noix à la machine⁸⁵ et à l'objectif de garantir une production régulière de fruits répondant à des critères d'aspect et de taille. Aujourd'hui, les noyers sont irrigués jusqu'à 6 à 7 mois dans l'année⁸⁶ et les quantités d'eau utilisées augmentent : de 1200 à 1500 m³ par hectare et par an il y a 20 ans, elles sont aujourd'hui de l'ordre de 3000 m³ par hectare et par an, c'est-à-dire comparables à celles utilisées sur le maïs⁸⁷ (mais sur une période plus étalée).

Le choix d'irriguer résulte toujours d'un compromis. L'irrigation peut avoir pour but d'éviter le dépérissement ou la mortalité d'arbres en situation de stress hydriques importants et/ou d'améliorer la productivité. Dans les plantations récentes, elle permet également d'obtenir des arbres plus rapidement productifs. Mais la conséquence peut être un enracinement moins profond, rendant les arbres plus vulnérables au stress hydrique ou à des coups de vent.

2.2.9.2.1. Pâturages et fourrages

L'impact du changement climatique sur les prairies est sans doute l'un de ceux qui pose le plus rapidement les problèmes les plus importants.

"L'élevage est plus sensible à la sécheresse que l'agriculture stricto sensu pour deux raisons :

- ▶ *pour une même sécheresse, à une baisse de production du blé de 20% pourra correspondre une baisse de production fourragère de l'ordre de 50%,*
- ▶ *la consommation des animaux étant peu plastique sur une longue période, l'autoprotection est indispensable pour l'éleveur s'il ne veut pas "décapitaliser" en réduisant son cheptel"*⁸⁸.

Comment se traduit le changement climatique pour les prairies ?

"Au printemps : l'élévation des températures s'accompagne d'une précocité plus forte des stades végétatifs. Concrètement, cela signifie de l'herbe plus tôt qu'il faut faucher ou pâturer précocement afin d'en conserver la qualité. Ceci signifie une production quantitative importante au printemps.

En été : la baisse de la pluviométrie engendre un déficit hydrique qui, corrélé à une augmentation de l'évapotranspiration, diminue fortement la production fourragère.

En outre, le vent, souvent présent, renforce l'évapotranspiration de façon non négligeable.

Ces évolutions creusent le déficit hydrique estival, et accroît la variabilité interannuelle de la production fourragère d'été (entre le 15 mai et le 15 septembre) : les variations d'une année sur l'autre sont du même ordre que le changement climatique moyen sur 30-40 ans⁸⁹ - avec pour conséquence une grande difficulté pour les éleveurs à prendre les dispositions nécessaires pour assurer l'alimentation du bétail. Pour les prairies non irriguées (cas très général), la production est très variable d'une année sur l'autre avec une tendance nette à la baisse au cours du temps. Pour les prairies irriguées, le besoin en irrigation a augmenté de 150 à 180 mm depuis 1980⁸⁹.

⁸⁴ En 2003, les vergers qui n'étaient pas irrigués ont "brûlé" : les arbres sont morts ou ont dépéri (et ont alors mis plusieurs années à "récupérer"), ceux qui étaient irrigués en goutte-à-goutte ont survécu, mais n'ont pas donné de récolte, ceux qui étaient irrigués par aspersion ont donné une récolte.

⁸⁵ Pour que le sol "porte", le ramassage des noix à la machine nécessite d'enherber, ce qui demande davantage d'eau.

⁸⁶ Jean-Pierre Martin, président de l'ASA Irrigation Sud Grésivaudan, communication personnelle.

⁸⁷ Philippe Glénat, nucciculteur à Saint-Romans, communication personnelle.

⁸⁸ "Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau", synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, octobre 2006.

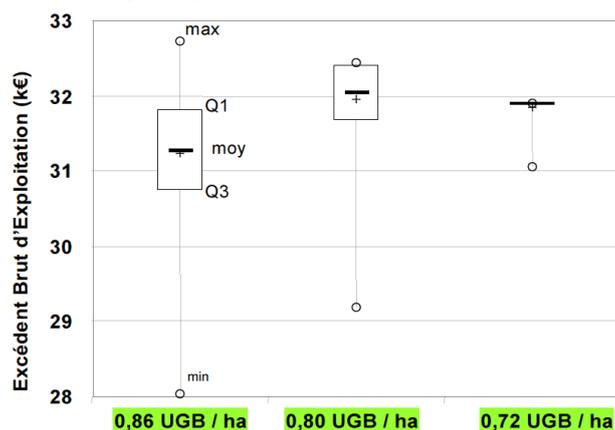
⁸⁹ "Changement du climat récent et proche futur dans l'arc péri-méditerranéen", F. Lelièvre, J.B. Finot, S. Satger, INRA, UMR SYSTEM (Agronomie méditerranéenne et tropicale), Montpellier, présentation faite lors de la rencontre CLIMFOUREL Ardèche-Drôme à Vernoux le 25 février 2009.

L'augmentation du taux de CO₂ dans l'air, qui favorise la photosynthèse et par conséquent la croissance de la végétation, peut-elle, en partie au moins, compenser les effets des sécheresses estivales ? Oui, jusqu'à un certain point, mais sous réserve que les plantes disposent de suffisamment d'eau (ce qui, en pratique, est rarement le cas) : des travaux de l'INRA - Institut National de la Recherche Agronomique - évaluent à 3% le gain de croissance d'une prairie à dominante de graminées pour une augmentation de 50 ppm de la concentration de CO₂ dans l'air, ce qui correspond à l'augmentation observée depuis environ 30 ans⁹⁰. Conjugée à l'augmentation des températures, qui améliore également la productivité en dehors de la période estivale, cela est susceptible de compenser pour moitié environ la réduction de la production estivale⁹¹. Les auteurs de ces travaux estiment en définitive que **l'impact du changement climatique sur la production fourragère est "assez net pour être un caractère structurel dans beaucoup de petites régions du grand sud de la France"**, et qu'**"il faut adapter les systèmes d'alimentation animale"**.

Les pistes d'action qu'ils préconisent consistent principalement à **s'adapter aux nouvelles contraintes (en anticipant les crises d'été) et à valoriser les nouvelles possibilités à l'automne et au printemps** :

- abaissement de charge (réduction du nombre de têtes de bétail à l'hectare),
- accroissement global des stocks (faire des stocks pour l'hiver et pour l'été) :
 - hiver : prévisible (période de non croissance répétable entre années),
 - été : incertain (entre 0 et 3 mois de pâturage),
- stratégie d'économie des stocks d'hiver par :
 - report de pâturage sur pied fin d'automne,
 - mise à l'herbe très précoce (ex : ray-grass, brôme, orge),
- reports sur pied de la fin de printemps vers l'été (types de prairies + modalité de gestion au printemps),
- réanalyse des types de conserve (stock) : maïs / sorgho / céréales immatures / herbe / ensilage / enrubannage / foin,
- surfaces d'ajustement (quand c'est possible) : parcours ; estives d'altitude ; sorgho ou maïs à double fin,
- avoir 10-15% de surface irriguée (rôle stratégique des petites surfaces irriguées),
- organisation collective des ajustements,
- adaptations variétales des prairies semées et adaptations techniques :
 - évolution variétale et composition de mélanges (prairies de pâture et de fauche),
 - dates de semis, de pâturage et fauches, fertilisation : éléments nouveaux liés à l'évolution variétale et climatique.

Les stratégies d'adaptation amènent à définir des niveaux de charge, c'est-à-dire le nombre de têtes de bétail, optimal. D'un point de vue économique, les systèmes d'élevage les plus sensibles aux aléas climatiques sont ceux qui ont les niveaux de charge les plus élevés⁹² :



⁹⁰ "Impacts du changement climatique 1950-2009 sur la production fourragère dans le Sud de la France", François Lelièvre, Stephan Sala et Florence Volaire, INRA, UMR CEFV, Montpellier.

⁹¹ Les ordres de grandeur sont les suivants (sur la période des 30 dernières années) : pertes estivales liées à la sécheresse : - 21%, compensation liée à l'augmentation des températures : +7%, et à celle de la teneur en CO₂ de l'atmosphère : + 3%. La perte moyenne de rendement serait ainsi d'environ 11% en 30 ans⁹⁰, avec une variabilité interannuelle accrue.

⁹² Source : "*Sensibilité des systèmes d'élevage aux aléas climatiques et adaptations mises en œuvre par les éleveurs*", Claire Aubron, Magali Jouven (Montpellier SupAgro), Amandine Lurette (INRA), UMR SELMET (Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux).

⇒ Dans le contexte d'un changement climatique dont l'une des principales manifestations est la variabilité accrue des conditions rencontrées d'une année sur l'autre, la recherche d'un optimum de gestion, fondé sur un nombre d'animaux pas trop élevé par rapport aux surfaces disponibles, constitue par conséquent un facteur essentiel de résilience et donc d'adaptation⁹³.

Le constat fait par un éleveur bovin, à Saint-Antoine l'Abbaye, illustre bien cette problématique.

"*Tout est décalé, on a de l'herbe de plus en plus tôt au printemps, et on fait les foins au mois de mai, alors qu'on les coupait auparavant au mois de juin, voire début juillet*". Mais cette coupe de foin, plus précoce, est désormais la seule de l'année, et il n'y a ensuite plus suffisamment d'herbe pour le pâturage durant l'été. "*Il est ensuite nécessaire de donner de foins aux vaches dès l'été, notamment depuis 3 ou 4 ans*".

Au regard de ces évolutions, mieux vaut à ses yeux conserver 50 vaches que de vouloir développer le troupeau. Sa charge actuelle est de 0,8 UGB⁹⁴ par hectare. S'il passait à 1,2 UGB par hectare, il devrait alors acheter du foin, ce qui compromettrait ses résultats⁹⁵.

2.2.9.2.2. Impacts sanitaires sur les animaux

Sécheresses et fortes chaleurs peuvent avoir un impact direct sur les animaux : stress thermique sur les animaux, modifications des rations alimentaires, insuffisance de l'ingestion de fourrages grossiers (qui peuvent impacter sur la santé des animaux), des risques parasitaires, des intoxications végétales.

Les vaches n'aiment ni la chaleur ni les mouches.

Un éleveur explique que les vaches n'aiment pas la chaleur, alors qu'inversement elles ne craignent pas le froid : "*une vache, c'est une cocotte-minute ambulante, c'est entre zéro et -10° qu'elle produit le plus*". Il a installé des brasseurs d'air dans son bâtiment d'élevage, puis des brumisateurs : diminuer le stress des vaches augmente la production laitière, "*c'est la ventilation du bâtiment qui fait tout !*".

Il observe par ailleurs qu'il y a de plus en plus de mouches, et sur des périodes de plus en plus longues, y compris l'hiver, ce qui ne se voyait jamais auparavant. "*Les vaches en souffrent, elles s'agitent, s'énervent, les mouches les stressent, et une vache stressée produit moins de lait*".

Les changements climatiques peuvent également avoir un impact indirect, à travers le développement de certains parasites ou maladies.

Les tiques, par exemple, sont favorisées par les changements climatiques, et notamment des hivers doux (cf. supra, p. 10). Si elles peuvent propager la maladie de Lyme chez les humains, elles peuvent également affecter des animaux d'élevage.

Certains parasites sont également favorisés, directement ou indirectement, par les changements en cours. C'est le cas des strongles, des vers qui se développent dans l'intestin des mammifères et dont certains provoquent chez les ovins des strongyloses digestives. Cette affection se traduit chez les adultes par une perte d'état, une diminution de productivité (fertilité, lactation), des entérites, des anémies à l'herbe et, chez les jeunes, par des diarrhées⁹⁶. Ces strongles sont, entre autres, favorisés par des printemps tempérés et humides (évolution climatique) et par le surpâturage.

⁹³ "*Les élevages de bovins laitiers ou à viande et d'ovins, dont l'alimentation dépend presque exclusivement de la production des prairies sont les plus vulnérables à la sécheresse car ils dépendent directement des fluctuations de la pousse de l'herbe. L'INRA recommande de diminuer le chargement animal global de l'exploitation afin de faire des stocks en quantité suffisante en effectuant des reports de stocks d'une année sur l'autre, correspondant environ à 6 mois. Ce sont en effet les systèmes les plus extensifs (prairie et animaux) qui s'avèrent les plus adaptés à la sécheresse*" (INRA).

⁹⁴ UGB : Unité Gros Bétail.

⁹⁵ On considère qu'une exploitation est extensive jusqu'à 0,8 UGB par hectare, "normale" entre 0,8 et 1,2 UGB par hectare, intensive lorsqu'elle a plus de 1,2 UGB à l'hectare.

⁹⁶ Alliance-élevage.com : <https://www.alliance-elevage.com/informations/article/les-strongyloses-gastro-intestinales>

Performance agronomique ou résilience économique ?

Les changements climatiques se manifestent tendanciellement par une évolution des températures et du régime des précipitations. Mais ils tendent en même temps à accentuer la variabilité interannuelle des conditions météorologiques. "Les années se suivent mais ne se ressemblent pas...". Cette plus grande variabilité, au sein d'une évolution plus globale, rend difficile la gestion des exploitations. "Ce qui est compliqué, ce n'est pas que ça change, c'est que ça change tout le temps". Face à ces évolutions et au caractère de plus en plus imprévisible des conditions climatiques, la recherche de la performance (l'obtention des meilleurs rendements) ne paraît plus la stratégie la plus efficace. Réduire l'exposition aux aléas devient un facteur essentiel de viabilité économique de long terme des exploitations. Cela représente un changement de paradigme : ne pas nécessairement chercher à produire plus, ni même peut-être autant, mais augmenter la "robustesse" du système de production, quitte à peut-être moins gagner les bonnes années, pour moins perdre les mauvaises.

2.2.5.3. L'irrigation

Un peu plus de 20 % des surfaces agricoles sont irriguées⁹⁷. Les noyeraies représentent près de 60 % des surfaces irriguées⁹⁸, les céréales, protéagineux et oléagineux plus du tiers.

L'irrigation est assurée par des Associations Syndicales Autorisées (ASA), des Coopératives d'Utilisation de Matériel en Commune (CUMA) et des irrigants individuels. Les prélèvements destinés à l'irrigation sont essentiellement effectués dans les ressources souterraines, principalement dans les terrasses de l'Isère et représentent 2,41 millions de m³/an en moyenne, soit un usage moindre que l'eau potable. Cette tendance s'inverse avec la prise en compte de l'Isère puisque les prélèvements dans cette ressource représentent 3 fois le volume prélevé dans les eaux souterraines^{99, 100}.

Structures collectives d'irrigation	Ressource
ASA de Buisson-Rond	eaux souterraines / Isère depuis 2009
ASA de Saint-Hilaire-du-Rosier	Isère
ASA des Espinasses	eaux souterraines
ASA des Guimetières	eaux souterraines
ASA du Sud-Grésivaudan	retenue sur le Frison + prise dans Isère et Furand
ASA du Vézy (de Têche)	Isère
CUMA de Bertiquière	Isère
ASA d'Izeron St Pierre de Chérennes	Isère
CUMA des Combeaux	eaux souterraines
SIEPIA ST-Romans / St-Just-de-Claix	eaux souterraines / Isère

L'irrigation soulève la question des disponibilités des ressources en eau. Le PGRI a imposé dans les eaux de surface des réductions de 15 à 40% des prélèvements¹⁰¹.

L'analyse des arrêtés préfectoraux "Sécheresse" montre par exemple que, sur les 3 dernières années, la situation n'a été "normale" qu'en hiver et au (début du) printemps, et que les situations de vigilance et d'alerte ont prévalu en période estivale et à l'automne.

