



MINISTÈRE DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION

Retour d'expérience sur l'épisode caniculaire et la sécheresse 2019

Rapport CGEDD n° 013098-01, CGAAER n° 19098

établi par
Emmanuelle BAUDOIN (coordinatrice), Michel PY, Dominique STEVENS (CGEDD)
Charles PUJOS (CGAAER)

Avril-2020



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport

Statut de communication	
<input type="checkbox"/>	Préparatoire à une décision administrative
<input type="checkbox"/>	Non communicable
<input type="checkbox"/>	Communicable (données confidentielles occultées)
<input type="checkbox"/>	Communicable

Sommaire

Résumé.....	7
Liste des recommandations.....	10
Introduction.....	12
1. La spécificité de l'épisode caniculaire et de la sécheresse 2019.....	13
1.1. La canicule.....	13
1.1.1. La France a connu deux épisodes de canicules au cours de l'été 2019.....	13
1.1.2. Les canicules de 2019 ont été d'une intensité exceptionnelle.....	14
1.2. La sécheresse.....	16
1.2.1. La sécheresse 2019 a des origines météorologiques.....	17
1.2.2. La sécheresse des sols a atteint un record historique en septembre 2019.....	17
1.3. Les épisodes caniculaires en climat futur.....	18
1.4. Conclusion.....	18
2. Impact sur le bâti.....	19
3. Les activités de réseau.....	22
3.1. Infrastructures et services de transport.....	22
3.1.1. Quelques désordres ponctuels principalement sur le réseau routier des collectivités et pas d'impact recensé sur la circulation routière.....	22
3.1.2. Infrastructures et trafic portuaires : quelques impacts très ponctuels.....	26
3.1.3. Le transport ferroviaire (SNCF) : une régularité lourdement affectée mais une production des services qui semble assez résiliente.....	26
3.1.4. RATP : les infrastructures et le matériel roulant ont bien résisté, avec un fort impact sur le service et le confort des salariés et voyageurs.....	29
3.1.5. Réseau et services de transport urbain de province : un impact sur le nombre d'incidents, le confort des voyageurs et les agents de conduite des bus non climatisés.....	31
3.1.6. Transport collectif : réflexions menées, recommandations et indicateurs.....	32
3.1.7. Aucun effet visible sur le trafic aérien, quelques impacts très ponctuels sur les infrastructures aéroportuaires.....	36
3.1.8. Plus de la moitié des canaux gérés par VNF ont fait l'objet de restriction ou d'arrêt de la navigation en 2019 pour insuffisance d'eau.....	37
3.2. Le réseau de distribution d'énergie électrique.....	38

3.2.1. <i>La consommation de la climatisation est bien plus faible que celle du chauffage</i>	38
3.2.2. <i>La canicule a dégradé la disponibilité du parc de production déjà réduite en été</i>	39
3.2.3. <i>Les canicules n'ont pas entraîné de difficultés à assurer l'équilibre offre-demande</i>	41
3.2.4. <i>Les réseaux de transport et de distribution ont été résilients</i>	42
3.3. Réseaux de distribution des eaux potables et usées	43
3.4. Impact sur la production industrielle	44
4. Biodiversité, milieux et espèces	46
4.1. Milieux aquatiques : cours d'eau, milieux humides, tourbières, ripisylves	46
4.1.1. <i>Les milieux aquatiques ont été perturbés par la sécheresse</i>	47
4.1.2. <i>Milieux aquatiques : propositions d'actions</i>	48
4.1.3. <i>Les milieux aquatiques doivent être suivis avec plus d'attention</i>	49
4.2. Milieux forestiers	49
4.2.1. <i>Constats et effets, une « tempête silencieuse » probable</i>	49
4.2.2. <i>Pour la gestion forestière, constat qui n'est pas une lapalissade, 2019 vient après 2018</i>	50
4.2.3. <i>Les feux de forêt</i>	52
4.2.4. <i>Mobiliser le potentiel d'atténuation joué par les forêts et prendre en compte les services écosystémiques rendus</i>	55
4.3. Milieux bocagers, linéaires de haies, pré-vergers	56
4.3.1. <i>Le dispositif national de suivi des milieux bocagers doit être pérennisé et conforté</i>	56
4.3.2. <i>Restaurer et profiter de la multifonctionnalité des espaces bocagers pour réduire l'impact et atténuer les effets des épisodes climatiques intense</i>	57
4.4. Tour d'horizon des espèces affectées	58
4.4.1. <i>Les impacts des épisodes caniculaires et de sécheresse 2019 sur les espèces</i>	58
4.4.2. <i>Les espèces affectées : recommandations</i>	58
5. Des indicateurs pour juger de l'impact des actions menées lors de prochains événements climatiques similaires	60
Conclusion	61
Annexes	62
1. Lettre de mission	63

2. Caractérisation des épisodes caniculaires et de sécheresse 2019.....	65
2.1. Vigilance vagues de chaleur.....	65
2.2. Identification et caractérisation d'une vague de chaleur.....	66
2.3. Durée, intensité maximale et sévérité des vagues de chaleur depuis 1947.....	67
2.4. Température moyenne quotidienne observée en été (source Météo-France).....	69
2.5. Méthode de diagnostic de la sécheresse des sols.....	69
2.6. Déficit de précipitations par trimestre (indice SPI).....	71
2.7. Déficit d'humidité des sols (indice SWI).....	72
2.8. Indice moyen d'humidité des sols (SWI) - France, année 2019 (source Météo-France)	73
2.9. Le positionnement des épisodes de l'été 2019 en climat futur.....	73
2.9.1. Les épisodes caniculaires en climat futur.....	73
2.9.2. La sécheresse des sols en climat futur.....	75
3. Le bâti.....	76
3.1. Reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.....	76
3.2. Bilan d'activité de la commission interministérielle catastrophes naturelles en 2019	77
3.3. Carte d'exposition au retrait gonflement des sols argileux.....	77
3.4. Déclaration des ouvrages souterrains.....	78
3.5. Coût des sinistres.....	78
4. Infrastructures routières, ouvrages d'art et circulation routière.....	79
4.1. Liste des désordres relevés sur le réseau routier national.....	79
4.2. Exemples d'impact sur les réseaux routiers des collectivités.....	79
4.3. Description des impacts sur les usagers, la circulation routière et sur les agents.....	80
4.4. Les indicateurs possibles pour le réseau et la circulation routière.....	81
5. Remontées d'impacts sur quelques infrastructures portuaires.....	82
6. Réseau ferroviaire national et service de transport de la SNCF.....	83
6.1. Principaux désordres pouvant survenir sur le réseau ferroviaire du fait des canicules et de la sécheresse.....	83
6.2. Préparation de la saison chaude : mesures préventives mises en œuvre par la SNCF	84
6.3. Liste des incidents significatifs pendant les deux canicules à la SNCF.....	85

6.4. Détails des impacts sur les services de transport de la SNCF par activité : TGV, TER et Transilien.....	86
6.5. Transilien : taux de matériel climatisé/ réfrigéré selon la ligne en 2019 (source : plan canicule 2019 de SNCF Réseau).....	87
6.6. Mesures préventives pour le confort des voyageurs.....	87
7. Réseau et service de transport de la RATP.....	89
7.1. Mesures préventives et exceptionnelles mises en œuvre par la RATP.....	89
7.2. Détails des incidents constatés la journée du 25 juillet.....	89
7.3. Taux d'équipement de rafraîchissement du matériel roulant RATP en 2019 et dans le futur (source RATP).....	90
8. Mesures prises sur les réseaux de transport urbain de province durant les canicules.....	92
9. Transport collectif, réflexions menées.....	93
9.1. Détails des axes d'amélioration lancés par la SNCF suite au REX 2019.....	93
9.2. Retour d'expérience des canicules sur les réseaux de transport ferroviaire et urbain en Europe.....	93
9.2.1. <i>En Suisse : retour d'expérience sur la canicule de l'été 2019 (Source : enquête DG Trésor).....</i>	<i>94</i>
9.2.2. <i>Au Portugal : retour sur l'expérience caniculaire 2018 (source enquête DG Trésor).....</i>	<i>96</i>
9.2.3. <i>Italie : retour d'expérience de la canicule 2019 (source enquête DG Trésor).....</i>	<i>99</i>
9.2.4. <i>Autres pays (source UIC) et actions menées par l'UIC.....</i>	<i>100</i>
10. Infrastructures aéroportuaires et trafic aérien.....	101
10.1. Principaux désordres pouvant survenir sur les infrastructures et le transport aérien du fait de canicule ou sécheresse.....	101
10.2. Mesures mises en œuvre pour pallier aux fortes chaleurs.....	101
11. Infrastructures et transports fluviaux.....	102
11.1. Carte du cumul des arrêts de restriction et d'arrêts de navigation pour insuffisance d'eau du premier avril au 8 octobre 2019 (source VNF).....	102
11.2. Actions menées par Voies navigables de France (VNF).....	102
12. Le réseau d'énergie électrique.....	104
12.1. Appels de puissance.....	104
12.2. Difficultés de modélisation du gradient d'été.....	104

12.3. Effets de la canicule sur la production et la sûreté des centrales nucléaires (source IRSN).....	105
12.4. Encadrement des rejets thermiques.....	106
12.5. Arrêts ou baisses de production des réacteurs pour contraintes environnementales.....	107
12.6. L'équilibre offre-demande au cours des deux canicules.....	108
12.6.1. Première canicule : l'équilibre offre-demande assuré sans tension sur le système électrique.....	108
12.6.2. Deuxième canicule : l'équilibre offre-demande assuré malgré une disponibilité réduite du parc.....	109
12.7. Les contraintes thermiques dans un conducteur.....	110
12.8. Prise en compte par Enedis des conséquences sur le réseau urbain des phénomènes de forte chaleur.....	110
12.9. Le critère B.....	111
13. Impact sur la production industrielle : retour de l'enquête auprès des DREAL	114
13.1. Parmi les mesures relatives à des économies d'eau de manière pérenne, ont notamment été citées :.....	114
13.2. Spécifiquement en période de sécheresse, ont été relevées les mesures suivantes :.....	115
14. Gestion forestière : les conséquences de la sécheresse	117
15. Feux de forêts	119
15.1. Méga-feu : le cas de la France.....	119
15.2. Retour sur la canicule de 2019.....	120
16. Les bocages, des paysages résilients et multifonctionnels	122
16.1. Rôle tampon des microhabitats.....	122
16.2. Les bocages.....	122
16.3. Les reptiles, amphibiens, oiseaux : des groupes indicateurs de l'état de l'écosystème bocager.....	123
16.4. Observations en 2019.....	123
16.5. Le dispositif national de suivi des bocages.....	124
16.6. Les étapes.....	124
16.7. Suivre l'impact des canicules sur les écosystèmes et la biodiversité au sein de milieux bocagers contrastés.....	125
16.8. Préserver les bocages déjà multifonctionnels et résilients.....	126

16.9. Restaurer les bocages dégradés.....	126
16.10. « Embocager » les territoires.....	126
17. Liste des personnes rencontrées.....	127
18. Glossaire des sigles et acronymes.....	132

Résumé

Deux épisodes caniculaires du 25 au 30 juin et du 21 au 26 juillet ont été observés durant l'été 2019, cumulés à une vague de sécheresse particulièrement longue et affectant 85 % du territoire. Madame la ministre de la transition écologique et solidaire a chargé le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) et le conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER) de diligenter une mission de retour d'expérience sur ces phénomènes climatiques, en demandant de les caractériser, puis d'en mesurer les impacts sur le bâti, l'ensemble des activités de réseau et la biodiversité végétale, animale, marine ou terrestre. La mission devait proposer plusieurs orientations et actions nouvelles concrètes pour réduire les effets d'un événement météorologique similaire, ainsi que des indicateurs de suivi.

Les deux épisodes de canicule, s'ils ne se distinguent pas par leur durée ou leur sévérité, sont tous deux exceptionnels pour l'intensité maximale qu'ils ont atteinte, avec des écarts de température par rapport aux précédents records jamais observés, même au niveau mondial. La sécheresse des sols en 2019, qui vient à la suite d'événements similaires ayant eu lieu les quatre années précédentes, a atteint un record historique au mois de septembre.

Concernant l'impact sur la stabilité du bâti, le coût des sinistres liés à l'effet retrait-gonflement des argiles, n'est pas connu à la date de rédaction du rapport. Pour faciliter l'application des techniques efficaces de construction permettant de se prémunir de cet effet, la mission propose de rassembler toutes les prescriptions constructives dans un seul document technique unifié (DTU).

Aucun désordre significatif n'a été observé sur les infrastructures aéroportuaires ou portuaires ni sur le réseau routier national et ses ouvrages d'art, la conception étant généralement robuste et l'entretien efficace. Le principal impact a été les coupures des routes et autoroutes suite à des incendies. La sécheresse associée aux fortes températures a par contre amplifié des désordres, le plus souvent liés au gonflement retrait argile sur le réseau mal conçu ou mal réalisé de certaines collectivités. La mission propose de développer les analyses de vulnérabilité et de poursuivre la recherche de formulation des enrobés et de caractéristiques des bitumes pouvant à la fois résister au froid et au grand chaud, et de développer des expérimentations à grande échelle de chaussées de couleur claire avec des liants colorés.

Le réseau ferroviaire national a connu trois types principaux d'incidents du fait des températures exceptionnelles : défaut d'installations, essentiellement sur la traction électrique, incendies et pannes de matériel. Les résultats de régularité (retard des trains) ont été lourdement impactés avec des ralentissements et des annulations, mais la production des services a été relativement résiliente. La pratique de la SNCF consistant à préparer la période de grande chaleur dès le mois de mars, suivie chaque année de retour d'expérience après l'été, porte aujourd'hui ses fruits, notamment dans le domaine de la dilatation des rails où les incidents ont été limités, contrairement à d'autres pays européens. Le confort voyageur a été impacté, particulièrement en Île-de-France : le parc matériel TGV et Intercités est climatisé ainsi que 93 % des TER pour seulement 53,4 % des Transiliens, sachant qu'au-delà de 35 °C extérieur la climatisation n'est plus efficace. Le parc des trains SNCF sera totalement climatisé à terme, à l'occasion de son renouvellement.

La RATP a dû appliquer pour la première fois, le 25 juillet 2019, des ralentissements pour protéger la partie aérienne de son réseau RER, métros et tramways. Si les impacts sur les installations ont été relativement limités en raison des mesures préventives appliquées sur les infrastructures et le matériel roulant (avec une augmentation des pannes matériel sur les bus et dans une moindre mesure les tramways), les conséquences ont été importantes sur le service avec une augmentation du nombre de kilomètres non réalisés et un fort impact sur le confort des voyageurs et des agents de conduite, principalement de bus (5 % seulement sont climatisés, cinq lignes de métro sur 17, 90 % des RER A et B et 100 % des tramways). Des températures jusqu'à 55 °C ont été constatées au poste

de conduite de bus entraînant 64 droits de retrait. La climatisation des bus franciliens devrait être généralisée sur tous les autobus neufs mis en exploitation à partir de 2020. La mission n'a eu que peu de remontées des autorités organisatrices de la mobilité d'où il ressortirait une corrélation entre la température et le nombre d'incidents en transport urbain. L'impact de la canicule sur l'aspect opérationnel des services de transport est un sujet d'intérêt émergent, avec des pratiques différentes en termes de climatisation du matériel selon la localisation. La température excessive subie par le personnel de conduite dans les bus non climatisés ou réfrigérés est une problématique commune.

Les épisodes caniculaires sont appelés à se multiplier et, si le scénario le plus défavorable se produit, ils seront d'intensité bien supérieure et plus longs. Dans cette perspective la mission recommande de rendre obligatoire la climatisation du poste de conduite des cabines d'autobus, à l'occasion des renouvellements de parcs, la climatisation de la totalité du bus étant peu efficace (ouverture fréquentes des portes) et énergétivore. Pour plus de résilience, la mission préconise que la SNCF étudie la différenciation selon les grandes régions climatiques de l'adaptation de la température de neutralisation de pose des longs rails soudés à l'occasion de chaque régénération de voie ainsi que les modalités de surveillance et maintenance. Elle recommande que la RATP continue à instrumentaliser le réseau ferroviaire aérien pour mesurer les défaillances en temps réel pour pouvoir mettre en place une réponse graduée de mesures de prévention (ralentissement). Aucune augmentation d'incidents n'a été signalée sur la stabilité du réseau de distribution des eaux potables et usées.