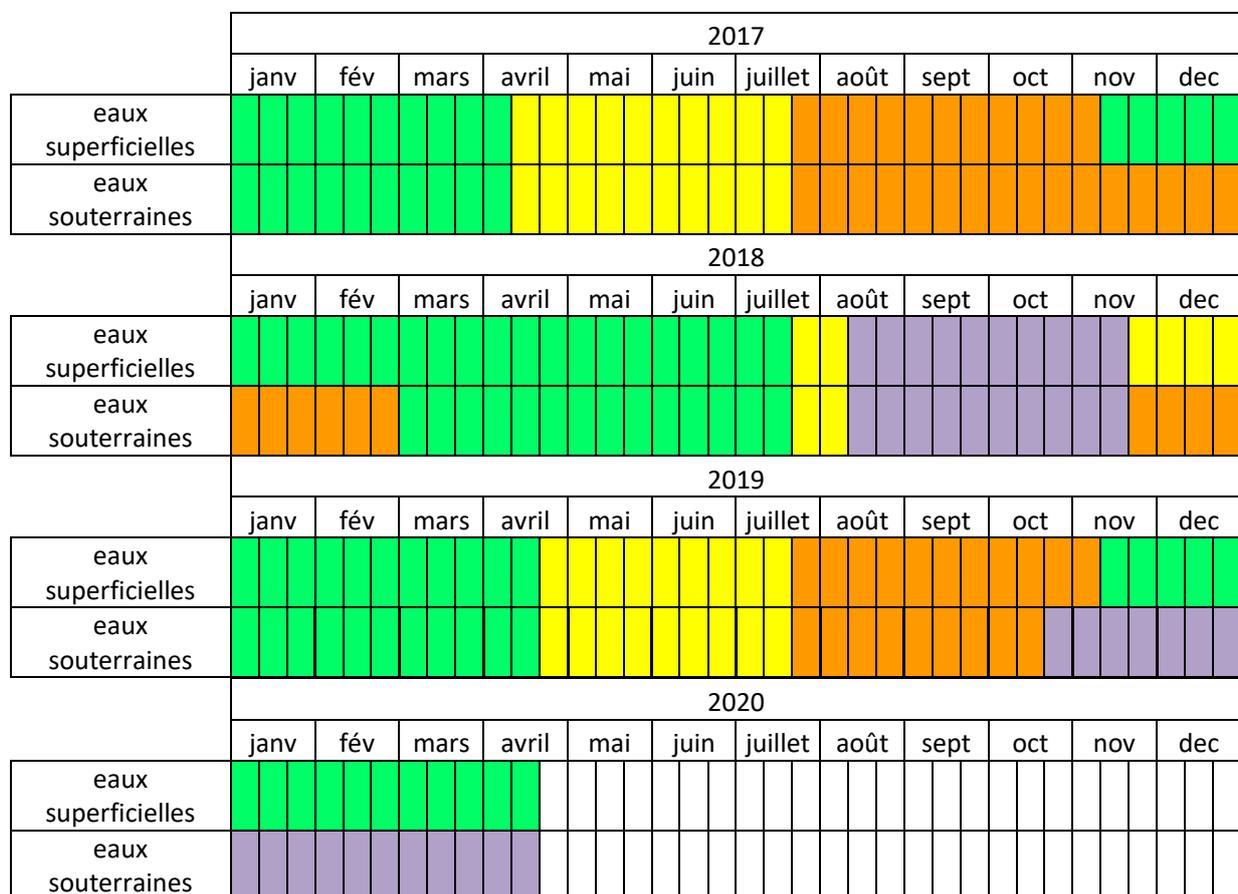
⁹⁷ RGA 2010.

⁹⁸ Cf. p. 44.

⁹⁹ PGRI, p. 18.

¹⁰⁰ Les coûts d'irrigation à partir de l'Isère sont plus élevés que ceux que l'on obtient à partir de puits.

¹⁰¹ Nathalie JURY, Association départementale des irrigants de l'Isère.



Mesures concernant l'irrigation¹⁰²

situation normale		
vigilance	niveau 0	
alerte	niveau 1	Diminution de 15 % des prélèvements
alerte renforcée	niveau 2	Diminution de 30 % des prélèvements
crise	niveau 3	Interdiction des prélèvements

La problématique de l'irrigation

- ▶ L'irrigation se généralise. Elle s'étend à des cultures que l'on n'aurait auparavant jamais pensé à irriguer, comme les chênes truffiers ou même la lavande¹⁰³. "Il n'y aura pas assez d'eau pour tout le monde" prévient Jean-Pierre Martin, président de l'ASA Irrigation Sud Grésivaudan¹⁰⁴.
- ▶ Si l'irrigation tend à s'imposer, c'est principalement en raison de l'irrégularité croissante des précipitations (cf. p. 12). Mais c'est aussi en raison de l'évolution des pratiques agricoles ; par exemple :
 - la teneur en humus des sols diminue, conséquence en grande partie de choix culturaux réalisés depuis plusieurs décennies¹⁰⁵ ; c'est le point de départ d'un cercle vicieux : un sol moins humifère retient moins l'eau, et l'humus se développe moins dans un sol plus sec...
 - l'irrigation des noyeraies résulte pour partie du passage à la récolte mécanisée (cf. p. 40).
- ▶ Mais l'irrigation coûte cher, en énergie notamment. 1 m³ d'eau vendue consomme 1,2 kW d'électricité. L'énergie représente ainsi par exemple la moitié des charges d'exploitation de l'ASA Irrigation Sud Grésivaudan. Pour son président, "l'énergie, c'est la survie des réseaux".

¹⁰² Arrêté préfectoral numéro 38 – 2018 – 05 – 30 – 006 fixant le cadre des mesures de gestion et de préservation de la ressource en eau en période de sécheresse.

¹⁰³ La lavande, que l'on commence à voir apparaître sur le territoire, est irriguée dans les premiers temps après sa plantation.

¹⁰⁴ L'ASA Irrigation Sud Grésivaudan compte environ 700 adhérents, dont 240 exploitants professionnels. Elle couvre 3000 ha, c'est-à-dire 15 % environ de l'ensemble des surfaces irriguées du département de l'Isère.

¹⁰⁵ Jean-Pierre Martin, président de l'ASA Irrigation Sud Grésivaudan, communication personnelle.

- ▶ Les besoins en eau augmentant et les ressources diminuant, les irrigants se tournent de plus en plus vers l'Isère¹⁰⁶. Mais cette ressource présente deux limites :
 - une limite spatiale, liée au coût, énergétique principalement, que représente le fait de remonter l'eau au-delà d'une certaine distance et d'un certain dénivelé : ce coût est trop prélevé pour remonter l'eau loin des pompes dans la rivière ; "*que va devenir l'agriculture sur le haut du territoire ?*" s'interroge ainsi le président de l'ASA d'Irrigation Sud Grésivaudan.
 - Une limite temporelle : si, jusqu'à présent, les prélèvements dans l'Isère n'ont pas fait l'objet de restrictions, cela pourrait devenir le cas à l'avenir, en raison de la diminution des débits d'étiage.

Le SAGE souligne ainsi que "*comme pour l'alimentation en eau potable, la limitation annoncée de la disponibilité des ressources en eau pour l'irrigation à l'avenir (...) doit être anticipée par une politique ambitieuse en faveur de la sobriété de l'usage de l'eau agricole*".

Les mesures d'adaptation passent par¹⁰⁷ :

- ▶ le choix des cultures ou variétés¹⁰⁸,
- ▶ les pratiques culturales,
- ▶ la rétention de l'eau dans les sols et les milieux connexes aux cultures (haies notamment),
- ▶ la gestion de l'irrigation, lorsqu'elle reste nécessaire, et des réseaux (limitation des pertes).

Inciter les agriculteurs à se tourner vers des cultures moins gourmandes en eau

L'ASA Irrigation Sud Grésivaudan a mis en place un dispositif d'incitation financière en ce sens. Si le prix de l'eau est le même pour toutes les cultures (de l'ordre de 0,10 à 0,12 € le mètre cube), le prix de l'abonnement à l'hectare différencie deux catégories de culture :

- ▶ la première catégorie regroupe les cultures dont les besoins en eau sont les plus importants (maïs, luzerne, soja, tabac, noix...) ; les agriculteurs payent pour ces cultures le plein tarif de l'abonnement, c'est-à-dire 150 € par hectare,
- ▶ pour les autres cultures (blé, orge, tournesol, truffe, lavande...), moins gourmandes en eau, l'abonnement est réduit de 50 % (75 € par hectare).

Cette ASA est jusqu'à présent le seul réseau de l'Isère à mener cette politique tarifaire.

Abandonner le maïs ?

Un éleveur bovin (Saint-Antoine l'Abbaye) qui produit des céréales pour ses animaux témoigne.

La rotation maïs - céréales à paille - herbe constitue une très bonne rotation, qui limite les adventices et les traitements. Le maïs s'inscrit parfaitement dans ce type de rotation (maïs "*il ne doit pas être arrosé trop tôt, il doit souffrir au début, après la plantation, pour se développer convenablement ensuite sans nécessiter une irrigation excessive*"). Il utilise de l'ordre de 2000 m³ d'eau par an et par hectare pour le maïs à l'ensilage (contre de l'ordre de 3000 m³ pour la production de maïs grain). Pour autant, "*on va arrêter le maïs*", "*de toute façon, il n'y en aura plus par ici d'ici 10 ans*".

Pour remplacer le maïs, il utilise des mélanges de céréales. Il explique que le sorgho fourrager a le même rendement à l'hectare que le maïs, mais n'a pas la même valeur alimentaire pour les animaux. Il observe en outre un problème de verse sur le sorgho ("*mais cela tient vraisemblablement au fait que la recherche sur le sorgho a jusqu'à présent été beaucoup moins développée que sur le maïs*").

Il cultive également la triticale, une céréale rustique qui résulte d'un croisement de blé et de seigle, et résiste bien au manque d'eau ; il obtient avec la triticale un rendement de l'ordre de 80 quintaux à l'hectare.

¹⁰⁶ Beaucoup le font déjà et le principal réseau, celui de l'ASA Irrigation Sud Grésivaudan, qui s'approvisionnait jusqu'à présent pour l'essentiel par dérivation sur le Furand et dans le lac de Chapaize, prélèvera bientôt la totalité de son eau dans l'Isère. 6 communes sont concernées : Saint Bonnet de Chavagne, Saint Lattier, Chatte, Saint-Hilaire le rosier, Saint-Antoine l'abbaye, Montagne.

¹⁰⁷ Pour un approfondissement de ces questions, voir les annexes "Irrigation : développer des stratégies adaptées", p. 81 et "Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau", p. 84.

¹⁰⁸ "*Dans 5 ans, il n'y aura plus de maïs sur le territoire*", estime Jean-Pierre Martin, président de l'ASA Irrigation Sud Grésivaudan.

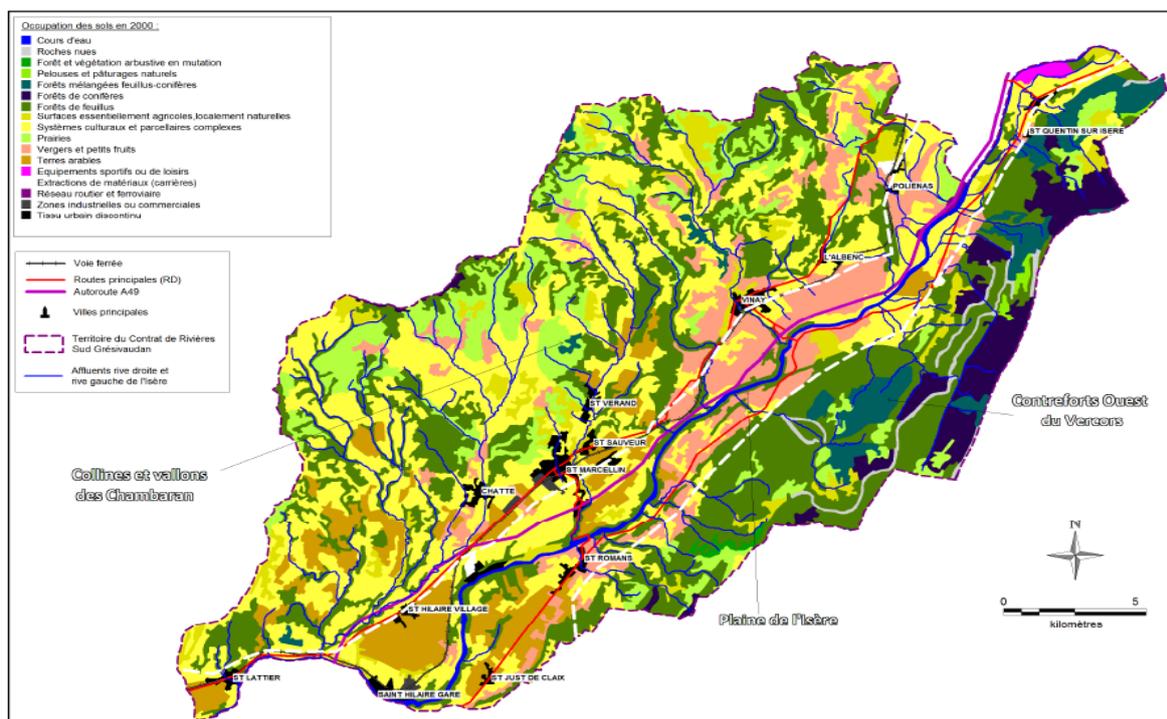
2.2.6. Forêt

"Au cours d'une vie de plusieurs dizaines ou centaines d'années, les arbres connaissent des milieux et des conditions climatiques différentes. Ils ont normalement la capacité de s'adapter. Ce qui change aujourd'hui, c'est la rapidité du réchauffement climatique. Cela va à une telle vitesse que nous n'avons pas la certitude que les arbres s'adaptent"¹⁰⁹.

"Les sécheresses répétées des dernières années, liées au réchauffement climatique, ont des répercussions sur la santé des forêts dans le monde. Les dégâts liés à la sécheresse sur la forêt française sont de bien plus grande ampleur que ce qui était attendu"¹¹⁰.

"Les importants dépérissements forestiers constatés ces derniers mois nous alertent sur la nécessité de concevoir rapidement l'adaptation de nos forêts à ces bouleversements climatiques"¹¹¹.

Les espaces forestiers couvrent de l'ordre d'un peu plus de 40 % du territoire de la communauté de communes¹¹², principalement côté Vercors¹¹³ :



Carte 3 : Occupation des sols et activités humaines (source : CORINE LAND COVER – 2000 ; SCAN 25)

Cette couverture forestière présente différents faciès, avec :

- ▶ sur les collines des Chambaran, le châtaignier évidemment, mais également une grande diversité de feuillus - chênes notamment (pubescents et sessiles), acacias, frênes dans les endroits plus frais, hêtres même lorsque l'on monte un peu en hauteur, etc.) - et des pins (sylvestre et maritime)¹¹⁴ ;
- ▶ sur les contreforts du Vercors, des mélanges de feuillus, chêne pubescent, érables, alisiers... et même des hêtres qui descendent assez bas, puis des épicéas, hêtraies et hêtraies-sapinières (en altitude). Ces peuplements, côté Vercors, sont plus productifs en quantité, et plus valorisables en qualité, que les peuplements des Chambaran.

¹⁰⁹ Brigitte Musch, responsable du conservatoire génétique des arbres forestiers à l'ONF. <https://www.onf.fr/onf/secheresse-et-climat/+3f6::les-forets-francaises-face-la-secheresse.html>

¹¹⁰ Sur le site de l'ONF, 14 août 2019 : <https://www.onf.fr/onf/secheresse-et-climat/+48a::changement-climatique-les-forets-francaises-lepreuve-de-la-secheresse.html>

¹¹¹ Patrick Falcone, adjoint au directeur général de l'ONF ¹¹⁰

¹¹² Cf. p. 90.

¹¹³ Carte extraite du contrat de rivière.

¹¹⁴ Des épicéas également, qui ont fait l'objet d'une plantation sur 200 hectares dans les forêts de Saint-Antoine l'Abbaye, Dionay et Roybon.

D'une façon générale, les stress hydriques et les fortes chaleurs fragilisent les arbres. Davantage que des "événements" ponctuels, c'est la répétition des sécheresses qui affaiblit les arbres ; ceux-ci en souffrent davantage lorsqu'ils se trouvent en limite de station.

- ▶ Les épicéas connaissent par exemple un stress hydrique qui les rend sensibles aux scolytes (qui eux-mêmes se développent davantage avec des températures plus élevées). Jusqu'à présent, ces attaques de scolytes restent ici plutôt localisées que globales.
- ▶ Dans les Chambaran, de grands hêtres ont dépéri durant l'été, en 2019. Les hêtres supportent mal la sécheresse de l'été et l'engorgement d'eau des sols l'hiver. On estime qu'ils vont inévitablement régresser sur le secteur.
- ▶ Dans le massif des Coulmes :
 - La sécheresse de 2003 a eu un impact considérable, notamment sur les hêtres, dont les troncs se sont alors fendus. Dans les années qui ont suivi, des épisodes répétés de sécheresse ont encore entraîné le dépérissement de nombreux hêtres.
 - Les "pots" ont concentré au fil du temps des sols très argileux, dans lesquels des épicéas avaient depuis longtemps été plantés : ces épicéas connaissent un dépérissement bien marqué en raison des sécheresses.
 - L'ONF cherchait jusqu'à présent à gérer les peuplements en futaie régulière, en sélectionnant les meilleures "tiges" par des coupes d'éclaircie. Il procède désormais à des "récoltes définitives" (coupes rases suivies de replantations), parce que les éclaircies fragilisent les peuplements, dans la mesure où le fait d'avoir des peuplements moins denses fait perdre de "l'ambiance forestière", et expose davantage les arbres aux effets de la chaleur et de la sécheresse.

Par ailleurs, les changements climatiques accentuent des problématiques qui ne sont pas nouvelles, mais qui prennent davantage d'ampleur. Ils favorisent notamment le développement de parasites et maladies. Ainsi par exemple :

- ▶ le gui, qui parasite les arbres, monte un peu plus haut en altitude ;
- ▶ le châtaigner peut être attaqué par l'encre (la maladie de l'encre est cependant encore peu présente sur le secteur), le cynips¹¹⁵, l'endothia¹¹⁶ (le chancre du châtaignier "*est en constante expansion sur l'ensemble du territoire*"¹¹⁷ de la charte forestière des Chambaran) ;
- ▶ la chenille processionnelle entraîne des pertes de production (elle ralentit la croissance des arbres, sans toutefois les faire dépérir),
- ▶ le chêne pubescent est attaqué par le bupreste¹¹⁸, un insecte phytophage.

Transformations du couvert forestier.

A long terme, le pin maritime, le chêne pubescent et d'autres espèces plus méridionales pourraient remplacer les peuplements actuels des Chambaran. Mais "*les changements climatiques vont plus vite que la capacité de régénération naturelle des arbres*"¹¹⁹.

Dans l'intervalle, d'autres scénarios pourraient se mettre en place. Que les hêtres, par exemple, prennent à court terme le dessus sur les chênes, à l'ombre desquels ils se régénèrent bien, mais qu'ils périssent ensuite, entraînant des difficultés majeures dans la succession possible des peuplements.

La question qui se pose par conséquent au forestier est celle de la transition. La prise de décision, dans ce domaine, est toujours délicate. Il paraît par exemple logique de favoriser les essences plus méridionales,

¹¹⁵ Le cynips du châtaignier est arrivé d'Italie, vraisemblablement transporté par des camions de transport de bois. Il provoque des galles sur les branches et les feuilles, ce qui affaiblit les arbres, et se combine avec les effets de la chaleur et de la sécheresse. Le cynips environnement cependant un prédateur, une autre petite mouche, et sa population semble maintenant se stabiliser, régulée par ce prédateur.

¹¹⁶ Le chancre de l'écorce est une maladie du châtaignier, provoquée par un champignon microscopique, *Cryphonectria* (ou *Endothia*) *parasitica*, qui s'attaque à l'écorce de l'arbre, provoquant des lésions à évolution rapide qui entraînent le dessèchement et la mort des parties supérieures (source : CTIFL / INVENIO / SUAMME-ULRAC).

¹¹⁷ Charte Forestière de Territoire des Chambaran, 2007, p. 22.

¹¹⁸ Le bupreste des branches du chêne est présent dans les 2/3 méridionaux de la France. Il est abondant en zone méditerranéenne sur chêne vert ou chêne liège. Avec le réchauffement climatique il progresse en Europe vers le Nord. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19079/Forets-Bupreste-des-branches-du-chene>

¹¹⁹ Franck Delphin, responsable ONF unité territoriale bas Dauphiné, communication personnelle.

mais elles peuvent se montrer plus sensibles aux épisodes de grand froid qui peuvent encore se produire ; inversement, trop attendre, c'est prendre le risque de réagir trop tard...

Dans les Coulmes, l'ONF mène des expérimentations, pour l'instant très localisées, de renouvellement des essences. Il teste par exemple un sapin originaire des bords de la mer Noire, résistant à la fois la sécheresse estivale et au froid de l'hiver.

La diversité - diversité des peuplements, diversité des essences au sein des peuplements, diversité des modes de gestion - représente le principal atout d'une stratégie d'adaptation. Mais elle implique une réflexion en aval sur l'ensemble de la filière de valorisation des produits forestiers.

Les forêts constituent en outre des "refuges" de fraîcheur lors de fortes chaleurs. C'est en tout cas ce que font remonter les gestionnaires des espaces naturels sensibles du Département, qui observent une augmentation de la fréquentation des sites forestiers quand il fait chaud, entre autres sur le site des Ecouges.

LES FEUX DE FORET

"Les feux de forêt constituent un risque important en France. Météo-France établit un indice de feu Météo permettant de caractériser le danger météorologique d'incendie au pas de temps quotidien. Il s'agit de l'Indice Feu Météo (IFM).

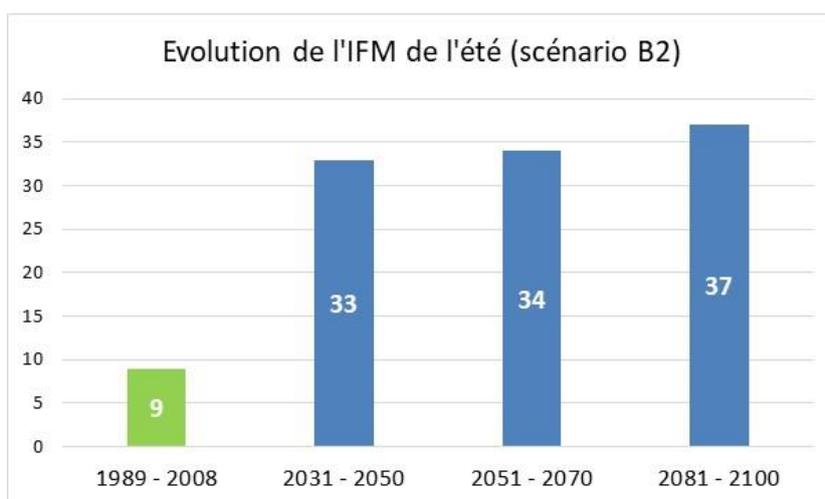
Plus la valeur de l'IFM est élevée plus les conditions météorologiques sont propices aux incendies. On retiendra que le risque d'incendie est faible pour un IFM inférieur à 20, réel au-dessus de cette valeur et très élevé au-dessus de 60.

Le suivi de cet indicateur sur la période 1958-2008 a montré que le grand Sud-est avait subi une augmentation du risque de feux non seulement en été mais aussi durant le printemps.

A l'horizon 2060 (...), la hausse de l'IFM sera supérieure à 3 points d'indice sur l'ensemble des zones de plaine et de moyenne montagne en France. Dans le Sud-est et en Rhône-Alpes en particulier, cette hausse sera nettement plus marquée et supérieure à 6 points d'indice en valeur absolue. Cela correspond à une hausse globale de l'IFM de l'ordre de 75% par rapport à la moyenne 1961-2000. A l'horizon 2090, la hausse est colossale : le risque météorologique d'incendie est globalement doublé"¹²⁰.

Sur le territoire de la communauté de communes, la cartographie des risques d'incendie sur le département de l'Isère, réalisée en 2005, considère que l'aléa feux de forêt est faible à modéré.

C'est évidemment l'été que le risque est le plus important. Ce risque était jusqu'à présent faible (l'indice feu météo, calculé sur la période 1989 à 2008, était de 9). Mais il faut s'attendre à ce qu'il devienne plus élevé (on considère que le risque d'incendie est réel lorsque l'IFM est supérieur à 20) :



¹²⁰ Etude du changement climatique pour le SRCAE Rhône-Alpes, Etude réalisée pour la DREAL Rhône-Alpes par Météo-France Centre-Est, Division Développements-Etudes-Climatologie, janvier 2011.

3. Annexes

3.1. Personnes contactées

- ▶ Fabien AGERON, éleveur à Saint-Antoine-l'Abbaye
- ▶ Anne-Cécile BAILLY, Charte Forestière des Chambaran
- ▶ Franck DELPHIN, ONF
- ▶ Agathe GIRIN, SYMBHI
- ▶ Philippe GLENAT, nuciculteur à Saint-Romans
- ▶ Nathalie JURY, Association départementale des irrigants de l'Isère
- ▶ Jean-Pierre MARTIN, ASA Irrigation Sud Grésivaudan
- ▶ Denis PELLISSIER, CRPF
- ▶ Bernard PERRIN, ONF
- ▶ Axelle RIAILLE, Département de l'Isère
- ▶ Audrey TABONE, Association départementale des irrigants de l'Isère
- ▶ Agnès VERHAEGHE, CTIFL / SENUuRA

3.2. Sigles, abréviations et précisions

■ **GIEC : Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat.**

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) ont créé, en 1988, le (GIEC). Le GIEC est un organe intergouvernemental qui est ouvert à tous les pays membres de l'ONU et de l'OMM.

Le GIEC a pour mission d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation. Il n'a pas pour mandat d'entreprendre des travaux de recherche ni de suivre l'évolution des variables climatologiques ou d'autres paramètres pertinents. Ses évaluations sont principalement fondées sur les publications scientifiques et techniques dont la valeur scientifique est largement reconnue.

L'une des principales activités du GIEC consiste à procéder, à intervalles réguliers, à une évaluation de l'état des connaissances relatives au changement climatique. Le GIEC élabore aussi des rapports spéciaux et des documents techniques sur des sujets qui nécessitent des informations et des avis scientifiques indépendants et contribue en outre à la mise en œuvre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) par ses travaux sur les méthodes à appliquer pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

+ d'infos : http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml

■ **ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique**

Créé par la loi du 19 février 2001 qui confère à la lutte contre l'effet de serre et à la prévention des risques liés au réchauffement climatique la qualité de priorité nationale, l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (Onerc) matérialise la volonté du Parlement et du Gouvernement de prendre en compte les questions liées aux effets du changement climatique.

La mission de l'Observatoire est de collecter et de diffuser les informations, études et recherches sur les risques liés au réchauffement climatique et aux phénomènes climatiques extrêmes. Il peut également formuler des recommandations sur les mesures de prévention et d'adaptation susceptibles de limiter les risques liés au changement climatique. Cette mission a été étendue par le Plan Climat 2004 qui demande à l'Onerc de coordonner ces actions d'adaptation en France et de préparer un cadre stratégique d'ensemble.

■ **Plan national d'adaptation de la France aux effets du changement climatique**

La loi 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle Environnement, prévoyait, dans son article 42, qu'un "*Plan national d'adaptation pour les différents secteurs d'activité devrait être préparé pour 2011*". Ce Plan couvre une période de 5 années (2011 – 2015). Une revue à mi-parcours sera effectuée en 2013, pour vérifier l'articulation entre le Plan national et les orientations et actions territoriales définies dans les Schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie et les Plans climat-énergie territoriaux prévus par la loi 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.

■ **Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique**

La stratégie nationale d'adaptation au changement climatique a été définie en 2007.

Elle affirme que "*l'adaptation, qui vise à réduire notre vulnérabilité aux conséquences du changement climatique, poursuit quatre grandes finalités qui doivent sous-tendre l'ensemble des mesures à mettre en place* :

- protéger les personnes et les biens en agissant pour la sécurité et la santé publique ;
- tenir compte des aspects sociaux et éviter les inégalités devant les risques ;
- limiter les coûts et tirer parti des avantages ;
- préserver le patrimoine naturel.

La mise en œuvre d'une politique d'adaptation doit respecter les principes suivants :

- *le souci de l'équité, qui exige d'associer toutes les collectivités et catégories socioprofessionnelles susceptibles de subir les conséquences du changement climatique ou de l'adaptation à ses effets ;*
- *l'anticipation des situations de crise, autant que faire se peut ;*
- *le fait que, si le recours aux dispositifs d'assurance privés ou publics est un outil important de gestion du risque climatique, il devra être complété des décisions d'adaptation nécessaires à la diminution des risques afin de ne pas retarder les décisions d'adaptation nécessaires ;*
- *le fait que les aides et les subventions ne doivent pas conduire à faire perdurer des situations sans issue, mais que l'action publique doit plutôt favoriser les évolutions et les diversifications économiques dans une optique de développement durable ;*
- *l'articulation avec l'atténuation (i.e. la réduction des émissions de gaz à effet de serre)."*

■ **SRCAE : Schéma régional Climat Air Energie**

La loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'Environnement (dite loi Grenelle 2), a mis en place les SRCAE.

Les SRCAE déterminent pour chaque région, à l'horizon 2020 et 2050 :

1° Les orientations permettant d'atténuer les effets du changement climatique et de s'y adapter, conformément à l'engagement pris par la France, à l'article 2 de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique, de diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050, et conformément aux engagements pris dans le cadre européen. A ce titre, il définit notamment les objectifs régionaux en matière de maîtrise de l'énergie ;

2° Les orientations permettant, pour atteindre les normes de qualité de l'air (...), de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique ou d'en atténuer les effets. A ce titre, ils définissent des normes de qualité de l'air propres à certaines zones lorsque les nécessités de leur protection le justifient ;

3° Par zones géographiques, les objectifs qualitatifs et quantitatifs à atteindre en matière de valorisation du potentiel énergétique terrestre, renouvelable et de récupération et en matière de mise en œuvre de techniques performantes d'efficacité énergétique telles que les unités de cogénération, notamment alimentées à partir de biomasse, conformément aux objectifs issus de la législation européenne relative à l'énergie et au climat. A ce titre, le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie vaut schéma régional des énergies renouvelables au sens du III de l'article 19 de la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Un schéma régional éolien qui constitue un volet annexé à ce document définit, en cohérence avec les objectifs issus de la législation européenne relative à l'énergie et au climat, les parties du territoire favorables au développement de l'énergie éolienne.

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=F19C6C3CC6572C0E403E633CC80F7B3F.tpdjo06v_2?idSectionTA=LEGISCTA000022476742&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20120507

3.3. Les épisodes de canicule et leur impact sur la santé en France depuis 2003

■ 2003¹²¹

La canicule de l'été 2003 a entraîné en France une surmortalité estimée à près de 15000 décès. La France n'avait jamais été confrontée à de telles conséquences sanitaires engendrées par une canicule. Cet événement a révélé la nécessité d'adapter le dispositif national de prévention et de soins à la survenue de ce type de phénomène climatique en élaborant en 2004 un Plan National Canicule (PNC) qui a ensuite été actualisé chaque année et révisé en 2013, pour permettre notamment une meilleure adéquation entre les niveaux de vigilance météorologique et les niveaux du plan.