La situation 2019 a été la plus défavorable jamais observée fin août depuis la mise en place du réseau Onde (huit années) qui mesure les assecs. Le réseau montre une intensification en durée et sévérité de l'étiage fin septembre sur les quatre dernières années. Du fait du déficit de précipitations, 84 départements en octobre 2019 étaient concernés par au moins un arrêté préfectoral limitant certains usages de l'eau. Plus de la moitié des canaux à vocation principalement de navigation de tourisme ont fait l'objet de restriction ou d'arrêt de la navigation pour insuffisance d'eau en 2019. La mission rappelle l'importance des mesures intégrées dans la Loi d'orientation des mobilités en faveur de voies navigables de France (VNF) pour optimiser les réserves en eau, les conditions de navigation, et minimiser les pertes.

Les conséquences sur la production industrielle des restrictions de prélèvements/rejets d'eau sont inégales selon les régions et le type de production ou sont mal connues. La direction générale de la prévention des risques (DGPR) a fait de la gestion des situations de sécheresse dans les installations industrielles un objectif prioritaire dans son instruction aux services 2020.

Il n'y a eu aucune conséquence sur la sûreté nucléaire des installations de production et aucun dommage matériel. Onze réacteurs nucléaires ont été concernés par des arrêts ou des baisses de production pour contraintes environnementales, se cumulant aux arrêts de tranche pour maintenance concentrés durant l'été. Ces baisses de puissance ou ces arrêts, la baisse de rendement de la production thermique et des panneaux photovoltaïques et celle du facteur de charge éolien n'ont cependant pas eu de conséquence sur la continuité d'approvisionnement des consommateurs (les appels de puissance en été sont bien plus limités qu'en hiver). La mission recommande de poursuivre les travaux menés par réseau de transport et d'électricité (RTE) visant à consolider l'impact de l'aléa canicule sur la consommation et la production, en affinant les perspectives de développement de la climatisation, ainsi que les modélisations des températures intégrant le réchauffement climatique d'une part, la disponibilité des moyens de production d'autre part.

Les canicules 2019 n'ont pas entraîné de crise majeure sur le réseau de distribution électrique. Le renouvellement progressif par Enedis depuis 2008 des câbles à isolation papier, source principale de défaillances du réseau souterrain urbain, porte ses fruits. La suppression totale de ces câbles, prévue à l'horizon 2040, doit être poursuivie, ainsi que le développement de la télésurveillance du réseau aérien haute tension, aujourd'hui expérimentée par RTE, afin de mieux répartir la quantité d'électricité en fonction des températures réelles des lignes, lorsque la limite de 45 °C risque d'être atteinte.

En ce qui concerne les milieux aquatiques, la récurrence des épisodes de sécheresse (2017-2019) a pour effet de modifier l'ensemble du cortège faunistique et floristique, avec une disparition des espèces autochtones les plus sensibles au profit d'espèces tolérantes ubiquistes. Il n'existe toutefois pas de protocole généralisé permettant de dresser un bilan national « espèces » des conséquences, même si quelques exemples ont pu être relevés par l'Office français de la biodiversité. La mission, qui a constaté la fragilité des réseaux de suivi et la rareté des programmes de recherche, propose de les conforter (notamment l'état d'écoulement des rivières), de s'intéresser à la prolifération des cyanobactéries et enfin d'améliorer la prévision saisonnière des niveaux de nappe et des débits d'étiage, tout en développant les solutions fondées sur la nature (zones humides, haies, ripisylves...) qui permettent d'atténuer de telles crises.

Le nombre de fiches de dépérissement des milieux forestiers a augmenté en 2018 et 2019 de même que les taux de mortalité en matière de plantations, deux constats déjà connus par le passé. Des phénomènes peu repérés jusqu'à présent ont néanmoins été observés en 2019 (dépérissement inédit ou attaque par des insectes de certaines espèces), mais il est difficile de quantifier la totalité des conséquences. La mission recommande de conforter les outils actuels de suivi des crises sanitaires avec son réseau de suivi sur le terrain, d'engager un suivi cartographique LIDAR haute définition des mortalités des boisements et de développer un outil de télédétection commun avec d'autres pays européens concernés.

En termes de risque incendiaire, les surfaces brûlées ont été divisées par trois depuis 1995 mais sont susceptibles de connaître une inflexion nouvelle du fait du changement climatique (allongement de la période de risque de feux). Il importe d'harmoniser et de déployer un outil national unique de prévision du risque d'incendie permettant de les suivre et les caractériser de façon plus homogène et interprétable, de stopper le mitage et le développement de constructions légères en forêt, et de réfléchir aux pratiques agricoles du futur dans les zones à risques. La mission recommande aussi la mise en œuvre d'une initiative forte en matière de reboisement, à l'exemple de l'Allemagne, afin de maintenir et développer le capital productif de la forêt française et le stockage du carbone dans l'objectif d'atteindre les objectifs 2050 de neutralité des émissions de gaz à effet de serre (GES).

S'il n'y a pas de suivi mettant en évidence un impact des canicules et de la sécheresse sur les espèces faunistiques ou floristiques des milieux bocagers, il a été observé qu'ils ont joué un rôle atténuateur vis-à-vis des épisodes extrêmes 2019, à l'égard de la faune (domestique ou sauvage) et des milieux environnants. La mission propose de conforter et de pérenniser le dispositif national de suivi des bocages en garantissant ses financements et en renforçant ses partenariats scientifiques. De manière générale les impacts sur les espèces sont répandus mais peu quantifiables, seules quelques observations ont pu être recensées. Il est proposé de conforter l'animation des réseaux des réserves naturelles, conservatoires d'espaces naturels, botaniques et parcs naturels régionaux, avec un programme dédié aux suivis des effets des canicules et sécheresses sur les milieux naturels, de développer un suivi des écosystèmes et de commander au Muséum national d'histoire naturelle une analyse des données du programme du suivi temporel des oiseaux communs (STOC), au regard des événements de l'été 2019.

La mission a enfin proposé un tableau de bord de suivi des effets d'un épisode caniculaire composé d'une quinzaine d'indicateurs.

Liste des recommandations

- Recommandation 1.**Élaborer une norme de document technique unifié (DTU) de conception générale des constructions en zone argileuse qui regrouperait l'ensemble des dispositions à appliquer et éviterait le recours aux diverses « strates » d'autres DTU : fondations, maçonnerie, etc. (direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature -DGALN-).....20
- Recommandation 2.**Poursuivre la recherche de formulations des enrobés et des caractéristiques des bitumes résistant au grand chaud et au froid. Développer les expérimentations à grande échelle de chaussées de couleur claire - liant coloré - (DGITM)..... 25
- Recommandation 3.**Étudier l'adaptation de la température de neutralisation de pose des longs rails soudés à l'occasion de chaque régénération de voie et des modalités de surveillance et de maintenance dans l'optique d'une différenciation selon les grandes régions climatiques (SNCF). Continuer à instrumenter le réseau ferroviaire aérien pour mesurer les défaillances en temps réel et pouvoir mettre en place une réponse graduée de mesures de prévention -ralentissement- (RATP).
..... 35
- Recommandation 4.**Rendre obligatoire la climatisation du poste de conduite des cabines d'autobus, à l'occasion des renouvellements de parcs (MTES).....35
- Recommandation 5.**Mieux identifier les perspectives de développement de la climatisation pour évaluer l'impact sur la consommation d'énergie (RTE).....39
- Recommandation 6.**Engager dès à présent un suivi cartographique LIDAR haute définition pour accroître la connaissance des mortalités des boisements confrontés aux aléas climatiques, dans un partenariat IGN - DSF.....52
- Recommandation 7.**Doter la France d'une base de données, en lien avec la base actuelle de données sur les incendies de forêts en France (BDIFF), permettant à l'avenir de suivre et caractériser les incendies de façon beaucoup plus homogène et interprétable qu'aujourd'hui..... 54
- Recommandation 8.**Conforter et pérenniser le dispositif national de suivi des bocages, lequel sera à même de fournir un suivi fin et des résultats à valoriser vis-à-vis des épisodes climatiques de l'été 2019, en garantissant ses financements (éco-contribution, agences de l'eau, OFB), et en renforçant ses partenariats scientifiques..... 57
- Recommandation 9.a)** Conforter l'animation des réseaux des réserves naturelles, conservatoires d'espaces naturels, botaniques, parcs naturels régionaux, avec un programme dédié aux suivis des effets des canicules et sécheresses sur les milieux naturels, **b)** Développer un suivi des écosystèmes sur le mode du

programme « Les sentinelles du climat », contribuant à compléter les indicateurs de l’observatoire national de la biodiversité, c) Commander au muséum d’histoire naturelle (MNHN) d’une analyse des données du programme STOC en regard des aléas de l’été 2019..... 59

Introduction

Par lettre du 21 octobre 2019, la ministre de la transition écologique et solidaire a chargé le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) et le Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER), de diligenter une mission de retour d'expérience sur les épisodes caniculaires et la sécheresse de l'année 2019.

Deux vagues de canicule assez courtes mais d'une intensité exceptionnelle ont été observées durant l'été 2019, du 25 au 30 juin et du 21 au 26 juillet. La sécheresse, récurrente depuis 2015 mais touchant alternativement différentes régions, a été particulièrement longue en 2019, affectant 85 % du territoire national.

Il était demandé en premier lieu de caractériser ces épisodes climatiques et de distinguer au moyen d'indicateurs en quoi ces événements sont spécifiques par rapport aux années antérieures (chapitre 1). En second lieu, il revenait à la mission d'identifier les faits nouveaux et remarquables liés à ces épisodes climatiques extrêmes, même modestes, mais préoccupants pour l'avenir, afin d'apprécier la résilience des installations et milieux ou l'irréversibilité de certaines évolutions, puis de proposer des indicateurs permettant d'apprécier les effets de tels épisodes et d'évaluer la pertinence des actions engagées lors du retour de tels événements. Enfin il était demandé de proposer plusieurs orientations immédiates et actions nouvelles concrètes pour réduire l'impact d'une situation similaire dans la perspective de l'élaboration du troisième plan national d'adaptation au changement climatique.

Cette analyse devait porter spécifiquement sur les domaines de la compétence du ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) :

- le bâti (chapitre 2) ;
- l'ensemble des activités de réseau (chapitre 3) : fragilités de certains équipements, déstabilisation de certaines infrastructures et ouvrages d'art, défaillance des services, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives, impacts sur la production, mesures à prendre pour assurer le confort des usagers des services publics et regard sur l'impact sur la production industrielle ;
- la biodiversité végétale et animale, marine ou terrestre, y compris dans la propagation de maladies, d'espèces venant de zones chaudes, la disparition de milieux ou d'espèces, la capacité éventuelle de récupération des milieux (chapitre 4) ;

Enfin, devait être proposé un système de collecte simple des indicateurs (chapitre 65).

Le rapport aborde l'ensemble des points prévus dans les limites permises par le délai des travaux et par deux difficultés majeures :

- celle de relier dans certains domaines les constats à la seule année 2019, les modifications écosystémiques n'étant pas liées uniquement à celle-ci mais à des modifications climatiques et hydrauliques qui ont débuté il y a plusieurs années et dont l'ampleur augmente au fil du temps ;
- dans certains domaines, un laps de temps trop réduit après les événements climatiques pour en mesurer la totalité des impacts et un temps trop court pour obtenir des indicateurs fiables qui parfois nécessitent jusqu'à 18 mois de recul avant de pouvoir être établis.

1. La spécificité de l'épisode caniculaire et de la sécheresse 2019

1.1. La canicule

L'organisation météorologique mondiale (OMM) définit les vagues de chaleur comme un temps inhabituellement chaud et sec ou chaud et humide, qui dure au moins de deux à trois jours, et qui produit le plus souvent un impact sensible sur la santé humaine et les systèmes naturels. Dans le volume 4 du rapport *Le climat de la France au 21e siècle* (Ouzeau et al., 2014), les vagues de chaleur étaient définies comme des périodes de cinq jours consécutifs avec une température maximale supérieure de cinq degrés à la normale 1976 - 2005. Les définitions issues du plan national canicule¹ font, elles, office de référence pour le déclenchement des alertes sanitaires (*annexe 2.1*: « *vigilance vagues de chaleur* ». Météo-France utilise aujourd'hui une méthode de détection des vagues de chaleur récemment décrite dans l'article Ouzeau et al., 2016². Elle s'appuie sur la détermination de seuils définis à partir de la série de températures quotidiennes traitée (*annexe 2.2* : « *identification et caractérisation d'une vague de chaleur* »). Les vagues de chaleur y sont décrites comme des « objets » possédant certaines caractéristiques que l'on peut comparer entre elles :

- une durée et une position calendaire ;
- une intensité maximale (température la plus élevée atteinte au cours de l'épisode) ;
- une sévérité (intégration sur la durée de la quantité de chaleur en excès).

1.1.1. La France a connu deux épisodes de canicules au cours de l'été 2019

Depuis 1947, Météo-France dispose de données homogènes issues de 30 stations de référence réparties sur tout le territoire à partir desquelles elle calcule quotidiennement la température moyenne³ en France et détermine les différents seuils utiles à la détection des vagues de chaleur. On peut faire de même à l'échelle de chaque département à partir de séries départementales agrégées.

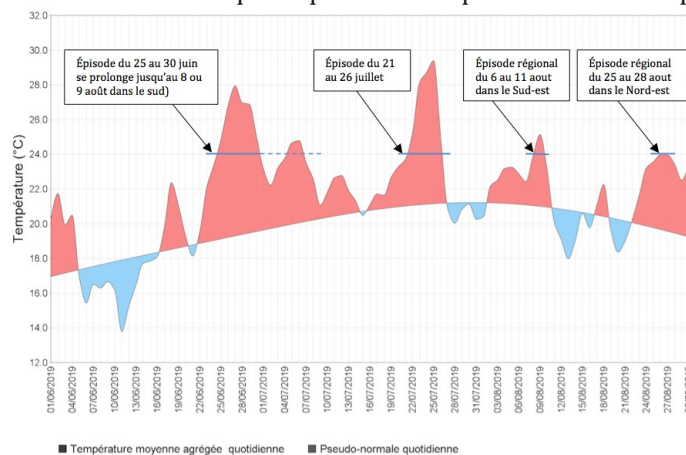


Figure 1 : Température moyenne quotidienne en France été 2019 (source Météo-France) ;

¹ https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnc_actualise_2017.pdf

² <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.09.002>

³ Il s'agit d'une moyenne entre le maximum et le minimum de la journée, car pour beaucoup de postes historiques manuels, ce sont les seuls paramètres thermiques qui étaient mesurés.

La France a connu au cours de l'été 2019 deux épisodes de forte chaleur (figure 1). Du 25 au 30 juin, la canicule a été remarquablement précoce et a affecté plus particulièrement le sud (figure 2). Il s'y est poursuivi jusqu'au 8 ou 9 juillet. Du 21 au 26 juillet, l'épisode caniculaire a concerné notamment la moitié nord du pays (figure 3). Deux autres épisodes régionaux se sont succédés, du 6 au 11 août dans le sud-est, du 25 au 28 août dans le nord-est. Ces événements très localisés apparaissent à peine sur la figure 1 qui représente une température moyennée à partir des 30 stations de référence.