■ 2006¹²¹

En juillet 2006, la France a connu un autre épisode de canicule important, bien que de moindre intensité qu'en 2003. Une étude menée conjointement par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) a montré que l'excès de mortalité attribuable à l'épisode caniculaire de 2006 était trois fois moins important que ce que prévoyait le modèle température-mortalité, fondé sur des données antérieures à 2003.

■ 2015¹²¹

Au cours de l'été 2015, la France métropolitaine a connu plusieurs épisodes de canicule dont un très intense du 29 juin au 7 juillet, le plus précoce depuis la mise en place du PNC, avec des conséquences sanitaires importantes et un excès de mortalité de 3300 personnes. Le retour d'expérience établi suite à la saison estivale a permis de montrer la forte mobilisation et la collaboration entre les acteurs mettant en œuvre le plan canicule, mais il a aussi mis en exergue la nécessité de renforcer cette mise en œuvre pour réduire l'impact de la canicule.

■ 2016¹²¹

La saison météorologique estivale 2016 a été particulièrement active avec la survenue de cinq vagues de chaleur de juillet à mi-septembre 2016 (niveaux jaune et orange). Les températures particulièrement élevées du mois de septembre (+ 3 °C en moyenne sur la France) ont conduit au maintien de dispositif de vigilance canicule jusqu'au 15 septembre.

En outre, les indicateurs de morbidité montrent qu'il existe un impact sur les recours aux soins observés avec l'augmentation des températures, et ce dans toutes les classes d'âges.

Les adultes de 15-74 ans ont également été affectés par ces deux épisodes de canicule et il apparaît pertinent d'adapter les messages de prévention en fonction de l'âge.

En termes de mortalité, 700 décès en excès ont été observés sur l'épisode de juillet 2016. Cependant, les épisodes de canicule tardifs avec des records de températures battus fin août 2016 ne sont pas accompagnés d'impact sanitaire particulier. Un impact sanitaire a été observé dans des régions avec au moins un département en vigilance jaune qui montre l'utilité dès la vigilance jaune d'une meilleure information et l'application des mesures de prévention, en particulier pour les personnes les plus vulnérables.

■ 2017¹²²

L'été 2017 a été plus chaud que la normale, et marqué par la succession de deux pics et quatre vagues de chaleur, dont deux remarquables :

- une vague de chaleur très étendue et précoce du 17 au 24 juin 2017. 90 départements ont été placés en vigilance canicule jaune ou orange et 96% de la population métropolitaine a été concernée. Cette canicule a présenté des situations d'expositions nouvelles en milieu scolaire.
- une vague de chaleur très intense, localisée dans le Sud, du 31 juillet au 7 août 2017. 23% de la population métropolitaine a été concernée par cette canicule, qui était marquée par des températures nocturnes très élevées.

9 départements ont été placés en vigilance orange canicule pour la première fois depuis la mise en place du plan national canicule en 2004.

¹²¹ Plan national canicule 2017.

¹²² Bilan national canicule été 2017, <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/fortes-chaleurs-canicule/documents/bulletin-national/bilan-national-canicule-ete-2017>

Ce bilan confirme l'existence d'une surmortalité pendant les fortes chaleurs en France, plus marquée pendant les deux vagues de chaleur jugées a priori les plus dangereuses. Sur l'ensemble des périodes de dépassement des seuils, 474 décès en excès sont observés, soit une augmentation de 5% de la mortalité par rapport à celle observée sur les mêmes périodes les années précédentes. La vague de chaleur du 17 au 24 juin totalise 345 décès en excès (+ 7%), et celle du 31 juillet au 7 août 143 décès en excès (+7%). Si les personnes âgées constituent l'effectif le plus important dans les décès, on observe des signaux sur la mortalité chez les autres classes d'âges.

L'intensité de la chaleur, i.e. l'écart aux températures habituelles pour la région, semble demeurer un bon indicateur de la gravité de l'impact.

10 décès sur le lieu de travail potentiellement en lien avec la chaleur ont été signalés pendant l'été, dont 7 survenus lors de la vague de chaleur du 17 au 24 juin. Cet indicateur ne donne qu'une estimation partielle de l'ensemble des impacts potentiels chez les travailleurs.

La chaleur pèse également sur le recours aux soins, au total, 8 000 passages aux urgences et 2 760 consultations SOS Médecins pour pathologies liées à la chaleur ont été enregistrés pendant les pics et vagues de chaleur. Pendant la vague de chaleur de juin, les pathologies liées à la chaleur ont représenté plus de 4% des passages aux urgences et des consultations SOS Médecins totaux chez les 75 ans et plus.

Toutes les classes d'âges sont concernées, avec notamment une représentation importante des moins de 75 ans dans les recours aux soins pour pathologies liées à la chaleur pendant la vague de chaleur de juin 2017. Les 75 ans et plus demeurent la classe d'âge la plus touchée.

En amont de l'été, 500 000 documents décrivant les mesures de prévention ont été diffusés sur le territoire. Pendant les vagues de chaleur, la communication a été renforcée par la diffusion de spots radio et TV, et par des campagnes d'affichage.

Malgré la prévention mise en place, des effets notables sur la santé en France métropolitaine continuent d'être observés en période de chaleur. L'apparition de vague de chaleur dès mi-juin incite à développer des mesures de prévention pour les milieux scolaires.

■ 2018 ¹²³

L'été 2018 a été marqué par une canicule s'étendant du 24 juillet au 8 août. Au plus fort de cet épisode, le 6 août, 67 départements étaient en vigilance orange, 18 en vigilance jaune, représentant 70% de la population métropolitaine. Au niveau national, cette canicule présente des caractéristiques climatiques comparables à celles de fin juin 2015, plus intense et sévère que 2006 mais loin des caractéristiques d'août 2003. On observe également des vagues de chaleur plus localisées début juillet et mi-août.

Du 24 juillet au 11 août (période allongée de 3 jours pour permettre l'estimation des impacts différés) on observe 5 676 passages aux urgences et 1 963 consultations SOS médecins pour pathologies en lien avec la chaleur. 58% de ces passages aux urgences ont donné lieu à une hospitalisation. Si l'impact est plus important chez les plus de 75 ans, toutes les classes d'âges sont concernées.

Au cours des périodes de dépassements des seuils d'alerte¹ et sur l'ensemble des départements concernés, 1 480 [958 : 1 958] décès en excès ont été observés, soit une surmortalité de 15,0 % [9,2 : 20,8%]. Les 75 ans et plus représentent plus de la moitié des décès, 931 [543 : 1277]. Cependant, l'impact relatif le plus important est relevé chez les 65-74 ans (+26 %).

L'excès de mortalité est proche de celui de 2015, été pour lequel les caractéristiques de la canicule étaient similaires à celles de 2018.

Pendant la période du 24 juillet au 11 août, quatre cas d'accidents du travail mortels pouvant être liés à la chaleur ont été notifiés à Santé publique France par l'Inspection médicale du travail.

Avant l'été 2018, 778 747 documents de prévention ont été diffusés en France. Une affiche spécifique aux travailleurs a également été diffusée en 10 000 exemplaires dans le magazine de prévention de l'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics. Les spots télé et radio ont été diffusés du 31 juillet au 9 août dans le cadre de la réquisition des médias par le Ministère de la santé.

Les impacts sanitaires de la chaleur observés lors de la période estivale ne sont pas limités à la seule période du 24 juillet au 8 août puisque les deux-tiers des passages aux urgences pour pathologies liées à la chaleur ont été observées en dehors de cette période.

¹²³ <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/fortes-chaleurs-canicule/documents/bulletin-national/systeme-d-alerte-canicule-et-sante.-bilan-du-24-juillet-au-8-aout-2018>

■ 2019 ¹²⁴

Les mois de juin et de juillet 2019 ont été marqués par deux canicules très étendues et intenses, avec des dépassements des seuils d'alerte entre le 24 juin et le 7 juillet et le 21 et le 27 juillet. Lors de ces deux canicules, pour la première fois depuis la mise en place du Plan national canicule (PNC), respectivement 4 et 20 départements, représentant 7 % et 35 % de la population Française métropolitaine, ont été placés en vigilance rouge, compte-tenu des températures diurnes exceptionnelles.

Sur les périodes de dépassement des seuils d'alerte et sur l'ensemble des départements concernés pendant ces deux canicules, 1 435 décès en excès ont été observés, dont 572 dans les départements en vigilance rouge.

La surmortalité dans ces derniers est environ 50 % plus élevée que la moyenne des départements touchés.

Si la classe d'âge des plus de 75 ans est la plus touchée, les tranches d'âges 15-44 et 65-74 sont également impactées.

La première canicule totalise 567 décès en excès, et la deuxième 868 décès en excès.

Dix décès sur le lieu de travail en lien possible avec la chaleur survenus durant les deux canicules ont également été notifiés¹²⁵.

¹²⁴ Santé Publique France, Le point épidémiologique, Surveillance Canicule et Santé, Bilan national mortalité 2019 <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/fortes-chaieurs-canicule/documents/bulletin-national/systeme-d-alerte-canicule-et-sante.-bilan-de-mortalite-des-episodes-de-chaieur-de-juin-et-juillet-2019>

¹²⁵ *La surveillance de l'impact des vagues de chaleur estivales sur la santé des travailleurs est fondée sur la transmission à Santé publique France, par l'Inspection médicale du travail de la Direction générale du travail, des fiches de signalement d'accidents du travail mortels en lien possible avec la chaleur.*

Pendant la période du 24/06 au 10/07 2019, 8 cas d'accidents du travail mortels pouvant être liés à la chaleur ont été notifiés à Santé publique France par l'Inspection médicale du travail. Il s'agit de 8 hommes âgés de 32 à 58 ans, travaillant principalement en extérieur, dont 3 dans le secteur du BTP et 1 dans l'agriculture. Chez les femmes, aucun décès n'a été observé pendant cette période.

Pendant la période du 21/07 au 30/07, 2 cas d'accidents du travail mortels pouvant être liés à la chaleur ont été notifiés. Il s'agit de deux hommes âgés de 47 et 61 ans dont 1 travaillant dans le secteur du BTP. (Santé Publique France, Le point épidémiologique, Surveillance Canicule et Santé, Bilan national mortalité 2019, p. 6.

3.4.L'impact des vagues de chaleur sur la santé

Différentes études ont été menées pour analyser les facteurs de vulnérabilité de la population face aux vagues de chaleur.

Une étude réalisée sur six vagues de chaleur identifiées entre 1971 et 2003¹²⁶ observe "*une bonne concordance*" entre les variations quotidiennes des températures et de la mortalité pour chacune des vagues de chaleur : "*une augmentation progressive de la mortalité tant que les températures étaient très élevées a été suivie d'une baisse rapide dès que la température redevenait proche de la température de référence*".

En règle générale, les études portant sur la surmortalité lors des épisodes de forte chaleur cherchent à savoir si la forte surmortalité lors des vagues de chaleur se maintient de façon résiduelle dans les jours ou semaines qui suivent les vagues de chaleur. Dans le cas où une sous-mortalité secondaire et transitoire est observée, elle peut révéler un phénomène d'anticipation de la mortalité (appelé "effet moisson"). Selon l'étude de l'INSERM citée précédemment, "*l'existence d'un effet moisson n'est ni systématique ni quantitativement significative*".

Au cours de la première quinzaine d'août 2003, la vague de chaleur d'une durée et d'une intensité exceptionnelles (les températures minimales moyennes et maximales moyennes observées sur les 11 jours de la vague de chaleur, du 4 au 15 août, étaient respectivement de 20,0°C et 36,4°C) a entraîné un nombre de morts en excès estimé à environ 15 000¹²⁷.

Toutes les classes d'âge de la population n'ont pas été impactées de la même manière par cet épisode caniculaire. Les ratios de mortalité¹²⁸ par âge font apparaître une plus grande vulnérabilité des personnes âgées et, dans une moindre mesure, des enfants de moins d'un an, aux vagues de chaleur. Chez les sujets de moins de 45 ans, seules les causes de décès directement liées à la chaleur et les états morbides mal définis ont augmenté, et uniquement chez les hommes. Chez les sujets de 45 ans et plus, trois groupes de causes de décès ont été distingués [K.LAAIDI et al., 2012] :

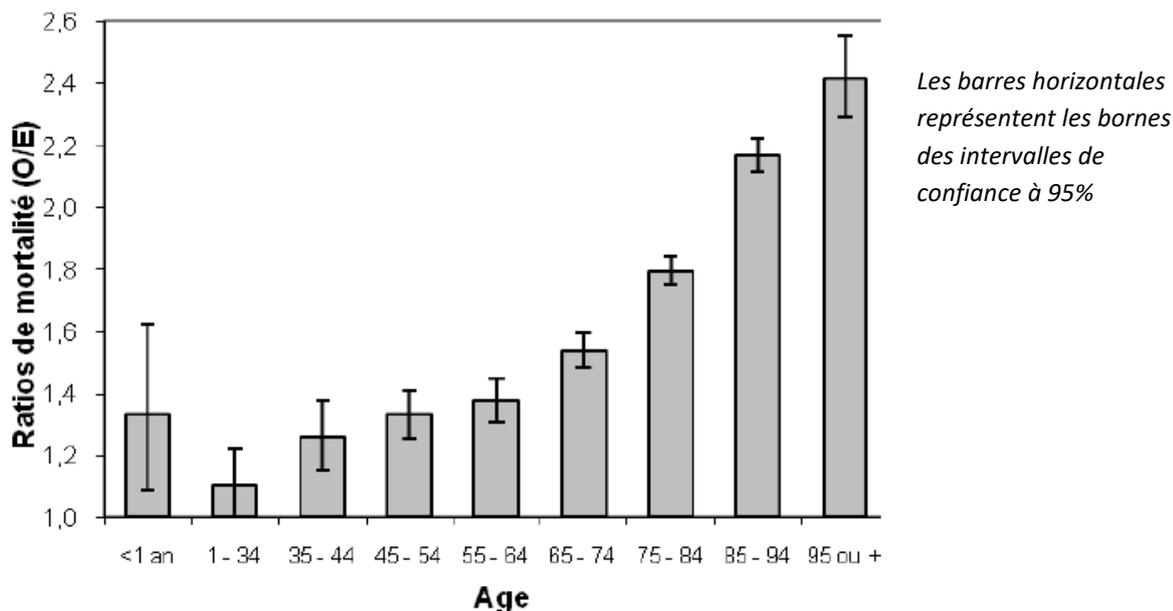
- Les causes directement liées à la chaleur (coup de chaleur, hyperthermie et déshydratation) dont l'augmentation relative a été massive (nombre de décès multiplié par 20 ou plus selon l'âge et le sexe) ;
- La surmortalité a également été extrêmement marquée pour les causes suivantes : maladies du système nerveux, troubles mentaux, maladies de l'appareil respiratoire (incluant les pneumonies), maladies infectieuses, maladies de l'appareil génito-urinaire, maladies endocriniennes et états morbides mal définis ;
- La quasi-totalité des autres causes médicales ont progressé mais d'une manière moins prononcée.

¹²⁶ Grégoire REY (INSERM), *Surmortalité liée aux vagues de chaleur : facteurs de vulnérabilité sociodémographiques et causes médicales de décès*, 2007

¹²⁷ Le Rapport 'Surmortalité liée à la canicule d'août 2003' de l'INSERM a calculé une mortalité "attendue" (valeur de référence) à partir notamment des nombres de décès des mois de juillet, août et septembre des années 2000 à 2002 et d'une estimation de la population (et de ses caractéristiques) en 2003

¹²⁸ Le ratio de mortalité est défini comme le rapport de la mortalité observée sur la mortalité attendue (calculée sur la base de la mortalité observée pendant une période de référence de 3 ans précédant la vague de chaleur étudiée).

Figure 2 : Ratios de mortalité par âge en France au cours de la vague de chaleur de 2003 (Source : INSERM, Grégoire REY)



Pour toutes les vagues de chaleur étudiées par l'INSERM, le nombre de décès en excès est très majoritairement féminin. La surreprésentation des femmes parmi les personnes âgées et des ratios de mortalité globalement plus élevés chez les femmes expliquent en partie cette observation. Toutefois, l'étude " [ne peut] conclure à une vulnérabilité différentielle selon le sexe " car les taux de mortalité de référence sont nettement plus élevés chez les hommes à tous les âges.

L'accroissement relatif de la mortalité a été, en 2003, supérieur chez les célibataires et divorcés par rapport aux sujets veufs et mariés. Le degré d'urbanisation (défini selon la tranche d'unité urbaine) semble également jouer un rôle dans l'importance relative de la surmortalité dans les différentes régions françaises : la surmortalité, de +54% en moyenne nationale, a par exemple été moins importante dans les zones rurales, petites agglomérations et villes de moyenne et de grande taille (environ 40% en moyenne pour ces catégories d'unités urbaines) qu'en région parisienne (+151%).

Les risques pour la santé liés à l'exposition de la population aux vagues de chaleur font intervenir de nombreux facteurs incluant les données climatologiques, l'existence d'une pollution atmosphérique, les caractéristiques du micro-environnement urbain et des lieux de vie – et plus largement l'environnement économique et social des individus, leur état de santé et leur prise en charge médicale¹²⁹.

En Rhône-Alpes, l'augmentation du taux de mortalité a été de 33% par rapport aux valeurs relevées lors des mois d'août 2001 et 2002.

Les augmentations de mortalité les plus importantes ont été observées pour des causes de décès directement attribuables à la chaleur : déshydratation, hyperthermie, coup de chaleur (fièvre aiguë, perte de connaissance, choc cardio-vasculaire). L'augmentation projetée des températures dans un contexte de changement climatique devrait donc augmenter l'impact des fortes chaleurs sur les populations. Une

¹²⁹ La définition "météorologique" d'une vague de chaleur ne fait l'objet d'aucun consensus. Le National Weather Service (NWS) des Etats-Unis définit par exemple une vague de chaleur sur la base des températures apparentes, combinaison de température et d'humidité, sans tenir compte de l'impact observé sur les populations (cet impact pouvant varier, dans des conditions météorologiques similaires, selon les climats habituels et les latitudes notamment)¹²⁹. L'Institut National de Veille Sanitaire (INVS), dans le cadre d'une recherche prospective de vague de chaleur, adapte les critères du NWS au climat habituel local et ajuste sa définition à la concordance de fortes chaleurs avec des fortes hausses de la mortalité (critère de rareté).

L'InVS, a la charge depuis le 1^{er} juillet 2004 de mettre en place un dispositif de veille, le Système d'alerte canicule santé (SACS) sur lequel s'appuie le Plan Canicule. Dans le cadre de la conception de ce SACS, l'InVS s'est vu confier la tâche de définir un indicateur biométéorologique (IBM) unique permettant de prévenir des vagues de chaleur pouvant avoir un impact épidémique de grande ampleur (les seuils de cet indicateur peuvent varier d'un site à l'autre). L'IBM retenu couple la moyenne glissante sur trois jours des températures minimales et maximales (indicateurs les plus performants en regard d'une surmortalité journalière).

étude¹³⁰ estime ainsi que par rapport aux valeurs actuelles, un réchauffement uniforme annuel de +2°C amènerait une réduction du taux de mortalité en hiver de -2,2 % et une augmentation du taux de mortalité en été de +2,9 %. Dans le cas d'un réchauffement uniforme annuel de +3°C à +3,5°C, les taux de mortalité lors des mois de juillet et d'août pourraient connaître une augmentation comprise entre +12 % et +18 %.

Pour la vague de chaleur de 2003, l'analyse de l'effet cumulatif de plusieurs jours consécutifs d'exposition à des températures caniculaires chez les sujets de 75 ans ou plus a permis d'observer que plus le nombre de jours cumulés au-delà de 35°C a été élevé dans un département, plus la hausse du nombre de décès y a été forte. L'effet des îlots de chaleur urbains qui maintiennent le niveau des températures, parce qu'ils "conservent" la chaleur, est particulièrement significatif sur ce point. En 2003, les conséquences en termes de mortalité ont été particulièrement importantes dans les villes, du fait de cet effet d'îlot de chaleur urbain. Cela s'explique en partie par le rafraîchissement nocturne plus faible en zone urbaine, qui à la fois perturbe fortement les capacités de récupération de l'organisme et réduit les possibilités de rafraîchissement des logements.

L'étude menée par l'INSERM sur les facteurs de vulnérabilité lors des vagues de chaleur a cherché à caractériser des facteurs de vulnérabilité aux vagues de chaleur, définis comme des caractéristiques associées à une plus grande élévation de la mortalité. Trois composantes, chacune pouvant comporter des déterminants socio-économiques, ont été identifiées :

- Une plus forte exposition à la chaleur : exposition au soleil, absence d'air conditionné, mauvaise isolation thermique du logement, logement au sein d'un îlot urbain, logement aux étages supérieurs d'un immeuble (en particulier au dernier étage) et chambre sous le toit, etc. ;
- Une plus grande fragilité individuelle : âge, maladies chroniques qui fragilisent l'organisme, moins bonne connaissance du risque, etc. ;
- Un environnement social défavorable : moindre soutien de la part de ses proches, moins bon accès aux services de soins, etc.

¹³⁰ Source : "*La mortalité selon le contexte thermique : Réalité présente et scénarios pour le 21ème siècle : le cas de la France*", JP Besancenot, 2004.

3.5. Le changement climatique va stimuler les pandémies et autres menaces sur la santé

Un article d'Alexandre-Reza Kokabi (Reporterre), le 30 mars 2020

https://reporterre.net/Le-changement-climatique-va-stimuler-les-pandemies-et-autres-menaces-sur-la-sante?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=nl_hebdo

Agents infectieux dont l'aire de nuisance s'étend, fonte du pergélisol libérant des maladies oubliées, moindres défenses immunitaires et extension de la durée des maladies du fait du réchauffement hivernal... le dérèglement climatique va multiplier les menaces pour la santé des êtres humains.

Le dérèglement climatique va-t-il provoquer des épidémies dans les années à venir ? (...)

"L'épidémie de coronavirus révèle l'ampleur de la menace que représentent les maladies infectieuses pour nos sociétés", dit à Reporterre Emmanuel Drouet, enseignant-chercheur à l'Institut de biologie structurale de Grenoble (Isère). Or, prévient-il, "l'émergence de nouveaux agents infectieux pourrait augmenter dans les années à venir" avec l'explosion des flux de déplacements humains et commerciaux, les modifications d'usage des sols et les perturbations des écosystèmes, le tout sur fond de changement climatique, "énormément de maladies infectieuses étant étroitement liées aux températures et aux taux d'humidité".

"Le changement climatique devrait accroître la portée géographique des maladies infectieuses aux noms effrayants, comme Zika ou chikungunya, propagées par des vecteurs comme les tiques ou les moustiques", observe, sur Twitter, la climatologue Katharine Hayhoe, directrice du Centre des sciences du climat à la Texas Tech University. Les scientifiques occidentaux craignent en effet une recrudescence de certaines maladies infectieuses ou parasitaires, en raison de la montée progressive, vers le nord, d'insectes et d'acariens jusque-là cantonnés aux latitudes tropicales et subtropicales.

La hausse des températures globales et le déploiement des moyens de transport humains permettent la colonisation de certaines régions par les moustiques *Aedes*, vecteurs du chikungunya et de la dengue. Le plus célèbre d'entre eux, le "moustique-tigre" (*Aedes albopictus*) est en phase d'expansion planétaire. *Il est doué d'une grande capacité adaptative et s'est parfaitement acclimaté au milieu urbain, même sous les latitudes tempérées*", explique Emmanuel Drouet.

Originaire des forêts tropicales d'Asie du Sud-Est, le moustique-tigre a traversé les océans et est devenu l'un des agents vecteurs les plus invasifs de la planète : on le retrouve déjà dans quelque 80 pays, dont la France. *Le problème est qu'il est vecteur de nombreuses maladies, dont la fièvre jaune et la dengue, qui peuvent provoquer des complications hémorragiques*", dit Emmanuel Drouet.

Jusqu'alors, la dengue était principalement observée dans les zones équatoriales d'Amérique, d'Afrique et d'Asie. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il y aurait chaque année 50 millions de cas de dengue, dont 500.000 cas sous une forme hémorragique. *"La plupart du temps, ces formes aiguës concernent des enfants, qui doivent être hospitalisés"*, précise Emmanuel Drouet. Avec le changement climatique, trois milliards de personnes supplémentaires pourraient être exposées au risque de transmission de la dengue d'ici les années 2080.

Les cas de dengue recensés en Europe sont de plus en plus nombreux. *"La France métropolitaine pourrait très bien être concernée par une épidémie majeure dans les prochaines années"*, prévient Emmanuel Drouet. La dengue, *"c'est le danger numéro 1 pour notre santé publique dans les années à venir : les moustiques sont déjà là et ont les compétences pour transmettre la maladie"*, dit le chercheur pour qui une telle épidémie aurait des conséquences *"dramatiques car, comme pour le Covid-19, il n'existe pas de vaccin adapté contre les quatre souches virales de la dengue et les tests sérologiques ne sont pas opérationnels"*.

Dans les départements français d'outre-mer, la dengue est déjà une réalité. Une épidémie fait actuellement des ravages sur les îles françaises de La Réunion et de Mayotte, dont l'hôpital ne possède que seize lits en réanimation. *"Avec le Covid-19, je crains un mauvais cocktail pour les services de réanimation là-bas"*, s'inquiète Emmanuel Drouet.

L'expansion des insectes vecteurs de maladies comme les moustiques s'observe dans l'espace, mais aussi dans le temps. *"La hausse des températures hivernales augmente leur période d'activité et de reproduction"*, explique Emmanuel Drouet. Les maladies dont ils sont vecteurs pourraient ainsi être *"transmises de façon quasiment continue"*.

C'est également le cas pour les tiques, des acariens se nourrissant de sang. Certaines tiques, les *Ixodes ricinus*, sont vectrices de la maladie de Lyme, qui peut entraîner de graves complications pour le système neurologique, le cœur et les articulations. *"L'activité des tiques du genre Ixodes bat son plein à des températures douces, elles sont présentes plus longtemps dans l'année avec le changement climatique"*, explique Karine Chalvet-Monfray, épidémiologiste des maladies animales et zoonotiques.

Depuis les années 1980, les *Ixodes ricinus* sont présentes en plus forte densité et ont gagné des latitudes et altitudes plus élevées en Europe. En revanche, *"leur prévalence diminue dans les zones plus chaudes et plus sèches, comme le pourtour méditerranéen"*, poursuit Karine Chalvet-Monfray.

Une autre tique originaire de zones plus chaudes, *Hyalomma marginatum*, est arrivée dans le sud de la France jusqu'à la vallée du Rhône. L'augmentation de l'aire de cette espèce préoccupe les épidémiologistes car elle peut transmettre la fièvre hémorragique de Crimée-Congo. Cette maladie, dont le taux de létalité peut atteindre 40 %, n'est jamais apparue en France mais, pour Karine Chalvet-Monfray, *"dans un contexte de changement climatique, c'est la candidate idéale, il faut la prendre très au sérieux"*.

Autre effet du réchauffement climatique : dans les régions arctiques, le pergélisol — le sol gelé en permanence pendant au moins deux ans — se dégèle. D'après le rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) sur les océans et la cryosphère, il pourrait perdre 70 % de sa surface d'ici 2100. Ce phénomène menace de libérer de puissants gaz à effet de serre, comme le méthane, mais pourrait aussi réveiller des bactéries et des virus inconnus ou oubliés.

La fonte du pergélisol fait en effet ressurgir des restes d'humains, d'animaux et de végétaux conservés depuis des centaines de milliers d'années. Les bactéries et les virus qu'ils contiennent ne sont pas toujours morts. *"Froid, à l'abri de la lumière et de l'acidité : sur Terre, le pergélisol est le médium le plus adéquat à la conservation, sur de très longues périodes, du matériel vivant"*, explique Jean-Michel Claverie, directeur de l'Institut de microbiologie de la Méditerranée. Lors de l'été 2016, un enfant de douze ans était mort de la maladie du charbon, ou fièvre charbonneuse, jamais observée depuis 1941. *Bacillus anthracis*, la bactérie mortelle, avait été libérée par le dégel d'un cadavre de renne vieux de 70 ans, lequel avait ré-infecté des troupeaux entiers de rennes.

Ces dernières années, des chercheurs ont découvert des virus et des bactéries enfouies dans le pergélisol de Sibérie depuis des millénaires. *"Des virus comme la variole, que l'on pensait éradiqués, risquent de se réveiller avec l'exploitation des ressources minières et gazières ces régions, rendues accessibles par le changement climatique"*, alertent Chantal Abergel et Jean-Michel Claverie, de l'Institut de microbiologie de la Méditerranée. Leur équipe de recherche était parvenue à identifier deux virus géants conservés dans le pergélisol depuis 30.000 ans. *"Quelques particules virales, encore infectieuses, peuvent être suffisantes pour contaminer un hôte sensible"*, prévient Jean-Michel Claverie. *"Si des ouvriers remuent des tonnes de pergélisol pour exploiter les ressources qu'il contient, ils risquent de faire remonter des pathogènes très anciens"*, poursuit Chantal Abergel, directrice de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS). *"S'ils se retrouvaient malades, ce ne serait peut-être pas une bonne idée de les rapatrier dans les hôpitaux de Moscou, où ils pourraient provoquer une épidémie"*.

Autre question : l'expansion actuelle du coronavirus est-il lié aux dérèglements climatiques ? La climatologue Katharine Hayhoe a tenté d'y répondre dans un thread Twitter. Première conclusion : *"le changement climatique n'a pas d'incidence significative sur la propagation de la maladie"*.

Elle s'est néanmoins essayée à un état de l'art des connaissances montrant comment le changement climatique peut affecter les gripes. *"Avec le changement climatique, les hivers sont de plus en plus chauds"*, écrit-elle en citant une étude publiée en 2013 dans la revue scientifique *PLOS Currents*. *Les saisons grippales sont plus douces lors des hivers plus chauds. Mais une saison plus douce rend les gens plus vulnérables et moins enclins à se faire vacciner. La saison suivante peut donc commencer plus tôt et être beaucoup plus virulente"*.

S'appuyant sur un article de *Nexus Media News*, elle note aussi que, la grippe étant saisonnière, *"avec le réchauffement de la planète, la saison de la grippe pourrait bien se prolonger toute l'année, comme c'est déjà le cas sous les tropiques"*. De surcroît, *"cela lui donnera plus de temps pour muter en souches plus dangereuses"*. Enfin, faisant référence à un article publié en 2019 dans *The Scientist*, elle observe aussi qu'un climat plus chaud pourrait *"diminuer la réponse immunitaire"* des humains, *"ce qui nous rend plus vulnérables à des virus comme la grippe"*.

Le rôle joué par le climat dans tous ces fléaux est complexe et n'explique pas tout. Il nourrit parfois les controverses. En 2010, une épidémie de choléra avait fait des dizaines de milliers de morts en Haïti. La communauté scientifique était alors partagée sur ses causes. Comme le montre la bactériologiste américaine Rita Cowell depuis les années 1970, le réchauffement de l'eau de mer provoque une prolifération du zooplancton favorable à l'émergence des bactéries responsables du choléra. Mais dans le cas de l'épidémie haïtienne, le médecin Renaud Piarroux, de l'hôpital La Pitié-Salpêtrière, a montré que le choléra avait été importé sur l'île par des casques bleus venus du Népal.