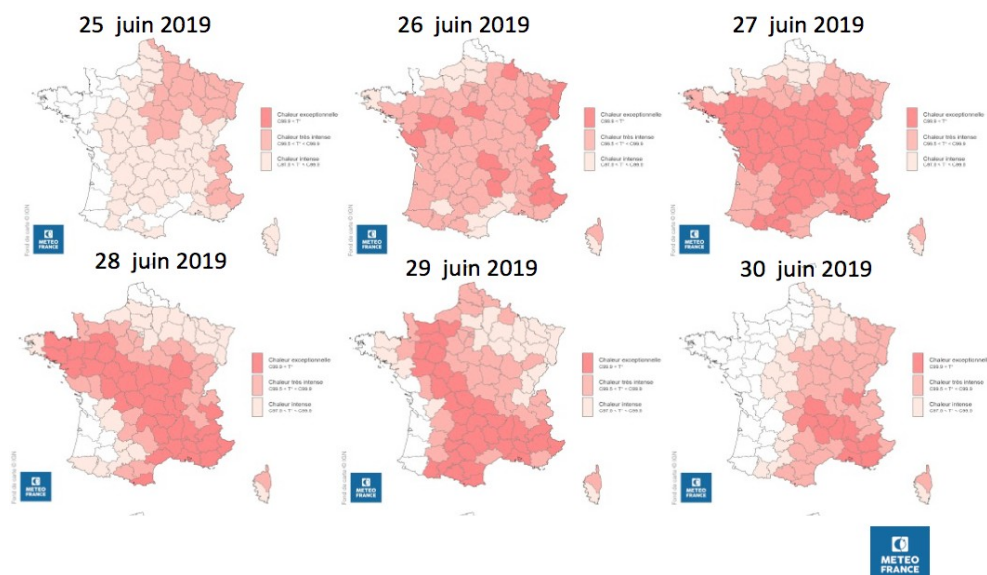


Figure 2 : Déplacement de la vague de chaleur lors du premier épisode (source Météo-France).

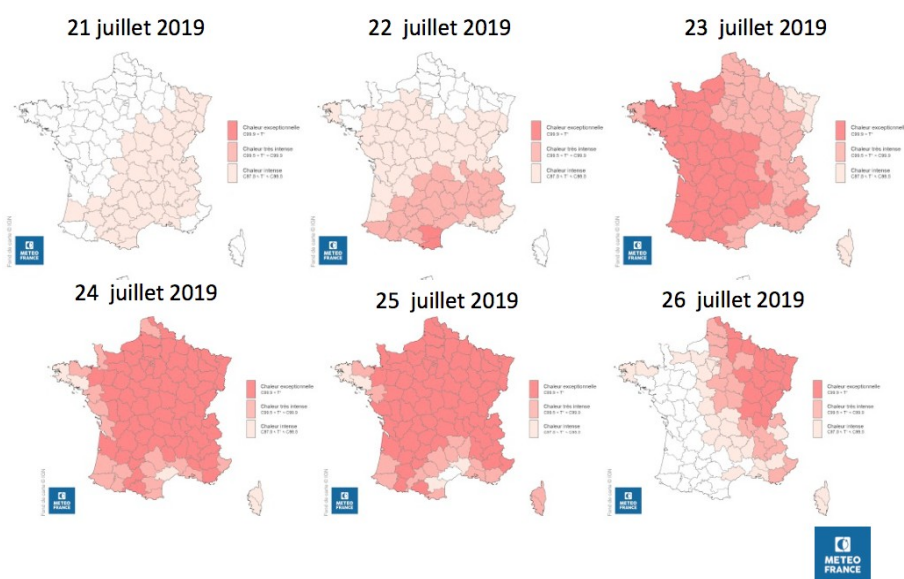


Figure 3 : Déplacement de la vague de chaleur lors du second épisode (source Météo-France).

1.1.2. Les canicules de 2019 ont été d'une intensité exceptionnelle

La moyenne sur la France des températures quotidiennes de ces 30 stations a permis de recenser 41 vagues de chaleur majeures depuis 1947 (annexe 2.3 : « durée, intensité maximale et sévérité des vagues de chaleur depuis 1947 »), caractérisées chacune par sa durée, son intensité maximale et sa sévérité (figure 4).

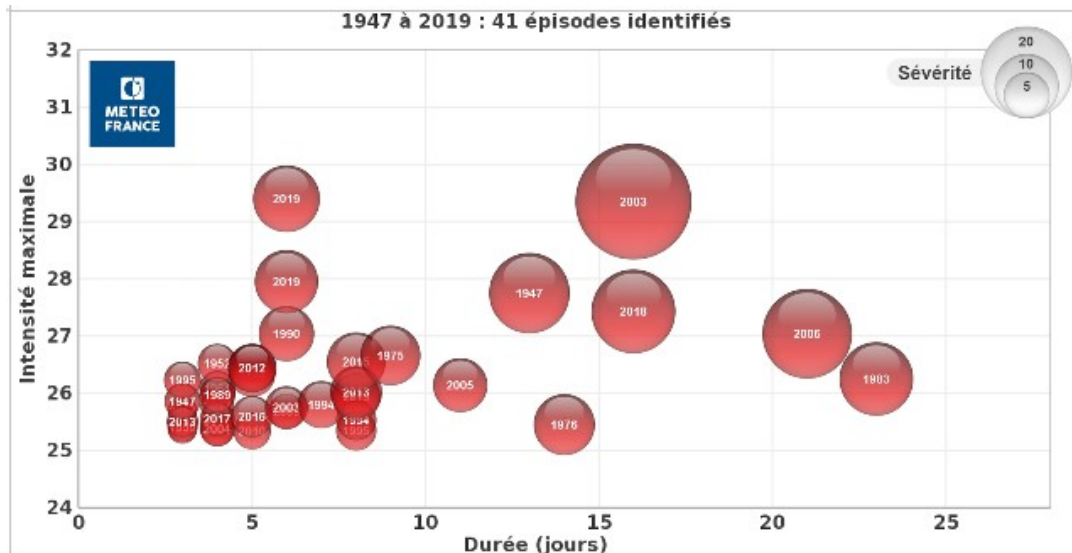


Figure 4 : Vagues de chaleur observées en France de 1947 à 2019 (source Météo-France).

Les canicules de juin et juillet 2019 ont été plutôt courtes (six jours), 14 ont eu une durée plus longue. Elles ont été plutôt sévères, seulement cinq vagues de chaleur (1947, 1983, 2003, 2006 et 2018) affichent une sévérité supérieure. Par contre, elles ont été d’une intensité exceptionnelle, la vague de juillet ayant atteint l’intensité maximale la plus élevée au cours d’un épisode, devant celle d’août 2003 et celle de juin 2019. Par ailleurs, il n’est pas rare de connaître deux vagues de chaleur au cours d’un même été. Cela s’était déjà produit à dix reprises avant l’été 2019 (annexe 2.3 : « durée, intensité maximale et sévérité des vagues de chaleur depuis 1947 »), l’été 2017 ayant même connu quatre vagues de chaleur.

De nombreux records de température ont été battus

Les températures relevées au cours de ces deux épisodes ont été très élevées dépassant de façon inédite les 40 °C dans plusieurs villes du nord de la France le 25 juillet (figure 5). Ce jour-là, c’est à Saint-Maur (92) qu’il a fait le plus chaud avec 43,4 °C. Le record absolu de température maximale en France a été battu le 28 juin à Vénargues dans l’Hérault avec 46,0 °C effaçant les 44,1 °C relevés dans le Gard en 2003.



Figure 5 : températures maximales en France le 5 août 2003 et le 28 juin et le 25 juillet 2019 (source Météo-France).

Durant ces épisodes, de nombreux records de température ont été battus avec des écarts par rapport aux précédents jamais observés, même au niveau mondial, avec par exemple jusqu’à + 6 °C à Montpellier (figure 6). À Paris, le thermomètre a atteint 42,6 °C, record absolu pour la capitale, dépassant largement l’ancien record de 40,4 °C datant du 28 juillet 1947.

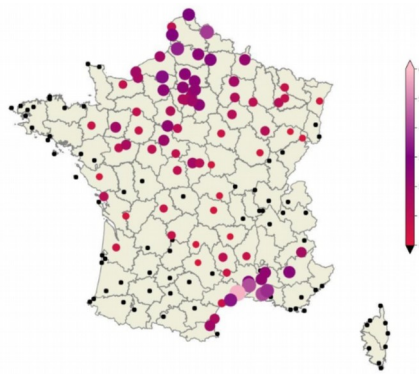


Figure 6 : écart de température par rapport aux précédents records (source Météo-France).

Certaines régions ont été affectées davantage par le premier épisode, d'autres par le second. Cette distinction avec la canicule de 2003 qui concernait davantage tout le territoire (figure 5) explique qu'avec une température moyenne sur le pays de 29,4°, le 25 juillet 2019, a égalé sans dépasser le 5 août 2003, journée la plus chaude enregistrée en France (*annexe 2.4 : « température moyenne quotidienne observée en été »*).

1.2. La sécheresse

La sécheresse est un déficit anormal d'une (au moins) des composantes du cycle hydrologique terrestre sur une période prolongée. Il faut distinguer plusieurs types de sécheresses (Wilhite et Glantz, 1985) :

- La sécheresse météorologique correspond à un déficit prolongé de précipitations.
- La sécheresse agricole ou édaphique 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 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 agricole est donc sensible aux précipitations, à l'humidité et à la température de l'air, au vent mais aussi à la nature des plantes et des sols (*annexe 2.5 « méthode de diagnostic de la sécheresse des sols »*).
- La sécheresse hydrologique se manifeste lorsque les lacs, rivières ou nappes souterraines montrent des niveaux anormalement bas. Elle dépend des précipitations mais aussi de l'état du sol influant sur le ruissellement et l'infiltration, de la température et de l'état de la végétation qui conditionnent l'évapotranspiration et du niveau des stocks dans les divers compartiments du cycle terrestre de l'eau (nappes souterraines, retenues d'eau, sol, stocks neigeux et glaciers). La structure du bassin hydrologique (pédologie, géologie, topographie, réseau hydrographique) détermine les temps de réponse des écoulements aux précipitations observés sur différentes périodes et donc la « réaction » du bassin à l'absence de ces précipitations.

La sécheresse météorologique se répercute aux autres types de sécheresse en fonction de la nature du sol, de la végétation (et la saison), du fonctionnement hydrologique des différents aquifères.

Le choix d'un indice de sécheresse pertinent dépend fortement du domaine considéré⁴ :

- *Standardized Precipitation Index* (SPI) : indice de probabilité qui repose seulement sur les précipitations, indicatif de la sécheresse météorologique ;
- *Soil Wetness Index* (SWI) : indice d'humidité des sols, il représente le ratio d'eau disponible pour la plante, indicatif de la sécheresse agricole ;

⁴<http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/183>

- *Standardized Flow Index (SFI)* : indicatif de la sécheresse hydrologique.

1.2.1. La sécheresse 2019 a des origines météorologiques

Les précipitations ont été déficitaires de manière quasi continue sur la France de juillet 2018 à septembre 2019 inclus (*annexe 2.6 « déficit de précipitations par trimestre - indice SPI- »*) avec toutefois une brève période très pluvieuse à l'automne 2018 (figure 7).

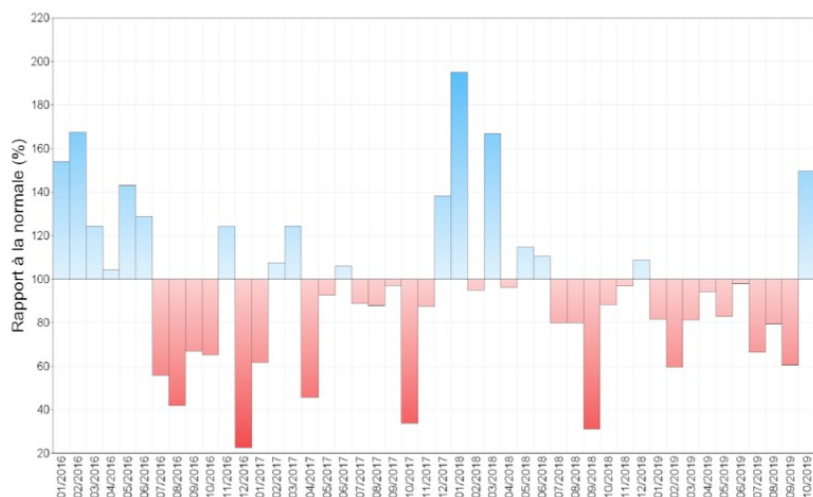


Figure 7 : Écart à la normale des précipitations mensuelles (source Météo-France).

Sur 12 mois, de septembre 2018 à août 2019, on constate une vaste zone déficitaire qui va du Massif Central au Grand Est avec des durées de retour (DR) des événements constatés qui vont de 10 à 25 ans (figure 8) et d'autres zones en déficit plus limité (Normandie, Nord, Savoie...).

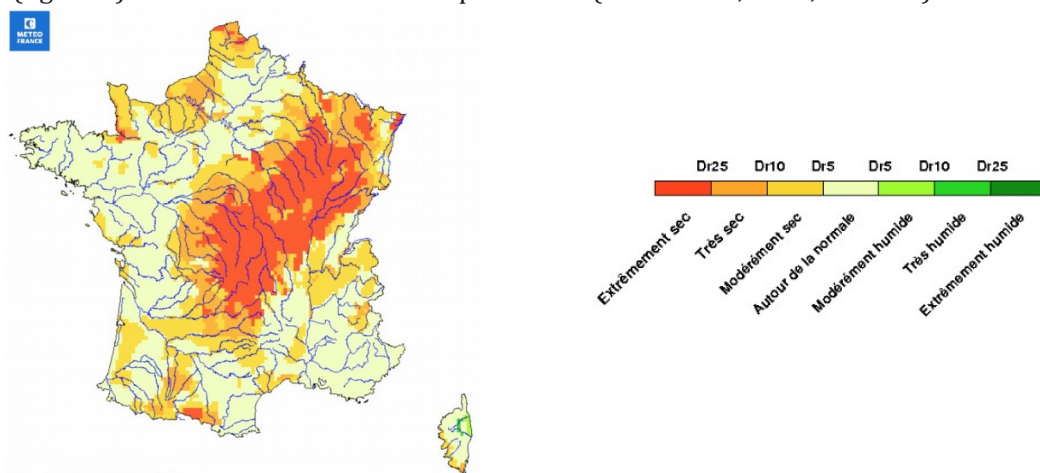


Figure 8 : Déficit de précipitations sur 12 mois : septembre 2018 - août 2019 (indice SPI) (source Météo-France).

1.2.2. La sécheresse des sols a atteint un record historique en septembre 2019

La sécheresse des sols a redémarré au mois de juin 2019 pour égaler au mois de septembre, le record historique de 1990 (figure 9). S'en est suivi une forte réhumidification à partir d'octobre. Les zones les plus touchées ont été les régions de l'est, du centre et de la basse vallée du Rhône (figure 9). *annexe 2.7: « déficit d'humidité des sols - indice SWI- »* et *annexe 2.8 : « Indice moyen d'humidité des sols (SWI) pour l' année 2019.*

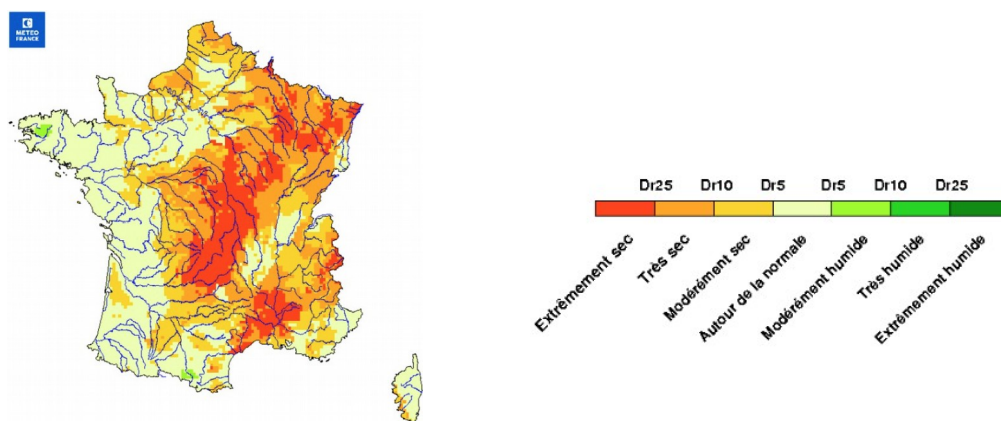


Figure 9 : Déficit d'humidité des sols en septembre 2019 (indice SWI) (source Météo-France).

Cette sécheresse s'inscrit dans un contexte d'événements récurrents et exceptionnels de sécheresse des sols ayant alternativement touché ces cinq dernières années, toutes les régions de France (figure 10). L'analyse ne prend en compte que les aléas naturels et ne traite pas des autres usages, comme les prélèvements.

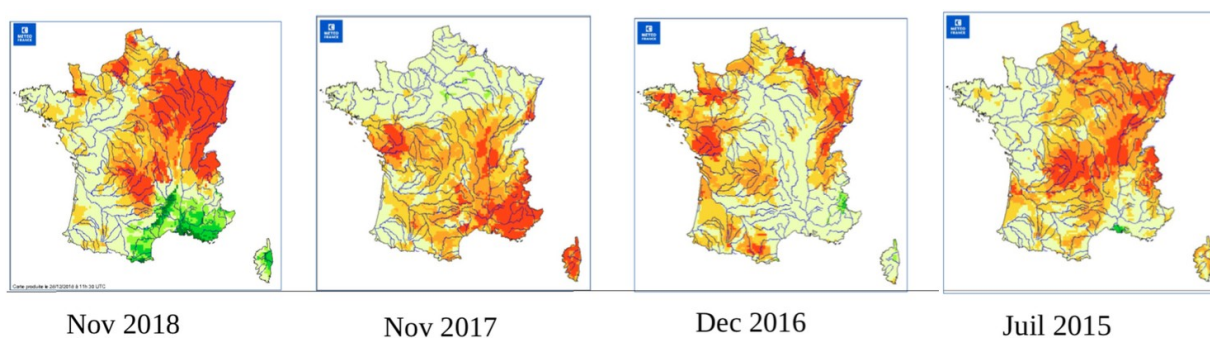


Figure 10 : Déficit d'humidité des sols au cours des cinq dernières années (indice SWI, (source Météo-France).

1.3. Les épisodes caniculaires en climat futur

Il ressort des projections de Météo-France que les épisodes équivalents à celui de l'été 2019 vont se multiplier d'ici 2050 mais ne seront pas plus forts en intensité, durée et sévérité qu'en 2003. Dans les 30 ans qui viennent, nous ne devrions donc pas subir d'événements inconnus, mais plusieurs de niveau comparable à celui de 2003. Au-delà, tout dépendra de la trajectoire d'émissions et de concentrations de gaz à effet de serre qui sera suivie (*annexe 2.9 : « le positionnement des épisodes de l'été 2019 en climat futur »*).

1.4. Conclusion

Les deux épisodes de canicule qu'a connus la France au cours de l'été 2019, **s'ils ne se distinguent pas par leur durée ou leur sévérité, sont donc tous deux exceptionnels pour l'intensité maximale qu'ils ont atteinte** avec des écarts de température par rapport aux précédents records jamais observés, même au niveau mondial. La sécheresse des sols en 2019, qui vient donc à la suite d'événements similaires ayant eu lieu les quatre années précédentes, **a atteint un record historique au mois de septembre**. Depuis octobre, on a observé cependant une forte réhumidification des sols.

2. Impact sur le bâti.

L'impact principal d'un épisode caniculaire ou d'une sécheresse, en ce qui concerne la déstabilisation d'un immeuble, est le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. La mission ne s'intéressera ni au confort thermique dans les bâtiments, ni à l'impact sur la santé humaine, ni à l'adaptation de la conception architecturale, de la réglementation et des règles de construction qui font par ailleurs l'objet d'une autre mission⁵.

Les fortes chaleurs peuvent entraîner différentes « pathologies » et sinistralités sur le bâti : dilatation de matériau (menuiserie, enduits), déshydratation des joints entre plaques de plâtre... ainsi que des dysfonctionnements de systèmes tels que les climatiseurs. Ces sinistres relèvent le plus souvent de défauts de construction même s'ils sont révélés à l'occasion de ces épisodes. La mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels (MNR) qui est un groupement technique professionnel placé sous la houlette de la fédération française de l'assurance (FFA), ne dispose pas du recul nécessaire pour dresser un état des sinistres qu'auraient pu entraîner les canicules de 2019.

Le retrait par assèchement des sols argileux lors d'une sécheresse prononcée (sécheresse géotechnique) et/ou durable produit des déformations de la surface des sols (tassements différentiels). Il peut être suivi de phénomènes de gonflement au fur et à mesure du rétablissement des conditions hydrogéologiques initiales. Le phénomène de retrait-gonflement des argiles engendre régulièrement sur le territoire français des dégâts considérables aux bâtiments. En raison notamment de leurs fondations superficielles, les maisons individuelles sont particulièrement vulnérables à ce phénomène. Ces dégâts sont généralement pris en charge par les assurances dans le cadre du dispositif de reconnaissance de l'état de « catastrophe naturelle » (*annexe 3.1 : « reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle »*).

La dernière révision des critères permettant de reconnaître une commune en état de catastrophe naturelle après une sécheresse a eu lieu en mai 2019. Elle a eu pour conséquence de quasiment « neutraliser » l'effet sol : il suffit que 3 % de la surface du territoire communal soit couverte par des sols argileux sensibles situés en zones d'aléas faible, moyen et fort (98 % des communes sont au-dessus de ce seuil) pour pouvoir être classé à partir du moment où l'on a connu un épisode de sécheresse dont la durée de retour est supérieure à 25 ans. Ces zones d'aléas sont issues de données techniques et études cartographiques établies par le Bureau de recherche géologiques et minières (BRGM). Depuis le lundi 26 août 2019, la « carte de l'aléa retrait gonflement des sols argileux » utilisée depuis 2010 a été remplacée par la « carte d'exposition au retrait gonflement des sols argileux ». Les données météo sont fournies par Météo-France. N'étant disponibles qu'au mois de mars de l'année n+1, le classement des communes ne peut intervenir avant cette date. On ne dispose donc à la date de rédaction du rapport d'aucune donnée sur les événements 2019 (nombre de communes classées, nombre de sinistres).

Pour faire de la prospective, la MRN utilise un « indice d'exposition » : nombre de maisons par commune situées en zone sensible, c'est-à-dire en zone argileuse d'aléas moyen/fort et ayant subi une période de sécheresse dont la durée de retour est supérieure à 25 ans. En 2019, 1,9 millions de maisons sont susceptibles d'avoir été exposées à la sécheresse. En 2018, 2,7 millions de maisons ont été exposées à la sécheresse (située dans une des 3 983 communes ayant été finalement classées en catastrophe naturelle sur les 5 686 qui en ont fait demande : plus de 70 %, ont été reconnues, ce qui constitue un taux de reconnaissance historiquement haut, la moyenne étant de l'ordre de 50 %) (*annexe 3.2 : bilan d'activité de la commission interministérielle catastrophes naturelles en 2019*). 10,4 millions de maisons sur un total de 18 sont situées en zone d'aléas moyen / fort (source MRN).

⁵Rapport CGEDD-CGE en cours relatif à la « préparation de la réglementation environnementale 2020 dans les constructions neuves ».

En application de l'article 68 de la loi portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (loi ELAN) du 23 novembre 2018, il a été créé une section du code de la construction et de l'habitation spécifiquement consacrée à la prévention des risques de mouvements de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols. L'objectif de cette mesure législative est de réduire le nombre de sinistres liés à ce phénomène en imposant la réalisation d'études de sol préalablement à la construction dans les zones exposées au retrait-gonflement d'argile. En effet, les sinistres liés à la sécheresse sont des sinistres parfaitement évitables si l'on construit dans les règles de l'art. Les constructions réalisées après la loi Elan ne relèveront donc plus du dispositif « catastrophe naturelle » mais de la responsabilité du constructeur au travers de la garantie décennale. La nouvelle carte d'exposition (*annexe 3-3 : « carte d'exposition au retrait gonflement des sols argileux »*) doit permettre d'identifier les zones exposées au phénomène de retrait gonflement des argiles où s'appliqueront les nouvelles dispositions réglementaires à partir du 1^{er} janvier 2020 (zones d'exposition moyenne et forte). L'arrêté actant la carte n'a toujours pas été publié. Par ailleurs, aucune capitalisation de ces études de sol n'est envisagée alors que celle-ci pourrait rapidement générer des économies d'échelle.

→ *Propositions*

- **Publier l'arrêté** actant la carte aussi vite que possible.
- Pour vérifier le respect de l'obligation de la loi Elan et capitaliser la connaissance, **modifier l'article L. 411-1 du code minier** pour imposer la déclaration des études de sol de moins de 10 m dans la banque du sous-sol tenue par le BRGM et accessible au grand public (*annexe 3.4: « déclaration des ouvrages souterrains »*).
- **Développer la recherche sur les techniques de prévention** : les coûts de réparation des sinistres (*annexe 3.5 : « coût des sinistres »*), 50 000 € en moyenne par habitation, sont sans commune mesure avec les coûts des moyens de prévention à mettre en œuvre durant la construction (raidisseurs, 500 € par habitation) (source MRN). Il existe aussi des techniques de prévention plus faciles à mettre en œuvre et moins onéreuses que la technique la plus répandue pour réparer (réalisation de micro-pieux en sous-œuvre), notamment l'humidification du sol de fondation avant qu'il ne devienne trop sec, en injectant de l'eau de pluie préalablement récupérée et stockée. Cette technique est actuellement expérimentée par le Cente d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA⁶).

Enfin, il n'existe pas, comme dans le domaine parasismique, de document technique unifié (DTU)⁷ dédié à la construction en zone argileuse mais seulement une série de prescriptions, dans la loi ELAN, à appliquer en cas d'étude de sol non réalisée.

Recommandation 1. Élaborer une norme de document technique unifié (DTU) de conception générale des constructions en zone argileuse qui regrouperait l'ensemble des dispositions à appliquer et éviterait le recours aux diverses « strates » d'autres DTU : fondations, maçonnerie, etc. (direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature -DGALN-).

Proposition d'indicateur pour le bâti : le coût global marché consolidé ou estimé pour un évènement donné. Il s'agit du montant estimé des dommages pour le marché pris en charge au titre de la garantie légale « catastrophes naturelles » pour les biens assurés autres que les véhicules terrestres à moteur. Ils sont obtenus à partir des données statistiques collectées par la caisse centrale de

⁶ <https://www.cerema.fr/fr/actualites/stabilisation-du-phenomene-retrait-gonflement-sols-argileux>

⁷ <https://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/travaux/les-nf-dtu.html>

réassurance (CCR). Ce coût est fourni en euros de l'exercice de l'événement. Les coûts consolidés sont présentés sous forme d'un chiffre contrairement aux coûts estimés qui sont présentés sous forme d'intervalle. Ces données sont disponibles sur le site Ceres, outil d'aide à l'analyse des risques de la CCR et actualisées régulièrement.

3. Les activités de réseau

La mission s'est intéressée aux infrastructures et services de transport (§3-1), au réseau de transport et de distribution d'énergie électrique (§3-2), de distribution des eaux potables et usées (§3-3) et enfin aux effets des restrictions de prélèvement d'eau sur la production industrielle (§3-4).

3.1. Infrastructures et services de transport

Dans ce chapitre, seront successivement traités les infrastructures routières, ouvrages d'art et circulation routière, puis les infrastructures et trafics portuaires, le transport ferroviaire puis celui de la RATP, du transport urbain de province et les services d'autocars assortis de recommandations pour le transport collectif, les infrastructures aéroportuaires et le trafic aérien, et, enfin, les infrastructures et transports fluviaux.

3.1.1. Quelques désordres ponctuels principalement sur le réseau routier des collectivités et pas d'impact recensé sur la circulation routière

3.1.1.1. Des infrastructures résilientes sur le réseau routier national et qui le sont moins sur le réseau secondaire des collectivités

a - Sur les infrastructures routières

La température extrême, chaude, affecte les chaussées et particulièrement les couches de surface. Les bitumes mous⁸ peuvent, par une malléabilité accrue, contribuer à leur déformation (orniérage). Tous les bitumes peuvent se liquéfier et remonter en surface en entraînant une perte d'adhérence (ressuage). Elle affecte aussi les composants électriques et électroniques des aides à la circulation.

Pour les ouvrages en terre (remblais et déblais) l'augmentation des températures, surtout si elle est associée à une sécheresse, a un impact notamment sur les sols argileux, par une augmentation des dégradations mécaniques : tassements dus à l'évapotranspiration et au ressuyage, mais aussi apparition de phénomènes de retrait, créant des fissurations sur les plate-formes routières jusqu'aux couches de fondation. S'il y a des argiles gonflantes, des fissures longitudinales et des affaissements en rive peuvent apparaître, accentués par la végétation aux abords.



Photos 1 : Orniérage Ressuage de la chaussée Fissuration longitudinale Affaissement en rive (Source : Cerema).

⁸ Trois types de bitume existent : les mous, les classiques ou semi-durs, et les durs. Les premiers se déforment dès que la température au sol atteint les 30-40 °C (déformation et ressuyage), les deuxièmes à 50-60 °C, tandis que les plus durs ne sont pas sensibles à la température mais aux rayons ultraviolets. Soumis à des UV intenses ils peuvent se briser ou éclater. La formulation de l'enrobé et le choix du bitume est donc un point clé, dépendant du climat et du trafic.

Les autres impacts indirects sont : le risque d'augmentation des mouvements de terrain, la modification de leur comportement en cas de fortes précipitations après une canicule, les feux de forêt, les chutes de blocs après incendie dans des vallons précédemment stabilisés par la végétation.

Aucun désordre significatif n'a été signalé sur le réseau routier national concédé (RRN-C)⁹ et non concédé (RRN-NC), la conception des chaussées étant généralement robuste et l'entretien efficace¹⁰. Quelques désordres ponctuels ont pu être constatés (*annexe 4.1 : liste des désordres relevés sur le réseau routier national*). Le principal impact a été les coupures des routes et autoroutes suite à des incendies. Le centre d'études des tunnels (Cetu) n'a constaté aucun désordre sur les tunnels.

Sur le réseau des collectivités, il a pu être observé une amplification en intensité et/ou en fréquence des phénomènes récurrents sur des infrastructures mal dimensionnées ou réalisées avec des matériaux non adaptés (souvent pour raisons budgétaires), notamment sur des zones d'argile gonflante (de l'ordre de 10 % de linéaire touché dans le Cher par exemple). Ces conséquences sont différentes d'une région climatique ou géologique à l'autre, selon l'état de la chaussée, du trafic poids lourds, la différence entre température diurne et nocturne. Des exemples de désordres ont été signalés au Cerema (*annexe 4.2 : « exemples d'impacts sur les réseaux routiers des collectivités »*). Ces phénomènes sont mal connus des gestionnaires routiers. Il est probable que des fragilisations du patrimoine, moins visibles que les désordres apparents recensés, n'aient pas été identifiées malgré leurs conséquences à court et moyen terme.

Enfin, en zone urbaine, selon les remontées faites auprès du Cerema, devant les giratoires et les arrêts de bus, et particulièrement pour les bus à haut niveau de service¹¹, des bourrelets massifs sont apparus en plusieurs lieux : ces phénomènes pourraient s'expliquer par un mauvais dimensionnement des chaussées dans des zones très sollicitées.

b - Pas d'impact direct pour 2019 sur les ouvrages d'art, mais à surveiller

. Effet de la canicule

Les températures très élevées ont pour effet d'amplifier la dilatation des matériaux acier et béton. Le dimensionnement des ouvrages intègre aujourd'hui de telles amplitudes de températures. Seuls les chaussées, joints de chaussées et les appareils d'appuis peuvent être affectés, mais ils sont surveillés et sont remplacés régulièrement tous les 15 ans.

Aucun désordre n'a été signalé sur les ouvrages d'art du RRN-C, du RNN-C et du réseau ferroviaire national (RFN) par les concessionnaires, la direction générale des infrastructures des transports et de la mer (DGITM) ou la SNCF, suite aux deux canicules 2019.

. Effet de la sécheresse

Les fondations sur pieux bois des petits ponts en maçonnerie peuvent être attaqués par des champignons si les pieux sont dénoyés du fait du faible niveau d'eau lors d'un étiage sévère. Compte-tenu de l'amplification à venir de la fréquence de ces situations il convient certainement de former et de sensibiliser les services techniques des collectivités à ce risque de pourrissement des pieux.