"Le changement climatique est, comme le nomme l'armée étasunienne, un multiplicateur de menaces, résume Katharine Hayhoe. Il nous prend ce dont nous nous soucions déjà — quoi davantage que de notre santé ? — et aggrave les menaces qui pèsent sur elle".

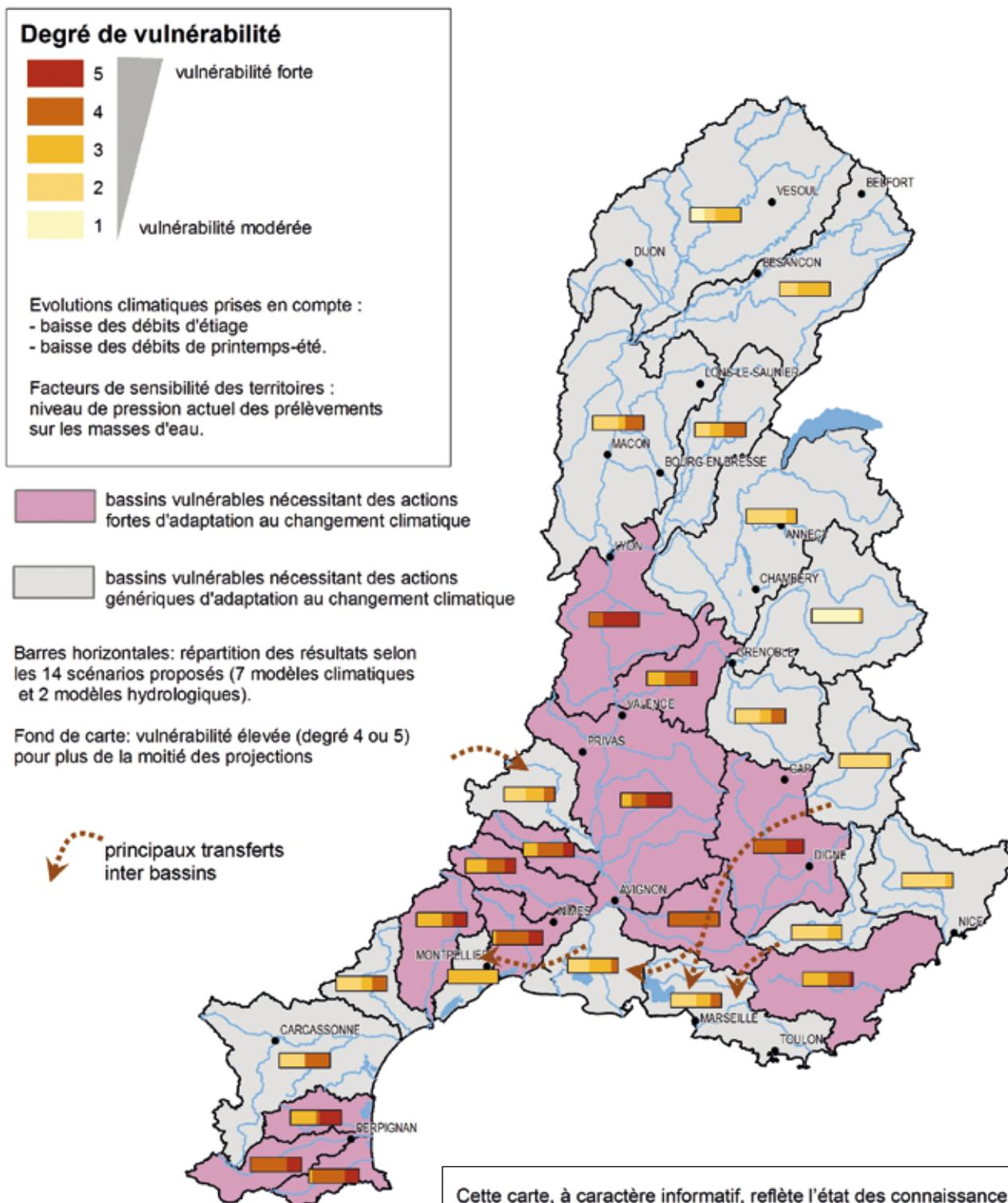
3.6. Les territoires identifiés comme vulnérables aux changements climatiques dans le cadre du SDAGE.

⇒ Cf. pages suivantes

CARTE 0B

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu disponibilité en eau

Incidences du changement climatique sur les déséquilibres quantitatifs superficiels en situation d'étiage (compte tenu des aménagements actuels)

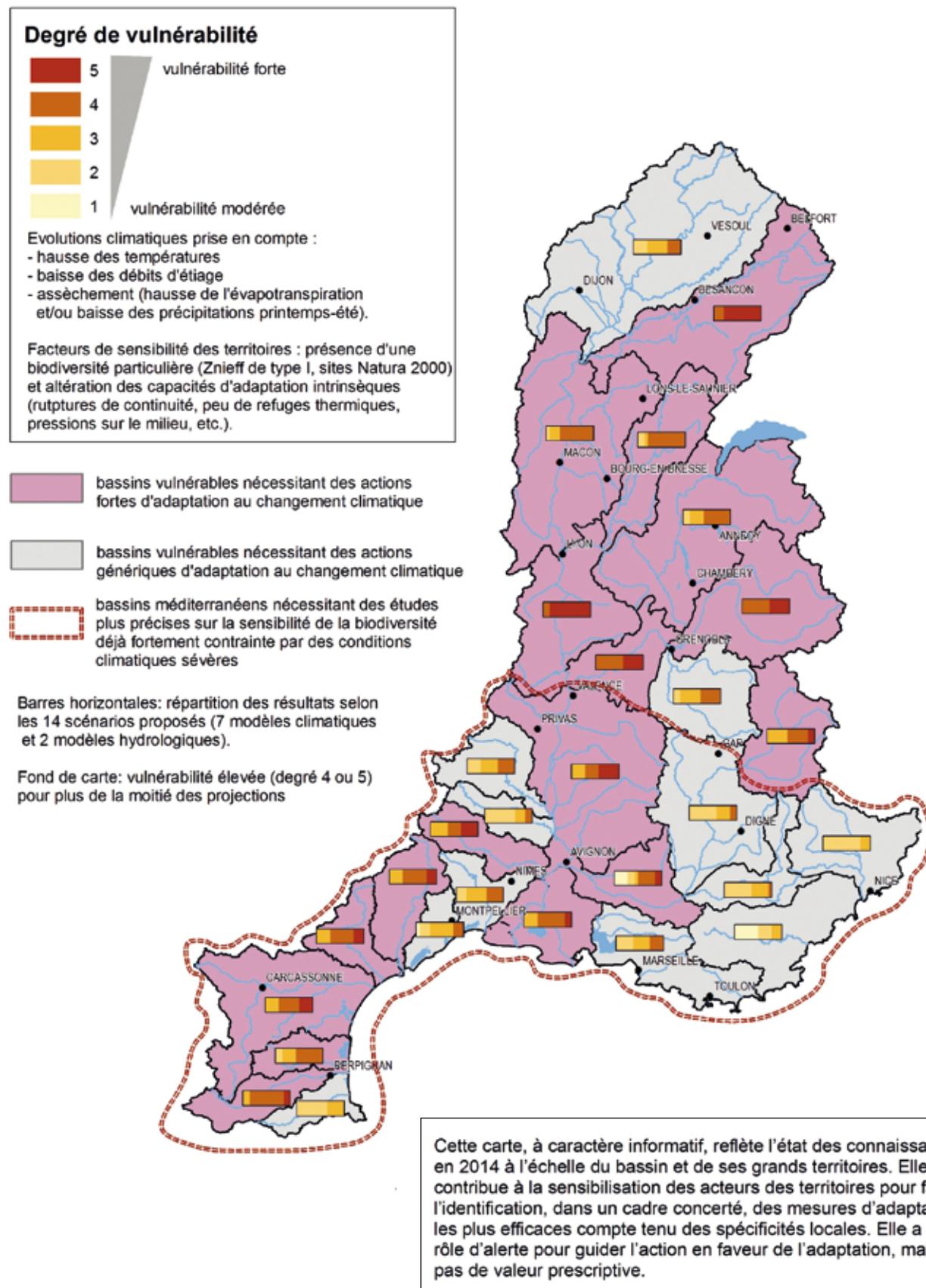


Cette carte, à caractère informatif, reflète l'état des connaissances en 2014 à l'échelle du bassin et de ses grands territoires. Elle contribue à la sensibilisation des acteurs des territoires pour faciliter l'identification, dans un cadre concerté, des mesures d'adaptation les plus efficaces compte tenu des spécificités locales. Elle a un rôle d'alerte pour guider l'action en faveur de l'adaptation, mais n'a pas de valeur prescriptive.

CARTE 0C

Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu biodiversité

Incidences du changement climatique sur l'aptitude des territoires à conserver la biodiversité remarquable de leurs milieux aquatiques et humides

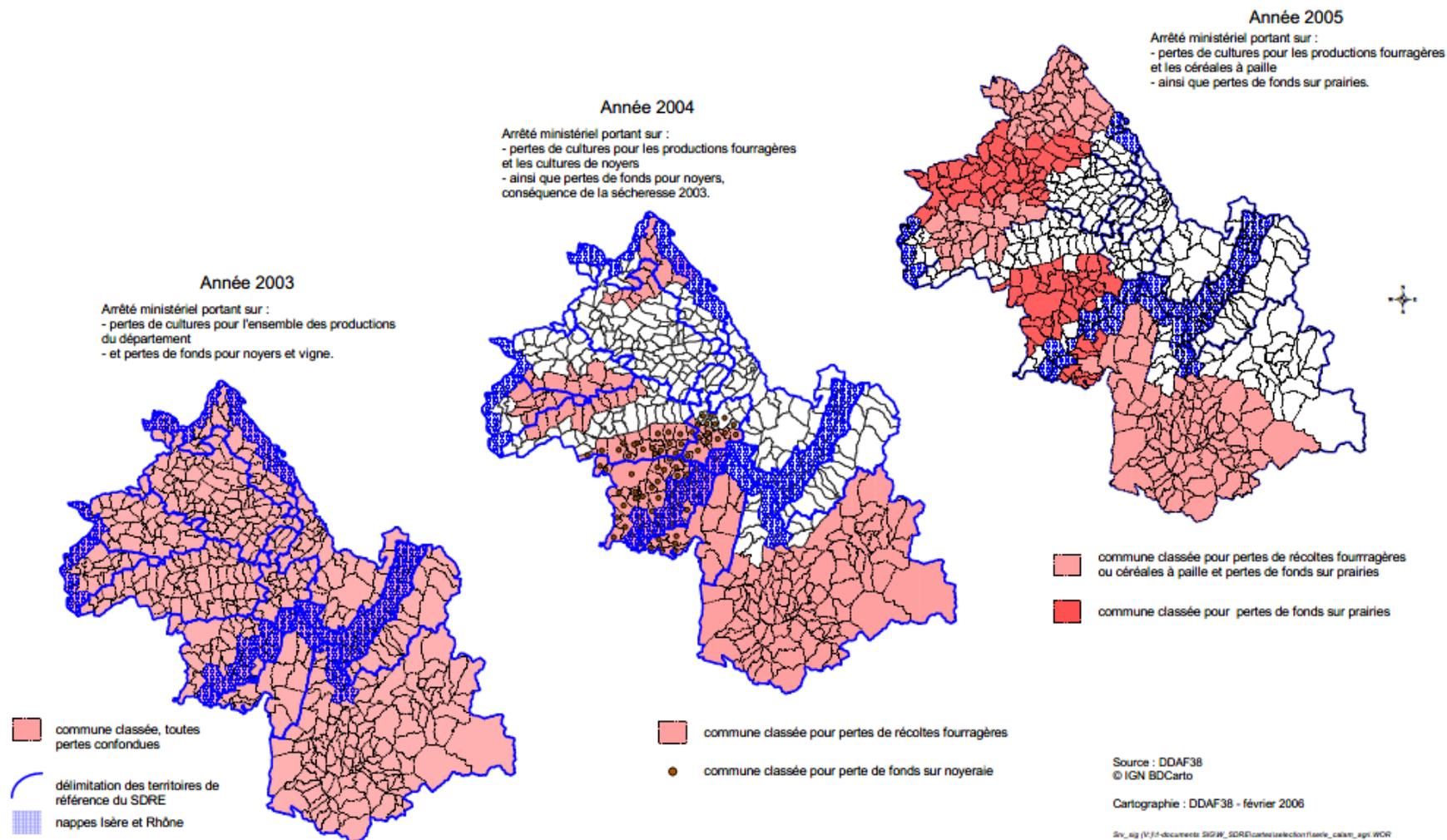


3.7. La production agricole face aux sécheresses et canicules



Département de l'Isère
Schéma départemental de ressource en eau

La production agricole face aux sécheresses et canicules



3.8. Irrigation : développer des stratégies adaptées

L'Agence de l'eau souligne que la "priorité, avant toute politique de mobilisation supplémentaire de la ressource est de mettre en œuvre des démarches de concertation qui permettent de développer des politiques de partage équilibré de la ressource entre les besoins pour les milieux et le maintien d'activités économiques essentielles. (...) Même si certaines situations locales resteront encore longtemps et par essence (compte tenu du contexte) très délicates, il n'en reste pas moins que le facteur limitant essentiel est celui de la capacité collective des acteurs de l'eau à mettre en place des outils et procédures de gestion opérationnelle de la ressource en eau."

L'INRA recommande¹³¹ l'application d'une combinaison de plusieurs stratégies pour réduire les impacts du stress hydrique et éviter de trop pénaliser le rendement des années les plus favorables et classe les stratégies par ordre d'intérêt décroissant :

1. Esquive avec des cultures d'hiver,
2. Tolérance avec des cultures d'été,
3. Esquive avec des variétés de culture d'été précoces,
4. Evitement avec un rationnement de la culture.

Type de stratégie	Objectif	Déclinaison
Esquive	Modifier le positionnement ou la durée du cycle cultural pour l'ajuster à la ressource en eau (achever le cycle cultural avant une sécheresse, éviter la coïncidence entre périodes clés du cycle avec des périodes à faible pluviométrie et forte évaporation)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Privilégier des cultures semées à l'automne ou en fin d'hiver (colza, luzerne, blé, orge, pois d'hiver), ▶ Avancer la date de semis, ▶ Choisir des variétés plus précoces
Tolérance	Choisir des espèces ou des variétés tolérantes à la contrainte hydrique ou peu consommatrices d'eau	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Choisir des espèces adaptées : sorgho, tournesol ▶ Choisir des variétés tolérantes : pour l'instant les catalogues ne mentionnent pas cette tolérance
Evitement	Diminuer la demande en eau par rationnement en période végétative afin de conserver une partie de la ressource pour les phases ultérieures de forts besoins (floraison, remplissage du grain)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Optimiser la densité de peuplement et la fertilisation azotée pour limiter le développement de la surface foliaire et donc la transpiration pour rechercher une fermeture rapide du couvert pour réduire l'évaporation du sol

- ▶ D'une façon générale :
 - "Les besoins en eau d'irrigation correspondent à la fraction des besoins en eau qui n'est pas couverte par les pluies et les réserves du sol : ces besoins vont donc varier en fonction de la demande climatique et des réserves du sol". Dans un contexte caractérisé par des épisodes de sécheresses de plus en plus marqués, la capacité¹³² des sols à retenir une eau disponible pour les plantes deviendra un atout important. **La façon de travailler les sols, pour entretenir cette capacité, constitue par conséquent un facteur d'adaptation essentiel.**
 - Il ne faut par ailleurs pas négliger l'effet du vent, qui assèche les cultures (et réduit l'efficacité de l'irrigation par aspersion, notamment pour les enrouleurs). **Les haies constituent une protection efficace en même temps qu'elles contribuent à entretenir une humidité bénéfique pour les cultures.**

¹³¹ "Sécheresse et agriculture, réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau", INRA, octobre 2006.