⁹ Après enquête de la direction générale des infrastructures des transports et de la mer (DGITM) auprès des concessionnaires autoroutiers.

¹⁰ Un bon comportement général du RRN-NC avait aussi été constaté lors de la canicule de 2003.

¹¹ Bus sur une voie dédiée, à forte fréquence, avec priorité aux feux, et matériel à plancher bas (accessibilité handicapés).

c - Des restrictions de circulation pour les automobilistes et une accidentologie routière stable

. **Impact vis-à-vis des usagers** : La figure 11 montre la corrélation entre l'augmentation de température et le déclenchement d'alertes pollution¹² par l'autorité préfectorale. Ce déclenchement entraîne la mise en place de mesures graduées de restriction sur la circulation routière, allant de l'abaissement des vitesses maximales jusqu'à la restriction de la circulation selon la plaque d'immatriculation ou la classification du véhicule et la mise en place d'incitations pour l'usage de transports les moins polluants. Les automobilistes se reportent alors sur d'autres modes, sans que la mission ait pu quantifier ce report, faute de données. Il s'avère particulièrement primordial que les transports collectifs soient alors en bon état de service.

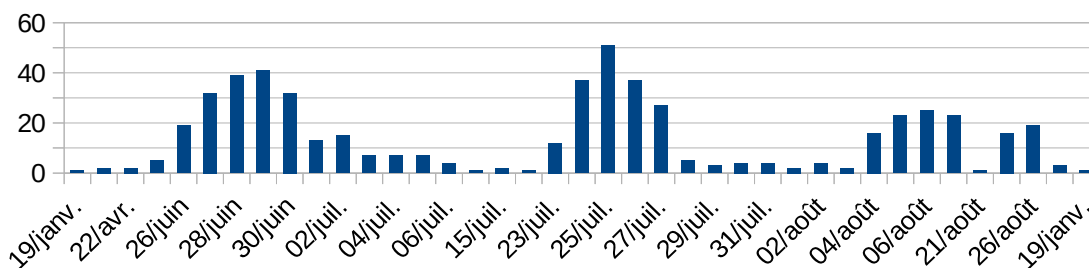


Figure 11 : Nombre de jours x départements de procédures préfectorales d'alerte - un pic pour dépassement un jour donné compte pour un (source : Direction générale de l'énergie et du climat - DGEC - à partir du site du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air - LCSQA-).

Selon la direction de la sécurité routière, il ne ressort pas d'écart significatif d'accidentalité à l'examen des deux semaines de canicule par rapport aux cinq années précédentes. Le phénomène est trop ponctuel et le nombre d'accidents pas assez significatif.

. **Impact vis-à-vis des salariés des entreprises de transport** : Les directions régionales de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL) n'ont pas fait remonter de problèmes particuliers dans le domaine du transport routier lié à la canicule : les conducteurs de poids lourds et véhicules utilitaires légers (VUL) disposent de climatisation dans les véhicules (*annexe 4.3: description des impacts sur les usagers et la circulation routière, et sur les agents*).

3.1.1.2. Infrastructures routières, ouvrages d'art et circulation routière : propositions d'actions et d'indicateurs

a - Infrastructures routières et confort des automobilistes : propositions d'actions

. **Pour les infrastructures routières**, en termes de prévention, il s'agit avant tout de veiller, lors de la conception, à bien dimensionner et mettre en œuvre le matériau adapté au climat local et au trafic prévisionnel, d'avancer dans les expérimentations pour prévenir les sinistres, de mieux connaître les zones sensibles afin de mieux les surveiller, et de protéger les agents.

→ Propositions

- le Cerema a répertorié en juillet 2015, en application du premier plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC1), les lois, codes, normes et règlements techniques, (conception, dimensionnement et entretien des chaussées, voiries urbaines et ouvrages d'art), qui ont été définis à partir des données climatiques passées¹³. Il faut aujourd'hui **donner suite à la reprise de ces référentiels en tenant compte des projections**

¹² La présence de rayonnements ultraviolets, l'absence de vent et la température supérieure à 30 °C favorisent l'apparition d'ozone.

¹³ Température, état hydrique des sols, ensoleillement notamment.

climatiques, avec une hiérarchisation dans le temps en fonction des enjeux. Dans l'immédiat, dans la politique d'achat des équipements de l'État, (panneaux à message variable - PMV-, boucles de détection), il s'agira d'insérer des spécifications de meilleure tenue à la chaleur pour les composants électriques et électroniques.

- **Poursuivre et renforcer les expérimentations en cours de l'observatoire des routes sinistrées par le retrait/gonflement argile**¹⁴ sur des techniques de traitement de ces désordres, puis labelliser et diffuser largement les résultats¹⁵.
- **Développer l'analyse de la vulnérabilité** (argile, feux, et autres impacts) face aux événements climatiques sur le RRN-NC et le réseau structurant des conseils départementaux pour localiser les tronçons les plus à risque (méthodologie diffusée par le Cerema)¹⁶.
- **Étudier l'opportunité d'acquérir des équipements de protection individuelle adaptés** - sommets de tête/cagoules et sahariennes rafraîchissants pour les agents d'exploitation, comme cela existe dans d'autres secteurs pour les agents d'exploitation routière.

Le renouvellement des chaussées selon la typologie et le trafic, se fait tous les 6 à 20 ans : il est important d'avancer dans la recherche de formulations des enrobés et des caractéristiques des bitumes tenant compte des températures extrêmes chaudes (les bitumes devront être plus durs pour être moins plastiques), en recherchant le compromis par rapport à la tenue au froid qui reste leur principale vulnérabilité (plus le bitume est dur plus il devient cassant). Une piste intéressante dont il faudrait pousser les expérimentations à grande échelle consiste à développer l'emploi de chaussées de couleur claire pour limiter les échanges thermiques sur les ouvrages d'art, les routes, mais également en milieu urbain pour lutter contre les îlots de chaleur¹⁷.

Recommandation 2. Poursuivre la recherche de formulations des enrobés et des caractéristiques des bitumes résistant au grand chaud et au froid. Développer les expérimentations à grande échelle de chaussées de couleur claire - liant coloré - (DGITM).

. Pour les automobilistes : certaines sociétés concessionnaires d'autoroute (SCA) ont procédé à des distributions d'eau sur les aires autoroutières. Suite à l'alerte canicule, la DGITM a demandé aux directions interdépartementales des routes (DIR) la mise en place de mesures d'organisation interne, mais aussi de doter les patrouilleurs et les agents en intervention de bouteilles d'eau pour pouvoir les distribuer aux véhicules en panne. La mission considère que ces pratiques doivent perdurer et être inscrites dans le plan canicule des DIR et SCA.

b - Ouvrages d'art

¹⁴ Qui regroupe le Cerema et cinq départements impactés : Cher, Indre, Indre-et-Loire, le Loiret, Loir et Cher.

¹⁵ L'observatoire étudie depuis une dizaine d'années plusieurs méthodes : encapsulage de la chaussée par une géomembrane, rideaux coulés sur place après réalisation de tranchées, mise en place de grilles triaxiales, injection de solutions anioniques...

¹⁶ Cela a été fait par la direction interdépartementale des routes méditerranée (Dir Med) sur l'ensemble de son réseau, avec un focus pour les aléas forts de départ de feux. Le département du Cher a procédé à une analyse croisée de son réseau avec les cartes d'argile du BRGM pour localiser les zones à risque et a procédé à une auscultation détaillée de ces tronçons pour déterminer les déformations de la chaussée de manière à renforcer la surveillance. Cette démarche simple pourrait se développer dans d'autres départements.

¹⁷ Un procédé a été suivi plusieurs années par le Cerema dans le cadre du comité innovation routes et rues mis en place par la DGITM : il peut être mis en œuvre sur des enrobés chauds, tièdes ou coulés à froid, et a été expérimenté en laboratoire sur l'ornièrage et sur quelques planches d'essai in situ. Il consiste à utiliser des liants hydrocarbonés colorés voire transparents : la chaussée est teintée par le matériau dans ce dernier cas).

La surveillance des ponts et des appuis en rivière est à renforcer. L'annonce de la mise en place d'un carnet de santé définissant les caractéristiques de l'ouvrage, la politique de surveillance et d'entretien à prévoir et retraçant toutes les opérations effectuées sur l'ouvrage ainsi que l'évolution de l'état de l'ouvrage, va dans ce sens¹⁸.

c - Indicateurs

Il n'y a aujourd'hui pas d'enjeu identifié pour mettre en œuvre des indicateurs sur les infrastructures et ouvrages d'art du réseau routier. Si des incendies impactaient fortement et de manière répétée le réseau principal, il serait possible de mettre en place un suivi du nombre d'événements incendies sur le RRN à partir de l'outil TIPI géré par la DGITM, en y associant une description des effets sur le patrimoine. Enfin, le nombre de jours de restriction de la circulation multiplié par le nombre de départements concernés, disponible sur le site LCSQA.org depuis 2018 pourrait être retenu (*annexe 4.4 : les indicateurs possibles pour le réseau et la circulation routière*).

3.1.2. Infrastructures et trafic portuaires : quelques impacts très ponctuels

Les seules informations collectées concernent les grands ports maritimes de Dunkerque et la Rochelle qui n'ont rien à signaler, et Nantes Saint Nazaire¹⁹. Ce dernier, du fait du très faible débit de la Loire a dû réduire voire suspendre le dragage des souilles au niveau du terminal céréalier pour éviter les surmortalités piscicoles, réduisant de fait la capacité d'accueil des navires. Le port prévoit à terme le déplacement de ce terminal. La canicule a aussi accéléré l'apparition de fissures sur des rails de grue, sur des structures de bâtiments et sur la voirie (*annexe 5 : remontées d'impacts sur quelques infrastructures portuaires*).

3.1.3. Le transport ferroviaire (SNCF) : une régularité lourdement affectée mais une production des services qui semble assez résiliente

Les très fortes chaleurs peuvent, dans un laps de temps court, avoir des impacts sur le réseau ferroviaire : déformation des voies suite à la dilatation des rails (acier) qui implique des limitations de vitesse ou des arrêts de circulation, détente des fils conducteurs des caténaires qui peut produire des ruptures d'alimentation électriques et l'arrêt du train, panne des sous-stations et de la signalisation. Certains matériels roulants peuvent connaître des défaillances liées à la chaleur. Les feux de talus peuvent être plus nombreux à se déclencher du fait de la sécheresse et de la canicule (*annexe 6.1 : « principaux désordres pouvant survenir sur le réseau ferroviaire du fait des canicules et de la sécheresse »*).

3.1.3.1. Principalement trois familles d'incidents sur le réseau ferré national : défauts d'installations, incendies et pannes du matériel

La direction des opérations de SNCF Réseau assure le pilotage de l'ensemble des mesures d'anticipation et de prévention sur son réseau qui démarrent dès la mi-mars et se terminent avant fin juin, et coordonne la rédaction du plan canicule avec les autres gestionnaires d'infrastructures et les entreprises ferroviaires signataires de la convention gestion de crise. En septembre, chaque année, cette direction coordonne l'établissement d'un retour d'expérience (Rex) de la période d'été sur l'ensemble des activités de la SNCF (*annexe 6.2 : « préparation de la saison chaude : mesures préventives mises en œuvre par la SNCF »*).

¹⁸ Suite au rapport d'information n° 609 du Sénat du 26 juin 2019 de MM. Patrick CHAIZE et Michel DAGBERT « Sécurité des ponts : éviter un drame ».

¹⁹ Rien à signaler à Dunkerque ni la Rochelle.

Le bilan des deux épisodes caniculaires de 2019 fait par SNCF Réseau montre des effets très importants sur la régularité à cinq minutes (minutes perdues au-delà de cinq minutes de retard par le train par rapport à l'horaire prévu). L'entreprise a dû faire face à des crises trois fois plus nombreuses qu'en temps normal dans les zones les plus exposées, sans aller néanmoins jusqu'à la suspension de service. La deuxième canicule, plus courte, sur un périmètre plus large, s'est déplacée du sud vers l'Île-de-France et le nord là où le trafic est plus dense. SNCF Réseau a mieux su y répondre en mobilisant les équipes sur les points de fragilité recensés en juin. Alors que l'irrégularité fait perdre en moyenne 200 000 à 250 000 minutes par semaine toutes causes confondues, les événements en lien direct avec la canicule ont fait perdre 80 300 minutes sur six jours en juin (73 événements) et 68 800 minutes sur quatre jours en juillet (66 événements) : *annexe 6.3 : « liste des incidents significatifs pendant les deux canicules à la SNCF »*. Trois familles d'incidents ont dominé :

- **défauts d'installation essentiellement sur la traction électrique** (caténaires, sous-stations, câbles...). Deux grandes zones de fragilité ont été observées : la région parisienne (très fort trafic) et le grand Sud-Ouest (conception ancienne en 1 500 V, mauvais état, trafic en augmentation, besoin en puissance des matériels roulants en augmentation). Plusieurs arrachements ou anomalies pantographe, avec du matériel « Régio2N », sous caténaires 1 500 V non régularisées²⁰ lors de température dépassant 30 °C ont pu être observés. Les interruptions de circulation pour causes électriques avec des effets significatifs ont été au nombre de quatorze la semaine du 24-30 juin et de douze celle du 22-25 juillet ;
- **incendies au bord des voies**. Pour la première fois un feu a atteint le réseau ferré suite à un moissonnage de blé dans la Beauce ;
- **pannes du matériel** aux conséquences assez limitées mais nombreuses affectant la capacité de déplacement mais aussi la climatisation pour les clients. À chaque période « chaude », le nombre de signalements de climatisations hors service a augmenté, ce qui immobilise fortement les rames : en moyenne quatre heures à partir du signalement (voir paragraphe ci-dessous).

Le bon comportement de la voie, contenant des rails très sensibles aux efforts de dilatation -six incidents liés à la dilatation des rails pendant les deux périodes caniculaires sur les neuf annuelles- est le résultat d'une politique menée par SNCF Réseau depuis la canicule de 2003 d'identification et de traitement des zones à risque en amont de la période d'été : il n'y a ainsi pas eu de conséquence notable sur le service alors que la dilatation des rails a provoqué des crises graves chez les gestionnaires du réseau ferré d'autres pays européens, mal préparés à de telles chaleurs (*annexe 9.2 : retour d'expérience des canicules sur les réseaux de transport ferroviaire et urbain en Europe*).

Aucun désordre n'a été signalé sur les ouvrages d'art qui font l'objet d'une surveillance cadrée et organisée (certains sont instrumentés). L'incidentologie due à la canicule de juillet est analysée ci-dessous - figure 12- (*annexe 6.4 : détails des impacts sur les services de transport de la SNCF par activité : TGV, TER et Transilien*).

²⁰ La régularisation est le maintien de la tension mécanique du fil conducteur afin de limiter la flèche entre deux poteaux. Il existe différents types de caténaires dont certains sans possibilité de régularisation.

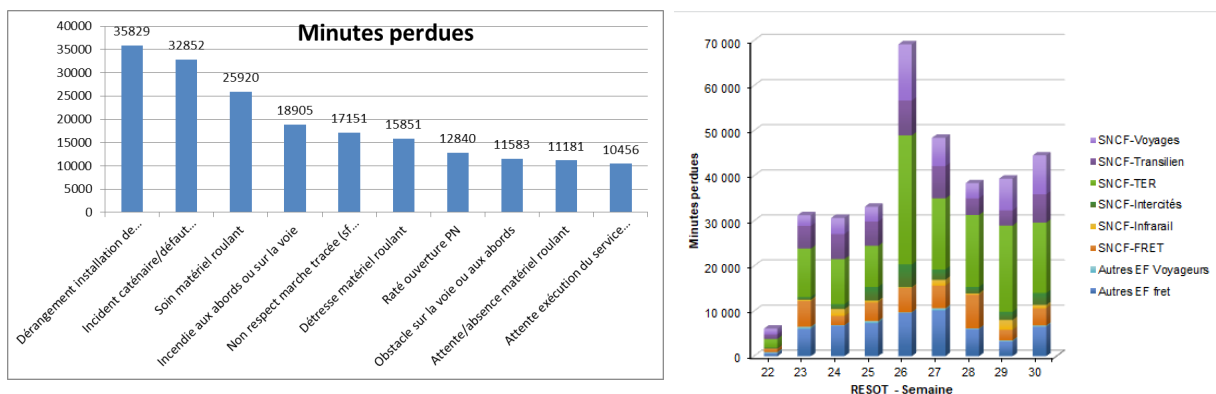


Figure 12 : Nombre de minutes perdues au-delà de cinq minutes en fonction de la nature des dix incidents les plus impactants lors de la semaine du 22 au 25 juillet, et répartition des minutes perdues chaque jour du 22 au 30 juillet selon l'activité (Source SNCF Réseau, direction des opérations et de la production). 75 % des minutes perdues l'ont été pour cause canicule.

Les trois principales causes de retard ou d'annulation propres au matériel roulant pendant les deux mois de juin et juillet 2019, (figure 13), sont la chaîne de traction, 30 %, (elle permet de transformer l'énergie électrique captée par la caténaire en énergie mécanique et permet de fournir le courant auxiliaire qui permet l'éclairage et la climatisation), les équipements de surveillance et de conduite, 16 %, (tout ce qui est indispensable au conducteur : radio, rétrovision, assistance contrôle conduite, enregistreur d'événements...), et enfin, la climatisation (16 %).

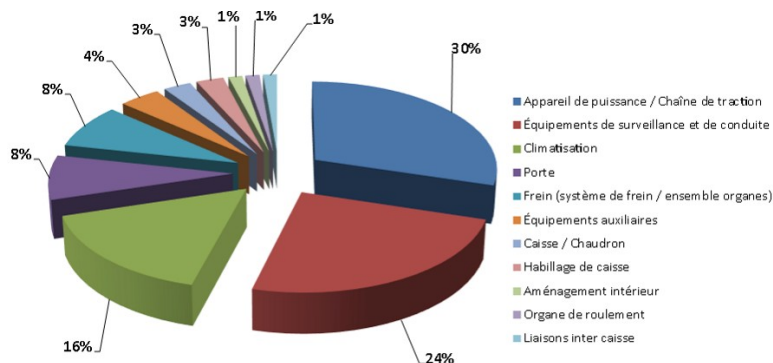


Figure 13 : causes des incidents du matériel roulant en juin/juillet 2019 (Source SNCF ingénierie du matériel à partir de la liste des principaux irritants par série sur 80 % du parc).

3.1.3.2. SNCF : Le confort des voyageurs sérieusement affecté malgré des mesures préventives

Le parc matériel SNCF est climatisé en quasi totalité sauf en Île-de-France : tous les trains TGV et Intercités sont climatisés ainsi que 94,6 % des TER²¹, alors que seulement 56,4 % des trains Transiliens le sont, soit 515 trains sur 913 (annexe 6.5 : « transilien, taux de matériel climatisé selon la ligne en 2019 »). Au fur et à mesure des renouvellements (tous les 35 à 45 ans), les rames sont systématiquement climatisées. Les 4,6 % de cabines de conduite des locomotives non climatisées ont été radiées fin 2019.

De nombreuses mesures préventives ont été mises en place pour maintenir autant que possible le confort des voyageurs (annexe 6.6 : mesures préventives pour le confort des voyageurs ». Malgré cela, la chaleur a pu les affecter suite à des climatisations dans les trains qui ne s'avèrent plus efficaces

²¹ À l'exception des anciennes rames V2N « gros porteurs » à deux niveaux qui circulent sur Paris le Havre, Paris Quentin et Paris Amiens ainsi qu'au nord de la Bourgogne.

au-delà d'une température extérieure de 35 °C. Une augmentation de l'ordre de 30 % des restrictions sur la fonction climatisation a ainsi été constatée sur les matériels TER.

Des températures pouvant dépasser 40 °C ont été mesurées dans les gares.

Une large information à destination des voyageurs a été mise en place, qui s'est avérée efficace, avec une incitation à ne pas se déplacer si cela s'avère possible.

En cas de panne en rase campagne, sans électricité ni climatisation, en plein soleil, la température peut alors rapidement atteindre 40 °C. Des conventions avec certaines préfectures ou/et la protection civile et la croix rouge française permettent à la SNCF, contre rémunération, de solliciter les services départementaux d'incendie et de secours dans le cadre d'une demande d'assistance aux voyageurs en gare ou à bord (évacuation/transbordement, avitaillement/hébergement d'urgence). Ces conventions ne couvrent pas tout le territoire, ce qui a posé problème, notamment 26 juillet 2019, dans le Nivernais ²².

3.1.4. RATP : les infrastructures et le matériel roulant ont bien résisté, avec un fort impact sur le service et le confort des salariés et voyageurs

La RATP met en œuvre à partir du 15 mai une campagne de mesures préventives avec des opérations de maintenance et de surveillance particulière. Elle dispose d'un plan « forte chaleur », qu'elle a dû compléter par des mesures exceptionnelles le 25 juillet, journée du record absolu de température à Paris (*annexe 7.1 : mesures préventives et exceptionnelles mises en œuvre par la RATP*). **C'est la première fois qu'elle a dû appliquer des restrictions temporaires de vitesse pour protéger son réseau.**

Les impacts ont été concentrés sur la journée du 25 juillet où il a été constaté une augmentation des incidents d'avaries sur le matériel, d'infrastructures et façades de quai, ainsi qu'un plus grand nombre d'incidents voyageurs (*annexe 7.2 : « détails des incidents constatés la journée du 25 juillet »*).

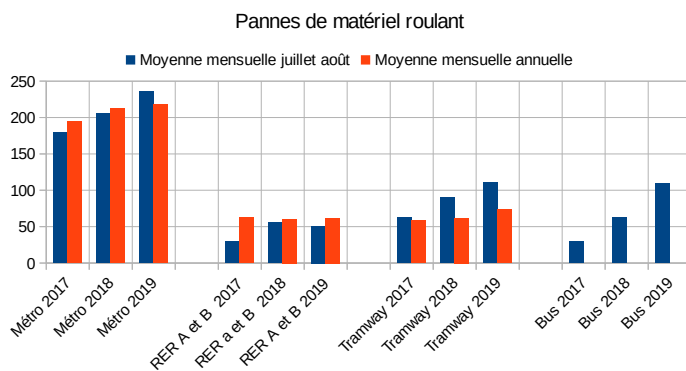
Si les impacts sur les installations ont été relativement limités en raison des mesures préventives appliquées par la RATP sur les infrastructures et le matériel roulant, les conséquences ont par contre été importantes sur le service avec une augmentation du nombre de kilomètres non réalisés :

- bus et tramways : 15 % (2 % pour cause interne, 13 % pour cause externe dont malaises voyageurs) ;
- métros : entre 3,5 et 5 % ;
- RER A : 18,8 % aux heures de pointe et 3,3 % en heures creuses - RER B : 40,9 % en heures de pointe et 21 % en heures creuses.

3.1.4.1. Un fort impact sur le confort des voyageurs et pour les agents de conduite

Comme on peut le voir, (figure 14), c'est le réseau aérien, bus et dans une moindre mesure tramway, qui ont accusé la plus grande augmentation de pannes matériel durant l'été 2019 par rapport à 2017 et 2018.

²² Par exemple, le 26 juillet 2019, dans le Nivernais, alors que le train intercity Clermont-Ferrand-Paris a accusé 12 heures de retard, les pouvoirs publics locaux, malgré plusieurs sollicitations des salles de crise territoriales et régionales, n'ont pas donné suite aux demandes de prêt du gymnase et d'avitaillement des voyageurs en eau.



Malaises voyageurs (malades et blessés confondus)



Figure 14 : comparatif 2019 -2018-2017 des pannes de matériel roulant et des malaises voyageurs en moyenne mensuelle quelle que soit la cause selon le mode (source RATP).

Si les malaises voyageurs ont une légère tendance à la hausse l'été ces trois dernières années, ils restent inférieurs, tous modes, à la moyenne mensuelle annuelle du fait de la moindre affluence.

Le parc matériel de la RATP est ventilé soit de manière naturelle par des lanterneaux en toiture, soit par une ventilation mécanique forcée (circulation d'air non refroidi), soit par une ventilation réfrigérée (rafraîchissement de quelques degrés de l'air extérieur qui est ventilé à l'intérieur des rames) : annexe 7.3 , « taux d'équipement de rafraîchissement du matériel roulant RATP en 2019 et dans le futur ». En 2019, sont équipés en ventilation réfrigérée 100 % des sept lignes de tramways, 90 % des RER A et B (le reste du RER B en ventilation mécanique forcée), cinq lignes de métro sur 17 (cinq autres en ventilation mécanique forcée et les sept autres en ventilation naturelle) et enfin 5 % des autobus (plus 1 % avec climatisation allégée et le reste en ventilation mécanique forcée).

En cas de canicule, l'ouverture des portes de tramways est limitée et les trains, RER et métros sont refroidis ponctuellement par lavage ou arrosage, les trains garés sont maintenus avec ventilation active et sur le RER, les trains longs sont conservés en heures creuses pour éviter une densité trop forte.

Les températures estimées dans les bus sont montées jusqu'à 55 °C. 64 conducteurs ont exercé leur droit de retrait et vingt-et-un ont été victimes de malaise. Quatre conducteurs de métro ont temporairement cessé leur service et trois ont subi des malaises. L'aménagement de travail pour les personnes exposées à la chaleur (conducteurs de bus) a conduit à des réductions de service.

Suite aux décisions de rénovation et de renouvellement de matériel prises par Île-de-France Mobilité, le parc de la RATP sera équipé en ventilation réfrigérée :

- à hauteur de 70 % en 2027 et 90 % à échéance 2030 pour le métro ;
- à 100 % pour les RER A et B en 2022 ;

La climatisation sera généralisée sur tous les autobus neufs mis en exploitation à partir de 2020 : d'ici fin 2025, 75 % du parc bus sera climatisé.

La mise à l'ombre des matériels RER et métros sur les zones de garage a été étudiée mais abandonnée car techniquement compliquée²³ et coûteuse au regard du nombre d'événements caniculaires à ce jour.

Les températures dans les stations souterraines sont légèrement plus fraîches qu'à l'extérieur et moins sujettes aux variations durant les pics de chaleur 14-17h (le 25 juillet, 35,2 °C enregistré à la

²³ Surface nécessaire pour une rame de 10 mètres de long sur 15 mètres de large.

station Franklin Roosevelt contre 42,6 °C à l'extérieur, soit sept degrés d'écart). Lorsque les températures nocturnes ne permettent pas de faire baisser la chaleur des espaces, la RATP peut procéder à une activation des ventilateurs sous tunnel, afin de rafraîchir les stations de métro, en activant les échanges d'air.

3.1.5. Réseau et services de transport urbain de province : un impact sur le nombre d'incidents, le confort des voyageurs et les agents de conduite des bus non climatisés

Les mêmes types de désordres que pour les trains peuvent se produire pour les tramways, sachant que la vitesse y est plus faible, créant moins de contraintes dans le rail. Les lignes aériennes de contact sont impactées de façon similaire. Les voies d'autobus peuvent subir des orniérages suite aux fortes chaleurs, comme vu précédemment (chapitre 3.1.1.1.)

3.1.5.1. Impact sur le réseau et les services de transport collectif urbain de province

Le manque de réponse des autorités organisatrices de transport ne permet pas à la mission de faire un bilan de ces épisodes caniculaires (une seule métropole a répondu). Elle s'appuie donc sur cette réponse, les entretiens avec les organisations professionnelles et la lecture de la presse régionale.

L'analyse des causes de dysfonctionnements faite par la métropole bordelaise, montre qu'il existe une nette corrélation entre température et nombre d'incidents : il y a plus de dysfonctionnements du tramway et d'interruptions de service pour des problèmes d'alimentation électrique par le sol en centre-ville, et d'alimentation par caténaire en dehors (rupture de ligne). À Nancy, la métropole a arrosé le rail de guidage central du tramway sur pneus et les voies de roulement avec deux camions- citernes pour diminuer la température, et éviter, comme en 2011, un déraillement (ce tramway, de conception obsolète doit être remplacé d'ici 2023).

3.1.5.2. Impact sur le confort des voyageurs et des agents : un sujet émergent

Les services de transport des métropoles, qui commencent tout juste à s'intéresser à l'impact des températures sur l'aspect opérationnel des services suite aux canicules de 2019, ont mis en place un groupe d'échange axé sur la manière de gérer les voyageurs et les conditions de travail des agents par très forte chaleur (*annexe 8 : mesures prises sur les réseaux urbains de province durant les canicules*).

Dans la métropole de Lille, certains chauffeurs de bus ont décidé d'exercer leur droit de retrait le 25 juillet (plus de 40 °C à Lille). Les bus ne sont pas climatisés et les températures dans les postes de conduite pouvaient dépasser les 50 °C. Dans les bus climatisés (Bordeaux), la température a atteint jusqu'à 30 °C à l'intérieur. Une augmentation des pannes de climatisation des tramways a pu être observée, les systèmes étant sur-sollicités. La métropole bordelaise a reçu un pic de réclamations axées sur les problèmes de climatisation et de température. À Clermont-Ferrand, le système de climatisation des 25 rames de tramways de la ligne A n'a pas supporté la chaleur le 26 juin (pointe à 40,9 °C) ce qui a conduit à une défaillance du système de refroidissement des moteurs et à l'arrêt total du service.

L'enquête de l'Union des transports publics et ferroviaires (UTP) « *le parc de véhicules de services urbains au 1^{er} janvier 2018* », sur les rames affectées des 139 réseaux urbains qui ont répondu (y compris RATP) montre que :

- le mode guidé (métro, tramways, RER) compte 22 % de rames climatisées et 29,8 % de rames réfrigérées ;

- les autobus sont équipés à 48 % de système de climatisation et 27 % d'air réfrigéré.

L'augmentation du coût d'exploitation de matériel climatisé (la climatisation est très consommatrice en énergie) associée pour les autobus à la faible efficacité du refroidissement et à la contribution à l'augmentation de la température en milieu urbain, conduit les autorités organisatrices de mobilité, selon leur positionnement géographique, à des choix différenciés (quasi totalité des bus climatisés à Bordeaux contre 1 % du parc à Paris).

3.1.5.3. Services d'autocars

Deux Régions seulement ont répondu à la mission. Selon la Fédération nationale des transports de voyageurs (FNTV)²⁴, les canicules de l'été 2019 ont surtout eu des conséquences sur l'organisation interne des entreprises de transport routier de voyageurs²⁵.

En termes de confort pour le voyageur, comme pour le transport urbain, le taux d'autocars²⁶ climatisés est lié au positionnement géographique des entreprises mais aussi au type de transport. Si les autocars de tourisme ou longue distance sont systématiquement climatisés, il peut ne pas en être de même par exemple pour le transport scolaire, exercé hors période de chaleur. Pour 75 % des autorités organisatrices de mobilité adhérentes de la FNTV, il n'y a pas de demande automatique de véhicules climatisés dans les cahiers des charges de leurs marchés (par exemple, demande quasi-systématique dans le Sud-Ouest, contrairement à la Picardie²⁷). Lors du renouvellement de leur parc, 71 % des adhérents choisissent des autocars climatisés.

Il n'y a pas eu de hausse des réclamations clients en lien avec les canicules et aucun droit de retrait de conducteur n'a été signalé : la température semble plus supportable du fait de la vitesse, de la moindre densité de voyageurs et du moindre nombre d'arrêts. Le système de ventilation (réfrigérée ou non) semble s'avérer être plus efficace que dans les bus.

3.1.6. Transport collectif : réflexions menées, recommandations et indicateurs

3.1.6.1. Des pistes d'amélioration lancées par la SNCF et la RATP suite aux épisodes caniculaires

▪ **Suite à son Rex, la SNCF a d'ores et déjà lancé trois axes d'amélioration** (annexe 9.1 : détails des axes d'amélioration lancés par la SNCF suite au REX 2019) :

. *La conception des installations et des matériels et la résistance des composants et systèmes à la chaleur et aux effets cumulatifs de longues périodes de chaleur et sécheresse : plan de sécurisation des postes et installations de sécurité critiques, poursuite de la révision des normes pour la voie et les installations, identification des points vulnérables sur les ouvrages d'art et professionnalisation des acteurs dans la gestion de la végétation. Elle travaille en collaboration avec le milieu de la recherche.*

²⁴ Fédération qui rassemble les entreprises de transport routier de voyageurs (autocars) : transport scolaire, interurbain, inter régional, occasionnel et touristique, à la demande et librement organisé.