¹³² Cette capacité augmente notamment avec le taux de matière organique des sols. Ce qui soulève une difficulté : la sécheresse des sols limite les développements bactériens, ce qui réduit la formation de matières organiques, ce qui limite la capacité des sols à retenir l'eau, ce qui limite les développements bactériens...

► Concernant l'optimisation du recours à l'irrigation

- *"L'INRA recommande pour l'arboriculture fruitière une gestion plus efficace des systèmes irrigués :*
 - *Développement de l'irrigation localisée de type goutte à goutte ;*
 - *Optimisation de la conduite de l'irrigation (pilotage de l'irrigation par des tensiomètres, planification de l'irrigation à partir de bilans hydriques".*
- *"Il est possible de rationner les plantes en se plaçant au-dessous de l'optimum ETP¹³³ dans la mesure où ceci n'a pas de conséquence sur le calibre ou la qualité, afin d'économiser l'eau et/ou de réduire les charges d'irrigation"***Erreur ! Signet non défini.**
- *"La limitation de l'évaporation permet également des économies d'eau. Elle peut être obtenue notamment :*
 - *par l'utilisation de la micro-irrigation, notamment pour l'arboriculture et le maraîchage, grâce à un apport localisé.*
 - *pour l'irrigation par aspersion, en évitant l'irrigation durant les heures chaudes et en particulier la plage horaire 11h-15h ou lorsque le vent est fort. Le gain serait, en conditions normales inférieur à 5 ou 10% pour 30 à 40 mm d'irrigation.*

Le choix du matériel d'irrigation et son utilisation doit également être optimisé afin d'améliorer l'efficience de l'irrigation (uniformité d'arrosage, etc...)".

STOCKER L'EAU ?

La politique générale européenne et française et les documents de planification de gestion quantitative (SDAGE) prévoient en priorité d'adapter la demande à la ressource et en dernier recours de créer de nouveaux ouvrages de stockage permettant d'augmenter la ressource.

Un protocole régional a été signé ce mardi 17 juillet 2012 entre l'Etat, la Chambre Régionale d'Agriculture de Rhône-Alpes, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, et l'Union Régionale des Fédérations de Pêcheurs.

On retrouve dans les termes de ce protocole la philosophie du SDAGE : *"Les dossiers [de projet de création de retenue collinaire] montreront la viabilité des projets et en quoi ils permettent d'améliorer la pérennité de l'activité agricole tout en fournissant les garanties que toutes les économies d'eau pertinentes auront été engagées."* Avec toutefois une ambiguïté dans l'ordre des priorités : *"L'utilisation optimisée des retenues existantes et des actions soutenues d'économie d'eau doivent accompagner la mobilisation des ressources nouvelles"*.

Ce protocole ne différencie pas les retenues en fonction de la façon dont elles sont alimentées : *"Le protocole concerne l'ensemble des retenues à usage agricole : les retenues collinaires proprement dites (petits ouvrages pour retenir les eaux de ruissellement) et les réserves plus importantes avec prélèvement en cours d'eau permettant de stocker l'eau lorsque celle-ci est abondante pour irriguer en période sèche"*. Il paraît au contraire important de faire cette différence, au regard notamment des impacts possibles des retenues prélevant sur les cours d'eau. Les retenues collinaires alimentées par les eaux de ruissellement ne présentent pas ces inconvénients, elles peuvent être mieux réparties en fonction des usages et satisfaire les besoins des exploitants.

Les critères d'intervention de la Région Rhône-Alpes *en faveur de l'optimisation de l'usage de l'eau en agriculture*¹³⁴ constituent un cadre pertinent pour les retenues collinaires.

Ils définissent un ordre de priorité pour les cultures concernées :

1. maraîchage ;
2. fruits, légumes, plantes à parfums et médicinales ;
3. semences et plants ;
4. cultures fourragères ;
5. autres grandes cultures dans un contexte d'autonomie alimentaire.

¹³³ Evapotranspiration.

¹³⁴ Délibération n°11.05.770 du Conseil Régional en date des 14, 15, 16 décembre 2011.

et une analyse des projets en fonction notamment :

- d'une *stratégie assurantielle en matière d'usage de l'eau* (et non de productivité),
"Le raisonnement de l'irrigation doit viser prioritairement à sécuriser le revenu des agriculteurs face aux aléas climatiques. Cette stratégie sera examinée au niveau de l'exploitation notamment en regardant l'impact de l'irrigation sur les excédents bruts des exploitations concernées (EBE). L'objectif est la valorisation maximum du m³ d'eau en termes d'EBE"¹³⁵.
- d'une *"adaptation des cultures et des pratiques culturales pour réduire les prélèvements et l'impact sur la qualité de la ressource en eau (rotation des cultures, choix d'espèces et de variétés plus adaptées à la sécheresse, adaptation des calendriers culturaux pour éviter les périodes les plus sensibles, choix des types et techniques en matière d'irrigation, etc.)"* : l'irrigation ne doit plus être envisagée comme LE moyen de sécuriser les productions, mais comme un moyen complémentaire dans le cadre d'une stratégie globale d'adaptation des systèmes de production visant en premier lieu à réduire les besoins en eau : *"modification des systèmes d'exploitation pour minimiser les prélèvements et les impacts sur la qualité de la ressource en eau : choix de cultures et de variétés plus économes, rotation des cultures (réflexion collective ou individuelle en matière d'assolement pour limiter les prélèvements en eau notamment aux périodes où le milieu est le plus sollicité), calage des cycles culturaux pour éviter la floraison aux périodes les plus sèches, paillage, amélioration de la structure des sols (teneur en matière organique, non labour et travaux superficiels) pour améliorer leur réserve utile, etc."*.
- de la préservation des sols : le rôle de la matière organique dans la capacité des sols à retenir une eau disponible pour les plantes est reconnu :
"Les pratiques agronomiques permettant de maintenir ou de restaurer la matière organique dans les sols seront prises en compte".
- d'une optimisation des usages de l'eau par le *"pilotage de l'irrigation : choix des techniques d'irrigation les plus économes et les plus adaptés aux cultures et au contexte pédoclimatique, compteurs, tensiomètres, avertissement irrigation, formation des irrigants, performance du réseau par rapport aux fuites,..."*.

¹³⁵ Cette stratégie assurantielle s'inscrit ainsi dans une logique économique de résilience et non plus de performance agronomique : cf. "Performance agronomique ou résilience économique ?", p. 48. Pour ce qui concerne les élevages, ces stratégies amènent parallèlement à définir des niveaux de charge, c'est-à-dire le nombre de têtes de bétail, optimal. Cf. p. 48 : *"d'un point de vue économique, les systèmes d'élevage les plus sensibles aux aléas climatiques sont ceux qui ont les niveaux de charge les plus élevés"*.

3.9. Sécheresse et agriculture - Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau

"SECHERESSE ET AGRICULTURE - REDUIRE LA VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE A UN RISQUE ACCRU DE MANQUE D'EAU"¹³⁶

"Les possibilités d'adaptation ne se réduisent pas à l'irrigation. Elles concernent également l'agriculture pluviale, qui occupe plus de 90% des surfaces cultivées et qui est très directement affectée par cette sécheresse. Ces adaptations passent par des changements de systèmes de culture ou de leurs parts relatives, et par des adaptations d'itinéraires techniques au sein de ces systèmes.

Les systèmes intrinsèquement les moins vulnérables sont les systèmes à base de cultures d'hiver qui font coïncider le parcours phénologique de la culture avec les périodes de plus forte ressource (pluie) et de plus faible demande (évapotranspiration potentielle moindre).

Pour ce qui concerne les cultures d'été, il existe des marges de manoeuvre par la stratégie d'"esquive" évoquée plus haut, par le biais de variétés précoces ou à cycle court. Ceci étant, les pistes les plus intéressantes sont celles offertes par des espèces couplant l'évitement (meilleur enracinement et/ou surface foliaire moins développée) et des caractères de tolérance.

Les deux espèces qui ressortent clairement sont le tournesol et le sorgho, espèces qui ont fait conjonctuellement l'objet des adaptations déjà réalisées par les agriculteurs lorsque l'annonce de la sécheresse a pu être faite suffisamment tôt.

Le tournesol est connu pour sa teneur en huile et ses possibilités d'utilisation bioénergétique. Plante en C3, il a des variétés précoces qui, ajoutant l'esquive à l'évitement et à la tolérance, en font un excellent candidat à un assolement alternatif en situation de sécheresse. Il est toutefois handicapé aujourd'hui par son défaut de productivité et par la faible marge brute induite.

Le sorgho cumule plusieurs avantages : thermophile dans un contexte de réchauffement climatique, il peut être cultivé en pluvial. Lorsqu'il est irrigué, il a des besoins en eau nettement inférieurs à ceux du maïs et malgré une production inférieure à ce dernier, la marge brute qu'il dégage n'est pas très éloignée en raison de la plus faible part des charges associées à sa production. Ses débouchés (potentiels sinon actuels) existent dans l'alimentation animale (les élevages espagnols et américains y ont recours). Le principal problème pour le maintien de la marge brute en situation d'augmentation de la production réside dans la nécessité de structuration de la filière.

Qu'il s'agisse du tournesol ou du sorgho ou de toute autre culture présentant des caractéristiques voisines, le bénéfice attendu concerne aussi bien la production (système d'autoprotection en situation de pénurie d'eau tant en pluvial qu'en irrigué) que la ressource en eau. En effet, pour le tournesol, la consommation d'eau est antérieure à la période aiguë de pénurie et pour le sorgho, même irrigué, elle est inférieure à celle du maïs pendant la période estivale.

S'agissant des itinéraires techniques, l'adoption des techniques de l'aridoculture (travail du sol réduit, apport de fertilisants au semis, forte réduction de la densité de semis) n'est pas justifiée dans les situations de sécheresse que nous connaissons actuellement. Si ces techniques s'avèrent efficaces occasionnellement, les effets restent marginaux. Néanmoins, selon la disponibilité en irrigation, les doses d'intrants chimiques et minéraux doivent être adaptées au potentiel de rendement accessible.

L'essentiel des améliorations attendues des itinéraires techniques portent sur les doses et le rythme des apports d'irrigation. Il faut à ce propos distinguer clairement les situations d'irrigation à partir de cours d'eau, de nappes alluviales, de lacs ou de canaux, de celles effectuées à partir de nappes phréatiques. Dans le premier cas, les outils existants d'optimisation des apports trouvent leur pleine application dans une économie d'eau qui bénéficie à la fois à l'agriculteur, dans la mesure où elle optimise la surface irrigable à partir de volumes d'eau fixés, et aux autres usagers, dans la mesure où elle permet de réduire les débits de prélèvements pendant les périodes d'étiage. Dans le cas du pompage d'eau de nappes, sans négliger l'intérêt pour la qualité de l'eau d'une irrigation plus économe, l'incidence des doses d'eau sur la gestion de la ressource peut être moins problématique puisque l'eau apportée éventuellement en excès retourne vers la

¹³⁶ Synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, octobre 2006.

nappe, dans un délai plus ou moins long cependant. Dans ce dernier cas, le maintien de la ressource en eau sur le long terme passe par le couplage de l'optimisation des doses d'irrigation avec une action sur la répartition des différents systèmes de culture.

Il n'existe pas de règle générale pour répondre à la question du meilleur "panier" de systèmes de culture. Le seul cadre pertinent à l'établissement d'une règle est le bassin versant, avec comme conditions déterminantes les réponses aux questions suivantes :

- quels sont la part et le mode d'utilisation des ressources en eau endogènes et des ressources exogènes ?*
- quels sont les temps de réponse des aquifères mobilisés ?*
- quels sont les temps de réponse des exutoires ?*

Dans ce cadre, il est important d'insister sur le couplage des différents systèmes de culture au sein d'un même territoire à ressource en eau endogène : la part et le type des systèmes pluviaux interviennent dans la gestion globale des ressources en eau au niveau local, ce qui influe fortement sur les possibilités d'irrigation au niveau du bassin versant au même titre que la part et le type des différents systèmes irrigués (en irrigation totale ou en irrigation de complément).

Pour chiffrer les bénéfices attendus de tel ou tel système pluvial sur le pourcentage allouable à des systèmes irrigués, il est nécessaire d'entreprendre des études spécifiques croisant les distributions climat x sols x systèmes de culture. Tout système de culture n'étant pas envisageable dans n'importe quel contexte pédoclimatique, l'établissement d'une base de données spatialisée sur les systèmes plausibles est un prérequis.

Cela peut paraître lourd à mettre en œuvre, mais comment envisager d'engager des négociations entre acteurs sur des objectifs de gestion volumétrique sans se donner les bases physiques permettant de les atteindre ?

On peut conclure que retrouver une certaine diversité dans les systèmes de culture aurait un double intérêt :

- ▶ *assurer une autoprotection de la production de l'agriculteur,*
- ▶ *permettre une gestion améliorée de la ressource en eau.*

Pour cela, il est nécessaire d'assurer la rentabilité des systèmes alternatifs. Cela passe par des recherches de débouchés et des structurations de filières. C'est en effet parce que ces deux points ne sont pas pleinement satisfaits aujourd'hui que la diversification des systèmes de culture n'est souvent que conjoncturelle et disparaît une fois la situation apparemment redevenue normale."

3.10. Gérer la biodiversité des sols pour améliorer la résilience des agrosystèmes et leur adaptation au changement climatique

Extrait de "*Gérer la biodiversité des sols pour améliorer la résilience des agrosystèmes et leur adaptation au changement climatique*", Patrick Lavelle, Correspondant de l'Académie des sciences, Professeur émérite - Université Pierre et Marie Curie, in : "*Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites*", Académie des sciences, juin 2017, pp. 131-132.

- ▶ Les sols abritent 40 % de la biodiversité planétaire sous des formes très diverses : microorganismes, microfaune (<0.2mm), mésofaune (0-2 à 2 mm), macrofaune (>2mm) et mégafaune (>30 cm), formes encore largement méconnues surtout pour les plus petites.
- ▶ L'agriculture intensive a détruit cette biodiversité en remplaçant le fonctionnement naturel du sol par l'usage d'intrants dans des proportions encore très mal appréciées mais importantes (de l'ordre sans doute de 50 %). De ce fait, l'accomplissement des fonctions naturelles du sol est remplacée par des voies mécaniques (labour, irrigation) ou chimiques (contrôle des agresseurs, stimulation de la croissance et nutrition minérale) de plus en plus coûteuses et qui contribuent pour 24 % à l'augmentation de l'effet de serre par les émissions qu'elles engendrent.
- ▶ Le changement climatique augmentera le stress potentiel des plantes, ce qui fera de l'entretien des sols, c'est-à-dire de la préservation de leurs qualités physiques, chimiques et biologiques, une composante importante de la résilience de la production. Les sols pourront ainsi absorber l'eau de pluies torrentielles et la stocker pour la restituer au cours d'épisodes secs et chauds dont la durée s'allongera. Une bonne aération limitera l'émission de gaz à effets de serre, tels que le N₂O et le méthane et permettra aussi de soustraire une bonne partie de ces gaz à effets de serre dans l'atmosphère par un stockage accru dans la biomasse végétale et dans la matière organique du sol.
- ▶ Une activité biologique importante est nécessaire à l'entretien des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et à la santé des plantes. Les mécanismes d'assemblage des communautés mettent en synergie les " ingénieurs " (vers de terre, racines des plantes) capables de construire un espace poral connecté et de mélanger les résidus organiques au sol minéral, à celles des microorganismes qui transforment ces résidus en nutriments assimilables par les plantes. La micro- et la méso faune jouent un rôle complémentaire essentiel dans la régulation fine des activités microbiennes.
- ▶ Stimuler cette activité et la biodiversité qui la soutient repose sur quatre piliers : 1) limiter au maximum le labour qui détruit l'habitat de la faune, 2) apporter des engrais organiques qui fournissent de l'énergie et des nutriments aux organismes du sol, 3) entretenir une couverture permanente du sol afin qu'elle limite le stress thermique et hydrique direct et fournisse une ressource énergétique complémentaire aux organismes du sol, et 4) contrôler les bio-agresseurs par des mécanismes naturels pour éviter l'impact des produits phytosanitaires sur les organismes du sol.