²⁵ Par exemple, les horaires des ateliers de maintenance ont été adaptés aux températures extérieures et des bouteilles d'eau et des brumisateur ont été mis à la disposition dans les ateliers et pour tous les conducteurs.

²⁶ Autobus : véhicule qui ne peut circuler qu'en zone urbaine à vitesse réduite, avec des arrêts fréquents et où les passagers peuvent voyager debout. Un autocar est un véhicule spécialisé pour l'interurbain ou la longue distance : les clients doivent être assis avec une ceinture de sécurité.

²⁷ En Région Centre-Val de Loire 57 % des cars exerçant sur des lignes régulières sont climatisés, et 100 % sur les lignes ex. Ter, et la Région prévoit désormais systématiquement 100 % de climatisation à l'occasion du renouvellement des contrats.

. *La prévention, basée sur un dispositif de campagne saisonnière déjà en place et qui a fait ses preuves.*

. *Le volet opérationnel en évitant d'exposer les clients aux risques de fortes chaleurs, avec une réponse graduée de mesures de prévention aux alertes émises par Météo-France, un travail sur l'organisation de la chaîne de réparation des groupes de climatisation, la création d'un groupe de travail spécifique aux matériels roulants les plus sensibles aux fortes chaleurs et la mobilisation des moyens d'intervention sur les plages critiques entre 16 et 22 h (pic de chaleur puis de trafic).*

▪ **Suite à cet épisode caniculaire, la RATP a engagé de nouvelles pistes :**

. *traitement thermique des locaux recevant des équipements sensibles ;*

. *étude de la possibilité pour le réseau de surface d'interrompre l'exploitation selon les heures ou par tronçon en cas de canicule prolongée ;*

. *mise en place de mesures plus poussées avec des détecteurs sur rails sur le RER A et B ;*

. *surveillance des ouvrages d'art et prise en compte des nouvelles températures pour le dimensionnement des appareils d'appui lors des régénérations ou constructions de nouveaux ouvrages ;*

. *établir un plan canicule formalisé (en cours d'élaboration) ;*

Le dérèglement climatique est intégré aux travaux sur le management du risque dans le cadre de la cartographie des risques du groupe.

La mission ne peut qu'encourager de tels axes d'amélioration.

- **L'exemple des pays européens et les réflexions de l'Union internationale des chemins de fer (UIC)**

Il ressort de l'enquête de la direction générale du trésor (DG Trésor) sur le retour d'expérience des épisodes caniculaires sur le transport collectif en Suisse, au Portugal et en Italie que tous ces pays sont confrontés aux mêmes effets de la température sur leur réseau qu'en France (*annexe 9.2 : Retour d'expérience des canicules sur les réseaux de transport ferroviaire et urbain en Europe*). L'exemple le plus intéressant est celui des chemins de fer fédéraux suisses (CFF) lors des canicules 2019 qui ont été beaucoup plus affectés qu'en France : 40 % des voyageurs ont subi un retard sur les grandes lignes et 25 % ont eu leur train annulé. Les CFF ont arrosé les voies à l'aide d'un wagon-citerne pour éviter le flambage des rails sur les doubles voies en fonctionnement (moins 20 °C en quelques minutes) et peint en blanc les voies de chantier. Ils envisagent aujourd'hui de remplacer les traverses bois par des traverses béton, plus lourdes et plus résilientes, comme le fait systématiquement SNCF Réseau en France, mais cela pose problème du fait de la nature de leur sol. Ils vont expérimenter sur un tronçon de 600 mètres, à partir de juin 2020, une nouvelle peinture blanche, un isolant comprenant des microbilles de céramique mélangées à un liquide blanc, qui pourrait baisser la température du rail de cinq à sept degrés.

Enfin, ils envisagent d'augmenter « la température de neutralisation », c'est-à-dire la température à laquelle le long rail soudé est considéré à sa longueur de référence et peut être posé et ajusté, permettant la dilatation/rétraction dans une plage de température définie. Augmenter cette température de neutralisation induit une augmentation de la température limite basse, ce qui présente un intérêt limité pour la Suisse, dont les rails sont plus affectés l'hiver que l'été.

Pour éviter les déformations de voie, la température de neutralisation dans les pays subissant de très hautes températures et des hivers tempérés est plus haute.

Selon l'*International Union of Railways* (Union internationale des chemins de fer : UIC), la stratégie poursuivie par l'Espagne pour lutter contre les phénomènes caniculaires consiste à adapter, selon les caractéristiques météorologiques de chaque région, la température de neutralisation. L'Espagne est

en effet composée de régions au climat très différencié. Des dilatations de rail continuent néanmoins à être observées en période de canicule, du fait des grandes plages de variation de température été/hiver. La tournée de réglage des tensions des caténaires est organisée jusqu'à trois fois par an sur les lignes à grande vitesse afin d'adapter la tension en fonction de la température à venir, ce qui a un coût en termes de maintenance. Son réseau ne représente cependant qu'environ la moitié du réseau français.

L'Espagne expérimente l'utilisation de l'intelligence artificielle pour arriver à visualiser les mouvements de talus grâce à la comparaison de relevés réalisés entre le passage de deux trains commerciaux.

Toujours selon l'UIC, le constructeur espagnol a vendu à l'Arabie Saoudite des rames TGV résistant à des chaleurs extrêmes pour un coût de l'ordre de 10 % plus élevé qu'un matériel usuel.

L'armée dispose de composants électriques et électroniques permettant de résister aux températures extrêmes : la technologie existe mais a un coût. À mi-vie, (vers 15/20 ans), les trains font l'objet d'une réhabilitation complète. Installer de nouveaux composants plus résistants serait alors encore plus coûteux que les 10 % lors de la conception. Les remplacer dans les postes d'aiguillage est extrêmement complexe et très onéreux du fait de la nécessité d'interrompre le trafic durant les travaux.

3.1.6.2. Propositions et recommandations de la mission pour le transport collectif

En complément, et en appui de la demande ou des propositions de la SNCF, d'autres actions peuvent être menées.

→ Propositions

- **généraliser les conventions d'assistance entre l'État et la SNCF** afin de pouvoir bénéficier dans certaines zones identifiées en rase campagne, lorsque la situation l'exige, d'un appui des services de l'État dans la prise en charge de potentiels « naufragés du rail ». La SNCF pourrait aussi bénéficier de son appui²⁸ en cas de difficultés pour assurer le débroussaillage/abattage d'arbres au printemps dans certaines zones très sensibles aux départs de feu ;
- **suivre le résultat de l'expérimentation menée en Suisse** de peinture des flancs de rails en blanc (peinture avec un isolant qui comprend des microbilles de céramique mélangées à un liquide naturel blanc), qui permet de diminuer la température à l'intérieur du rail, afin d'éviter leur dilatation au moment de la pose dans la perspective d'élargir la période de travaux (interdits du 15 juin au 15 octobre). Expérimenter cette peinture sur les zones sensibles identifiées comme à risque dans les régions du sud, plus touchées par les très fortes chaleurs (SNCF) ;
- **mettre en œuvre le dispositif mis en place par la SNCF lors des grèves** de décembre/janvier 2019 aux périodes de crise caniculaires (et tempêtes et inondations) avec transmission en temps réel au centre ministériel de veille opérationnelle et d'alerte (CMVOA) et aux entreprises ferroviaires de l'état, des circulations du réseau à partir des mains courantes (coupures et ralentissements), avec une carte dynamique en J+2 qui permet aux entreprises ferroviaires d'adapter leur plan de transport et de le communiquer aux voyageurs la veille (trains annulés...) ;
- **maintenir et développer le dispositif qui a fait ses preuves de diffusion de bulletins d'alerte sur tous les réseaux** par l'État, la SNCF, la RATP et certains autres exploitants (réseaux de province) en cas de vigilance rouge, conseillant d'éviter tous déplacements lorsque cela s'avère possible.

²⁸ Par exemple en Bourgogne Franche-Comté (opposition des riverains et associations).

. En 2014, l'UIC a créé un groupe de travail regroupant plusieurs pays européens (dont la SNCF) pour réviser les normes en fonction du climat à venir. Il n'a jamais abouti, faute de trouver un scénario climatique pérenne : savoir que la température moyenne d'une région comme le sud-ouest de la France par exemple, va augmenter de 2 °C, ne permet pas de connaître la température minimale et maximale. Désormais, l'UIC travaille sur l'amélioration de la résilience du système : réagir plus vite en cas de défaillance par des systèmes d'alertes, modifier et adapter les règles de surveillance et de maintenance en fonction des évolutions climatiques. Être souple et savoir s'adapter, anticiper : l'UIC a décidé de faire le point tous les cinq ans sur les adaptations à prendre en compte en termes de matériel, d'infrastructures et d'exploitation avec les pays adhérents. Elle vient aussi de lancer avec huit pays européens, dont la SNCF, un projet d'étude sur l'évaluation des risques des longs rails soudés en fonction des impacts climatiques et des méthodes de pose et maintenance.

En France la température de neutralisation est de 25 °C sur tout le territoire, ce qui permet d'absorber une température à l'intérieur du rail entre -20 °C et +65 °C (45 °C de température extérieure correspond à environ 65 °C à l'intérieur du rail avec l'effet rayonnement du soleil). Le système de surveillance/maintenance préventive voies et systèmes de traction est le même partout, ce qui, pour la SNCF, simplifie la mise en œuvre qui reste très complexe. Les voies sont régénérées par tronçon tous les 30 à 40 ans (et plus pour les voies à faible trafic UIC).

Aujourd'hui, dès qu'une température de 57 °C est atteinte au cœur du rail témoin, la RATP applique une limitation de vitesse sur son réseau aérien RER, métro ou tramway. La pose des capteurs avec relevé centralisé permettrait d'optimiser la gestion des ralentissements en Île-de-France.

Recommandation 3. Étudier l'adaptation de la température de neutralisation de pose des longs rails soudés à l'occasion de chaque régénération de voie et des modalités de surveillance et de maintenance dans l'optique d'une différenciation selon les grandes régions climatiques (SNCF). Continuer à instrumenter le réseau ferroviaire aérien pour mesurer les défaillances en temps réel et pouvoir mettre en place une réponse graduée de mesures de prévention -ralentissement- (RATP).

. Le choix d'une ventilation réfrigérée plutôt qu'une climatisation est justifié par le fait que la climatisation est très énergivore (engagements climatiques et coût d'exploitation). Celle-ci est peu efficace dans le milieu exigü des tunnels du métro et cause des problèmes de restitution d'énergie. Il est par ailleurs peu efficace de réfrigérer ou climatiser des bus en raison de l'ouverture fréquente des portes et de la forte chaleur humaine en cas d'affluence. La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte impose aux autorités organisatrices de transport de renouveler leurs flottes de bus et autocars par des véhicules à faible niveau d'émission²⁹ à hauteur de 50 % des acquisitions d'ici 2020 et 100 % en 2025³⁰. À noter la difficulté de conjuguer bus électriques et climatisation : l'importance des batteries nécessaires nécessite une diminution de la capacité d'emport de l'autobus. Le vitrage athermique qui réfléchit le plus possible d'infrarouges, responsables de l'échauffement, renforce l'efficacité de la climatisation, qui peut donc fonctionner à une puissance moindre (pose hors pare-brise du chauffeur).

Compte tenu des températures observées dans les cabines de bus non climatisées lors des épisodes caniculaires (plus de 55 °C) - qui sont appelés à se multiplier et à durer dans le temps-, des mesures doivent être prises pour les diminuer et assurer les services.

²⁹ À gaz, hybrides, électrique, éthanol, nouveaux carburants (biodiesel), etc.

³⁰ La durée d'exploitation moyenne en France est, aujourd'hui de 15 à 17 ans selon TRANSBUS (portail des transports collectifs et des nouvelles mobilités).

Recommandation 4. Rendre obligatoire la climatisation du poste de conduite des cabines d'autobus, à l'occasion des renouvellements de parcs (MTES).

Par ailleurs, il s'agira de favoriser les vitrages athermiques pour les bus et autocars et tous aménagements urbains propres à rafraîchir l'usager (brumisateurs, fontaines à proximité des arrêts de bus). Les autocars ne disposent pas de cabines de conduite, non adaptées à leur mission : le conducteur doit pouvoir facilement descendre de son véhicule (bagages, personnes à mobilité réduite). Il s'agira de sensibiliser les autorités organisatrices à prendre en compte dans leurs cahiers des charges, lors du renouvellement de leurs marchés ou délégations de service, une climatisation ou un système de ventilation efficace selon l'activité ciblée.

3.1.6.3. Propositions d'indicateurs pour le réseau ferroviaire

- pour la RATP : le nombre de kilomètres non réalisés pour les bus, tramways, métros et RER en heures creuses et de pointe ;
- pour la SNCF : le nombre de minutes perdues au-delà de cinq minutes par semaine en fonction de la nature des incidents liés à la canicule d'une part et leur répartition chaque jour de la canicule selon l'activité : TGV, TER, Transilien, fret, Intercité.

3.1.7. Aucun effet visible sur le trafic aérien, quelques impacts très ponctuels sur les infrastructures aéroportuaires

3.1.7.1. Impact sur les infrastructures et le trafic aérien

L'impact des fortes températures peut concerner plusieurs domaines : une moindre portance des avions, une limitation opérationnelle de certains aéronefs, une défaillance du réseau électrique (et notamment de navigation aérienne), ou encore des effets de retrait-gonflement d'argile (annexe 10.1 : « principaux désordres pouvant survenir sur les infrastructures et le transport aérien du fait de canicule ou sécheresse »). Les épisodes de canicule du 25 au 30 juin puis du 21 juillet au 26 juillet 2019 ne semblent pas avoir eu d'impact majeur sur la ponctualité des modes aériens intérieurs, moyen-courriers et long-courriers au départ de la France (figure 15).

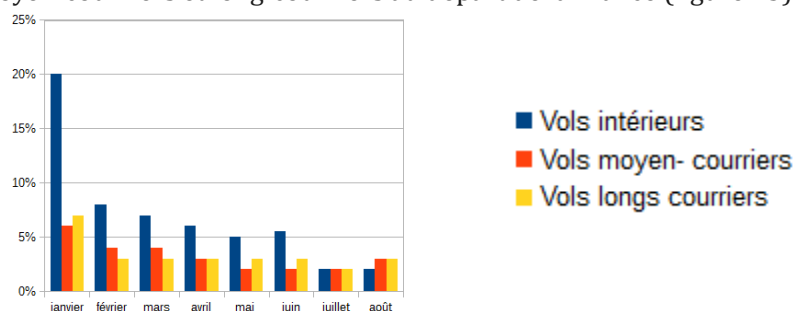


Figure 15 : évolution mensuelle de la proportion de la cause de retard au départ « météo et divers » pour 2019 pour différentes typologies de vols (source : Autorité de la qualité de service dans les transports - AQST - décembre 2019).

Il n'est pas observé d'augmentation importante de la proportion des retards au départ liés aux causes « météo et divers » aux mois de juin et juillet 2019. Ce constat est identique pour l'ensemble des catégories de vols, à l'exception des vols intérieurs en juin 2019, probablement à cause de la tempête Miguel ce même mois.

Aucun incident de nature électrique n'a été signalé. L'accidentologie est restée stable en aviation générale (contrairement à l'été 2018 notamment chez les pilotes de plus de 70 ans), certains aéro-clubs ayant émis des consignes de ne pas voler aux heures les plus chaudes de la journée.

En termes d'infrastructures aéroportuaires, en dehors de l'aéroport de Bâle-Mulhouse qui a constaté des impacts sur les structures béton des pistes et sur les enrobés des taxiways (fissures et affaissements), aucun désordre n'a été signalé. Ces infrastructures semblent résilientes, à condition d'avoir été correctement dimensionnées et d'être bien entretenues.