3.11. Une vision synthétique des principales conséquences des changements climatiques pour l'agriculture

Ces conséquences, favorables ou défavorables, peuvent être schématiquement résumées de la façon suivante :

Facteurs	Conséquences
allongement de la période de végétation	<ul style="list-style-type: none"> ▶ allongement des périodes de production, augmentation de la production de biomasse
augmentation des températures	<ul style="list-style-type: none"> ▶ réduction de la durée du cycle des cultures
sécheresses estivales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ déficit de production fourragère ▶ stress hydrique des cultures
chaleurs estivales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ échaudages ▶ effet physiologique sur le bétail ▶ modification qualitative des productions (fruits, vigne) ▶ réduction possible de certaines maladies (ex : mildiou)
relèvement des minimales hivernales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ fructification réduite (vergers) ▶ perturbations physiologiques des espèces cultivées ▶ modification du cycle de vie des insectes, parasites et agents pathogènes, et développement d'espèces jusqu'alors cantonnées plus au sud ⇒ risques sanitaires, risques de proliférations
radoucissement des températures printanières	<ul style="list-style-type: none"> ▶ avancée de la floraison ⇒ augmentation des risques de gels tardifs
sécheresses estivales + chaleurs estivales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ sécheresses édaphiques (réduction de la réserve d'eau utile des sols), qui peuvent encore être accentuées par le vent, qui favorise l'évaporation de l'eau des sols
vents	<ul style="list-style-type: none"> ▶ érosion des sols ▶ accentuation de l'évapotranspiration
tous facteurs	<ul style="list-style-type: none"> ▶ évolution des terroirs ▶ réduction des surfaces agricoles productives ⇒ déprise agricole

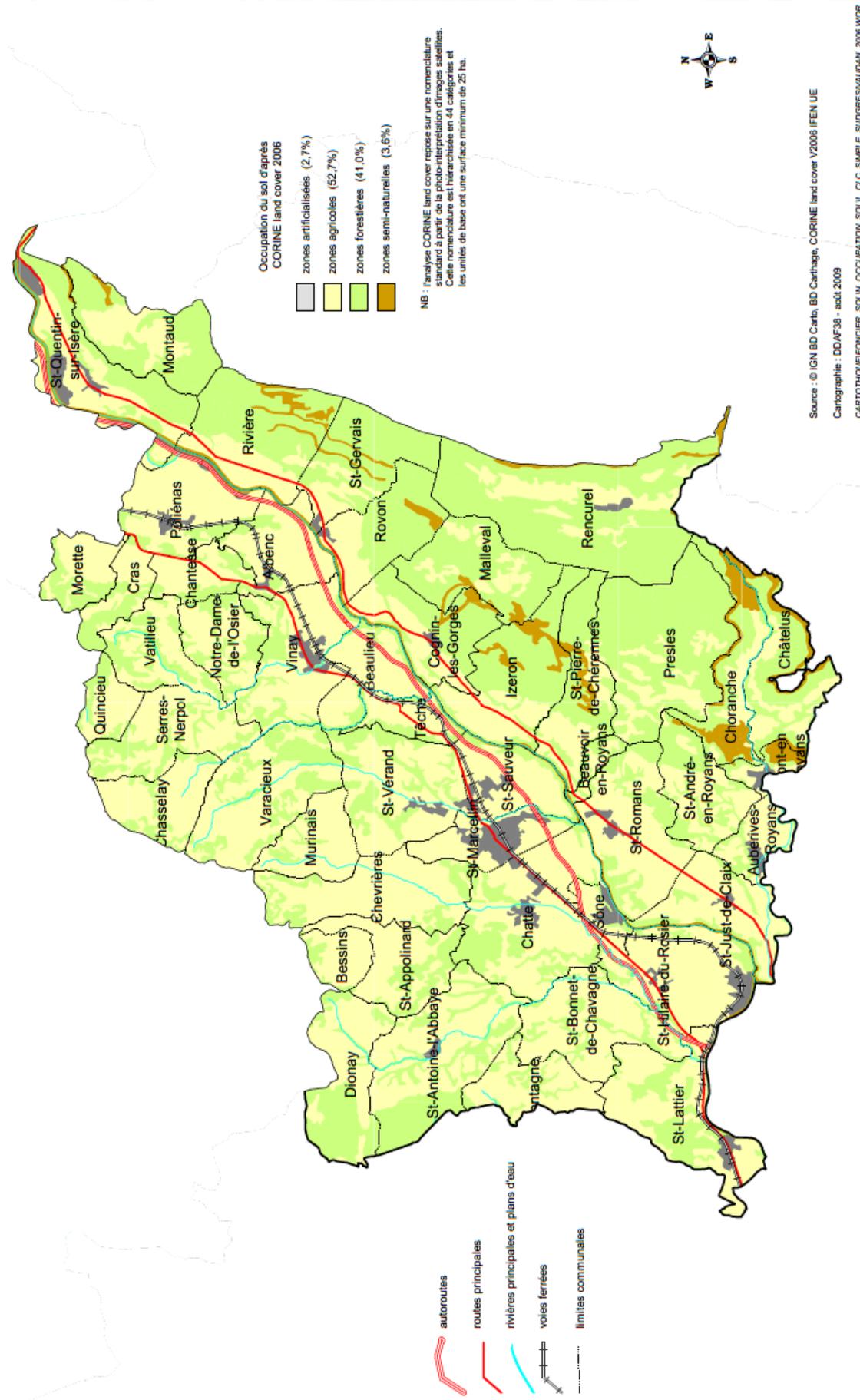
3.12. Le projet ClimSec

*Le projet ClimSec a étudié l'impact du changement climatique sur la sécheresse et sur l'eau du sol en France en s'appuyant sur la réanalyse de la chaîne hydrométéorologique SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM) depuis 1958. Des indices standardisés, " Standardized Precipitation Index " (SPI) et " Standardized Soil Wetness Index " (SSWI), ont été utilisés pour caractériser les différents types de sécheresse (météorologique et agricole) à partir d'une climatologie de 50 ans. En 2011, ces indices ont été adaptés pour le suivi hydrologique opérationnel et pour répondre aux besoins de qualification de la sécheresse printanière exceptionnelle de cette année. Ces indices ont également été calculés en climat futur à partir des différentes projections climatiques régionalisées disponibles en métropole. Trois expériences particulières en matière de scénarios socio-économiques, de modèles climatiques et de méthodes de descente d'échelle ont permis d'apprécier l'importance relative des différentes sources d'incertitude dans l'évolution attendue des sécheresses. Ces données ont aussi permis de préciser les conditions de l'évolution temporelle des sécheresses, avec une aggravation plus rapide et plus intense des événements liés au déficit d'humidité du sol plutôt qu'au déficit de précipitation. **Les projections climatiques indiquent surtout que notre pays risque de connaître, lors de la seconde moitié du XXI^e siècle, des sécheresses quasi continues et de grande intensité, totalement inconnues dans le climat actuel.***

Sécheresses des sols en France et changement climatique : Résultats et applications du projet ClimSec - Soubeyroux, Jean-Michel; Kitova, Nadia; Blanchard, Michèle; Vidal, Jean-Philippe; Martin, Eric; Dandin, Philippe, Société météorologique de France, Paris, 2012 ¹³⁷

¹³⁷ <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/47512>

3.13. L'occupation des sols sur le territoire Sud Grésivaudan



3.14. Exemples d'incidences des changements climatiques à l'échelle planétaire

(extrait du rapport 2007 du GIEC)

■ En Afrique

- ▶ D'ici 2020, 75 à 250 millions de personnes devraient souffrir d'un stress hydrique accentué par les changements climatiques.
- ▶ Dans certains pays, le rendement de l'agriculture pluviale pourrait chuter de 50 % d'ici 2020. On anticipe que la production agricole et l'accès à la nourriture seront durement touchés dans de nombreux pays, avec de lourdes conséquences en matière de sécurité alimentaire et de malnutrition.
- ▶ Vers la fin du XXI siècle, l'élévation anticipée du niveau de la mer affectera les basses terres littorales fortement peuplées. Le coût de l'adaptation pourrait représenter 5 à 10 % du produit intérieur brut, voire plus.
- ▶ Selon plusieurs scénarios climatiques, la superficie des terres arides et semi-arides pourrait augmenter de 5 à 8 % d'ici à 2080.

■ En Asie

- ▶ Les quantités d'eau douce disponibles devraient diminuer d'ici les années 2050 dans le centre, le sud, l'est et le sud-est de l'Asie, en particulier dans les grands bassins fluviaux.
- ▶ Les zones côtières, surtout les régions très peuplées des grands deltas de l'Asie du Sud, de l'Est et du Sud-Est, seront exposées à des risques accrus d'inondation marine et, dans certains grands deltas, d'inondation fluviale.
- ▶ Les changements climatiques devraient amplifier les pressions que l'urbanisation rapide, l'industrialisation et le développement économique exercent sur les ressources naturelles et l'environnement.
- ▶ Les modifications du cycle hydrologique devraient entraîner, dans l'est, le sud et le sud-est de l'Asie, une hausse de la morbidité et de la mortalité endémiques dues aux maladies diarrhéiques qui accompagnent les crues et la sécheresse.

■ En Australie et Nouvelle-Zélande

- ▶ Certains sites d'une grande richesse écologique, dont la Grande Barrière de corail et les "Wet Tropics" (tropiques humides) du Queensland, devraient subir une perte importante de biodiversité d'ici 2020.
- ▶ D'ici 2030, les problèmes d'approvisionnement en eau devraient s'intensifier dans l'est et le sud de l'Australie ainsi que dans le Northland et certaines régions orientales de la Nouvelle-Zélande.
- ▶ D'ici 2030, la production agricole et forestière devrait décroître dans une bonne partie du sud et de l'est de l'Australie ainsi que dans plusieurs régions orientales de la Nouvelle-Zélande, en raison de l'accentuation de la sécheresse et de la fréquence accrue des incendies. Au début toutefois, les changements climatiques devraient se révéler bénéfiques dans d'autres secteurs de la Nouvelle-Zélande.
- ▶ D'ici 2050, dans certaines régions de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, l'aménagement progressif du littoral et la croissance démographique devraient accroître les risques liés à l'élévation du niveau de la mer et à l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des tempêtes et des inondations côtières.

■ En Europe

- ▶ On s'attend à ce que les changements climatiques amplifient les disparités régionales en matière de ressources naturelles et de moyens économiques. Au nombre des incidences négatives figurent un risque croissant d'inondations éclair à l'intérieur des terres, une plus grande fréquence des inondations côtières et une érosion accrue (attribuable aux tempêtes et à l'élévation du niveau de la mer).
- ▶ Les régions montagneuses devront faire face au recul des glaciers, à la réduction de la couverture neigeuse et du tourisme hivernal ainsi qu'à la disparition de nombreuses espèces (jusqu'à 60 % d'ici 2080 dans certaines régions, selon les scénarios de fortes émissions).
- ▶ Dans le sud de l'Europe, région déjà vulnérable à la variabilité du climat, les changements climatiques devraient aggraver la situation (températures élevées et sécheresse) et nuire à l'approvisionnement en eau, au potentiel hydroélectrique, au tourisme estival et, en général, aux rendements agricoles.
- ▶ Les risques sanitaires liés aux vagues de chaleur et à la fréquence accrue des incendies devraient être amplifiés par les changements climatiques.

■ En Amérique latine

- ▶ D'ici le milieu du siècle, les forêts tropicales devraient être progressivement remplacées par la savane dans l'est de l'Amazonie sous l'effet de la hausse des températures et du dessèchement des sols. La végétation de type semi-aride aura tendance à laisser place à une végétation de type aride.
- ▶ La disparition de certaines espèces risque d'appauvrir énormément la diversité biologique dans de nombreuses régions tropicales de l'Amérique latine.
- ▶ Le rendement de certaines cultures importantes et de l'élevage du bétail devrait diminuer, au détriment de la sécurité alimentaire. On anticipe en revanche une augmentation du rendement des cultures de soja dans les zones tempérées. D'un point de vue général, on anticipe une augmentation du nombre de personnes exposées à la famine.
- ▶ La modification des régimes de précipitations et la disparition des glaciers devraient réduire considérablement les ressources en eau disponibles pour la consommation humaine, l'agriculture et la production d'énergie.

■ En Amérique du Nord

- ▶ Selon les projections, le réchauffement du climat dans les régions montagneuses de l'ouest du continent diminuera l'enneigement, augmentera la fréquence des inondations hivernales et réduira les débits estivaux, avivant la concurrence pour des ressources en eau déjà surexploitées.
- ▶ L'évolution modérée du climat au cours des premières décennies du siècle devrait accroître de 5 à 20 % le rendement des cultures pluviales, mais avec de nets écarts d'une région à l'autre. De graves difficultés risquent de surgir dans le cas des cultures déjà exposées à des températures proches de la limite supérieure de leur plage de tolérance ou qui dépendent de ressources en eau déjà fortement utilisées.
- ▶ Au cours du siècle, les villes qui subissent actuellement des vagues de chaleur devraient faire face à une hausse du nombre, de l'intensité et de la durée de ces phénomènes, ce qui pourrait avoir des incidences défavorables pour la santé.
- ▶ Dans les régions côtières, les établissements humains et les habitats naturels subiront des pressions accrues découlant de l'interaction des effets du changement climatique avec le développement et la pollution.

■ Dans les régions polaires

- ▶ Les principales répercussions biophysiques attendues sont la réduction de l'épaisseur et de l'étendue des glaciers, des nappes glaciaires et des glaces de mer ainsi que la modification des écosystèmes naturels au détriment de nombreux organismes, dont les oiseaux migrateurs, les mammifères et les grands prédateurs.
- ▶ Pour les communautés de l'Arctique, les effets devraient être mitigés, notamment ceux qui résulteront de l'évolution de l'état de la neige et de la glace.
- ▶ Les éléments d'infrastructure et les modes de vie traditionnels des populations autochtones seront touchés.
- ▶ On estime que les écosystèmes et les habitats propres aux régions polaires de l'Arctique et de l'Antarctique seront fragilisés, du fait de l'atténuation des obstacles climatiques à l'invasion de nouvelles espèces.

■ Dans les petites îles

- ▶ Selon les prévisions, l'élévation du niveau de la mer devrait intensifier les inondations, les ondes de tempête, l'érosion et d'autres phénomènes côtiers dangereux, menaçant l'infrastructure, les établissements humains et les installations vitales pour les populations insulaires.
- ▶ La détérioration de l'état des zones côtières, par exemple l'érosion des plages et le blanchissement des coraux, devrait porter atteinte aux ressources locales.
- ▶ D'ici le milieu du siècle, les changements climatiques devraient réduire les ressources en eau dans de nombreuses petites îles, par exemple dans les Caraïbes et le Pacifique, à tel point que la demande ne pourra plus être satisfaite pendant les périodes de faible pluviosité.
- ▶ La hausse des températures devrait favoriser l'invasion d'espèces exotiques, notamment aux moyennes et hautes latitudes.

Plan Climat Air Energie de la Communauté de communes Saint-Marcellin Vercors Isère Communauté