Différentes mesures d'exploitation ont été mises en œuvre pour le confort des passagers et du personnel (plan canicule) (*annexe 10.2: mesures mises en œuvre pour pallier aux fortes chaleurs*).

3.1.7.2. Infrastructures aéroportuaires et trafic aérien : propositions d'actions et d'indicateurs

L'aéroport de Bâle-Mulhouse s'est engagé dans l'adaptation du plan de maintenance des infrastructures aux évolutions climatiques à venir.

L'indicateur de suivi des impacts proposé est l'évolution mensuelle de la proportion de la cause de retard au départ « météo et divers » pour différentes typologies de vols.

3.1.8. Plus de la moitié des canaux gérés par VNF ont fait l'objet de restriction ou d'arrêt de la navigation en 2019 pour insuffisance d'eau

3.1.8.1. Impact sur les infrastructures et le transport fluvial

Voies navigables de France (VNF) gère la ressource et le maintien des niveaux d'eau sur son réseau afin de garantir un mouillage³¹ pour la navigation et pour l'ensemble des usages de l'eau. Il dispose d'un réseau composé à la fois de rivières canalisées régulées par des barrages, itinéraires le plus souvent à grand gabarit où se concentre le transport fluvial de fret, et de canaux dont certains sont principalement utilisés par la navigation de tourisme. Les canaux sont alimentés en eau, généralement à leur bief de partage, à l'aide de 50 barrages réservoirs appartenant à VNF, qui viennent en complément de prises d'eau dans les rivières (habituellement utilisées en fin de saison estivale).

Lorsque le niveau de mouillage (hauteur d'eau) définit par arrêté de police ne peut être garanti, VNF prend quatre types de mesures d'exploitation, dont les effets sont gradués : regroupement des bateaux de plaisance pour le passage des écluses, limitation de mouillage (baisse de la hauteur d'eau garantie : la navigation se fait aux risques et périls des bateliers), fermeture à la navigation et enfin évacuation des biefs.

Le déficit de précipitations depuis l'automne 2018 a eu deux impacts : le non-remplissage des barrages réservoirs au maximum de leur capacité avant l'été et, dès le début de la saison, le déploiement d'arrêtés de restriction de prélèvement. Au 9 octobre 2019, 84 départements étaient concernés par au moins un arrêté préfectoral limitant certains usages de l'eau (*annexe 11.1 : carte du cumul des arrêts de restriction et d'arrêts de navigation pour insuffisance d'eau*).

Ce sont ainsi **plus de la moitié des canaux gérés par VNF qui ont fait l'objet de restrictions ou d'arrêts de la navigation pour insuffisance d'eau en 2019** (et aucune restriction de navigation sur les rivières). Au 1^{er} octobre 2019, le taux de remplissage des barrages réservoirs était bien en-dessous des moyennes de ces dix dernières années (41 %).

³¹ Mouillage : hauteur d'eau disponible.

Le bilan des quatre dernières années (figure 16) montre une augmentation très significative du nombre de jours de restrictions ou d'arrêts de navigation pour insuffisance d'eau.

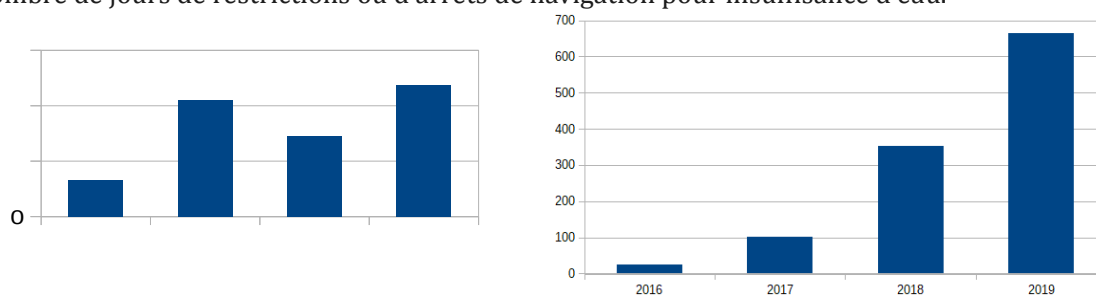


Figure 16 : Nombre de jours de restrictions (figure 19-1) et d'arrêts de navigation (figure 19-2) pour insuffisance d'eau sur les canaux sur les années 2016 à 2019 sur la période d'ouverture des canaux du 1^{er} mai au 31 août (source : VNF)³².

Par ailleurs, le cumul de la sécheresse (baisse des débits) et des hautes températures de l'eau a entraîné une augmentation significative d'espèces invasives (algues) qui gênent la navigation, abîment le moteur des bateaux et les ouvrages de VNF (par exemple les portes d'écluses), mais aussi contribuent à l'envasement et à la mortalité piscicole.

La sécheresse peut aussi avoir comme effet des désordres sur les talus : l'assèchement des ouvrages en terre (berges) peut entraîner une rupture de talus si l'étiage est trop bas. Les DREAL ont tenu compte de ce risque en 2019 et accepté d'aller au-delà du débit réservé : aucun désordre n'est à signaler.

3.1.8.2. Infrastructures et transport fluviaux : propositions d'actions et d'indicateurs

VNF a anticipé très en amont (suivi du niveau des réserves des barrages à la sortie de l'hiver puis quotidienne en cas de sécheresse) et mené des actions d'information régulière des parties prenantes. Un ensemble d'études et de travaux sont par ailleurs programmés afin d'optimiser les réserves en eau, minimiser les pertes dues aux fuites et à l'évaporation, et enfin optimiser les conditions de navigation en cas d'étiage. Leur description est faite en *annexe 11.2 : « actions menées par VNF »*. L'ensemble de ces actions (hors plantations et renouvellements d'arbustes) est intégré dans le plan de modernisation pour lequel la loi d'orientation des mobilités (LOM) prévoit 30 millions d'euros par an. Enfin VNF cherche, avec difficulté, à développer un partenariat avec les agences de l'eau pour pousser la recherche dans le domaine des algues invasives.

La mission considère que **ces actions sont importantes et doivent être confortées** dans le contrat d'objectifs et de performances avec l'État.

L'indicateur proposé est le total annuel des jours d'arrêts de la navigation pour insuffisance d'eau sur les canaux (plaisance) et sur les rivières (fret).

3.2. Le réseau de distribution d'énergie électrique

3.2.1. La consommation de la climatisation est bien plus faible que celle du chauffage

Les vagues de chaleur sont de nature à intensifier le recours à la climatisation et donc à accroître les appels de puissance. Des niveaux records de consommation pour une période estivale ont été atteints lors de la canicule de juillet (près de 60 GWh). Pendant l'été, le pic de consommation

³² Aucune restriction de navigation sur les rivières régulées ou canalisées n'a été observée sur le réseau VNF sur cette période.

intervient aux alentours de 12h-13h, que ce soit pendant ou en dehors des périodes de canicule : il n'y a pas de déformation notable de la courbe de charge (figure 17). Le niveau des appels de puissance en été, y compris lors des phases de canicule, est néanmoins bien plus limité qu'en période hivernale (*annexe 12.1 : Appels de puissance*). Lors d'une phase de canicule comme celle de juillet 2019, l'appel de puissance de la climatisation a atteint 8 GW. Il avait été de 40 GW sur certaines heures lors de la vague de froid de 2012. L'effet haussier d'une canicule sur la consommation reste aujourd'hui relativement modéré : 1 °C supplémentaire sur la température moyenne France entraîne une hausse de consommation de l'ordre de 500 MWh contre 2 400 MWh de consommation supplémentaire par perte de 1 °C en hiver. Ce gradient d'été reste difficile à modéliser (*annexe 12.2 : difficultés de modélisation du gradient d'été*), notamment du fait du faible nombre de jours exploitables pour permettre des analyses.

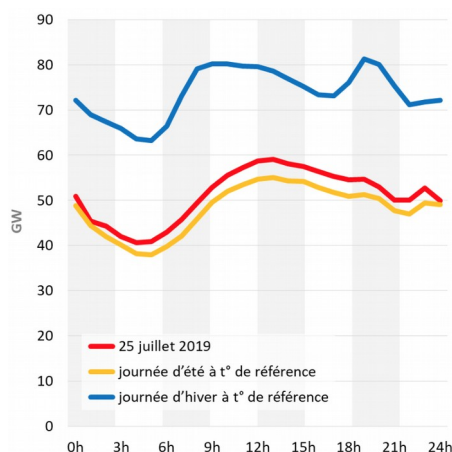


Figure 17 : appels de puissance horaire (source Réseau de transport d'électricité - RTE-).

Le potentiel de développement de la climatisation demeure important, notamment chez les ménages. Dans une vision haute, la consommation de climatisation pourrait pratiquement doubler d'ici à 2035 ; le gradient estival pourrait approcher 1 GW/°C. Sous une hypothèse de canicule de type juillet 2019, la puissance appelée pourrait atteindre 13 GW.

Recommandation 5. Mieux identifier les perspectives de développement de la climatisation pour évaluer l'impact sur la consommation d'énergie (RTE).

3.2.2. La canicule a dégradé la disponibilité du parc de production déjà réduite en été

De manière générale, en été, la disponibilité du parc de production est réduite, et cela concerne pratiquement toutes les filières, sauf le photovoltaïque. À cette baisse saisonnière globale de disponibilité du parc, s'ajoute une dégradation supplémentaire de disponibilité spécifique lors des deux canicules.

3.2.2.1. La production nucléaire

La moindre disponibilité du parc nucléaire (comme thermique d'ailleurs) en été est due avant tout aux arrêts de tranches pour maintenance planifiés par les producteurs (de l'ordre de 3 à 4 tranches

arrêtées en janvier contre 15 à 16 tranches en juillet). Lors de la canicule du mois de juillet, 11 réacteurs ont cependant été concernés par des arrêts ou des baisses de production pour contraintes environnementales (*annexe 12.5 : arrêts ou baisses de production des réacteurs pour contraintes environnementales*). Ainsi, la centrale de Golfech a dû procéder le mardi 23 juillet à la mise à l'arrêt momentané de ses deux unités de production avant l'atteinte de la température de 28 °C en aval de rejets. Les deux réacteurs ont été reconnectés au réseau électrique lorsque la température du fleuve est redescendue naturellement. Le 25 juillet, journée la plus touchée par la baisse de disponibilité du parc, la puissance nucléaire disponible était de 35 GW (figure 18). Le manque à produire lié aux deux épisodes caniculaires de l'été 2019 est de 0,5 TWh, soit de l'ordre de 0,1 % de la production annuelle d'EDF en France.

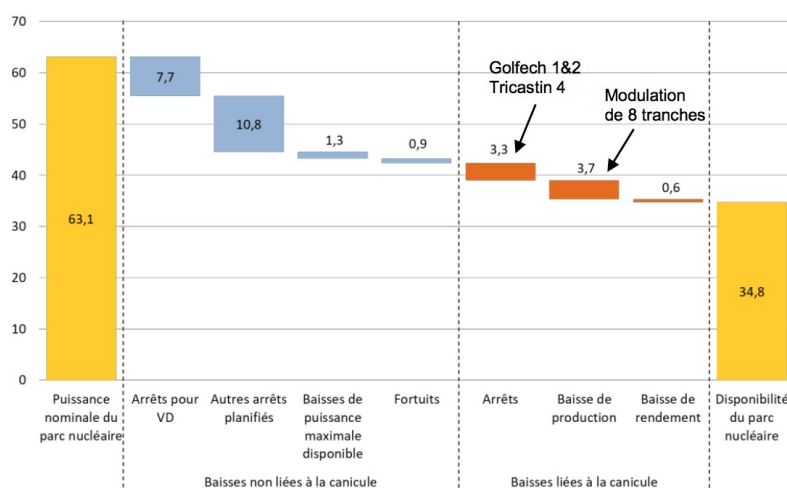


Figure 18 : disponibilité du parc nucléaire le 25 juillet 2019 (source : RTE).

Ces baisses de puissance ou ces arrêts n'ont pas eu de conséquence sur la sûreté du système électrique, ni sur la continuité d'approvisionnement des consommateurs en France. Si tel avait été le cas, des dispositions prévues dans les décisions rejets (*annexe 12.4 : encadrement des rejets thermiques*) auraient permis le maintien de tout ou partie de la production. Le recours à ces dispositions exceptionnelles n'a pas été nécessaire en 2019.

Comme indiqué par la direction générale de la prévention des risques (DGPR), la canicule et la sécheresse 2019 n'ont eu aucune conséquence sur la sûreté nucléaire des installations de production. Aucun dommage matériel n'a été observé. Cependant, à la suite des canicules de 2003 et 2006, EDF a établi, pour chaque type de réacteurs, un référentiel dit « grands chauds » visant à vérifier le bon fonctionnement des matériels importants pour la sûreté (échangeurs thermiques refroidissant l'eau des systèmes de sûreté, groupes électrogènes de secours...) avec des températures de l'air et de l'eau plus élevées (*annexe 12.3 : effets de la canicule sur la production et la sûreté des centrales nucléaires*). Lors de la vague de juin, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) ont demandé à EDF de réaliser sur ses sites des campagnes de mesures des températures. L'analyse est en cours, mais il apparaît d'ores et déjà que les observations de l'été 2019 corroborent les conclusions de l'avis de l'IRSN du 6 mai 2019 dans lequel il recommande qu'EDF revoie sa méthode d'évaluation des températures extérieures à considérer.

➔ **Proposition** : revoir la méthode des températures extérieures à considérer pour la sûreté des installations nucléaires.

3.2.2.2. La production thermique

Des baisses de rendement sur les différentes filières thermiques sont constatées en cas de fortes chaleurs. Ainsi, selon la filière thermique à flamme (centrale à cycle combiné gaz - CCG-, turbine à combustion -TAC-, cogénérations...), la baisse de rendement d'une installation pendant une période de canicule est estimée entre 10 et 15 % de sa puissance nominale et pour l'ensemble du parc thermique à flamme, la baisse de puissance est estimée à près de 1,5 GW. Cette estimation reste à consolider.

3.2.2.3. La production hydraulique

Il n'y a pas eu d'identification claire d'effet canicule sur la production hydraulique lors des deux semaines de vague de chaleur de l'été 2019 (figure 19). Pour une semaine d'été, le principal déterminant de la production hydraulique est le stock hydraulique, pas la température.

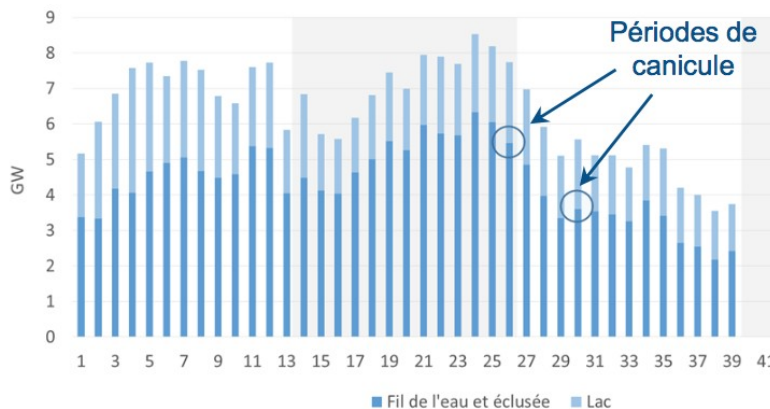


Figure 19 : production d'énergie hydraulique produite en moyenne hebdomadaire (source : RTE).

3.2.2.4. La production éolienne et photovoltaïque

Le facteur de charge éolien moyen a été de 11 % lors de la seconde canicule contre 14 % en moyenne estivale et 29 % en hiver. Cette baisse du facteur de charge est due aux conditions anticycloniques qui accompagnent régulièrement les épisodes caniculaires.

Le facteur de charge du photovoltaïque est en moyenne estivale de 22 % (contre 7 % en hiver). Si lors de la seconde canicule le facteur de charge a été supérieur à celui des précédents étés sur cette même semaine, il a tout de même été inférieur à celui d'un épisode de très fort ensoleillement hors canicule : la production maximale a atteint 6,2 GWh, contre par exemple 7,2 GWh en mai 2019. En effet, le rendement des panneaux photovoltaïques diminue lors de fortes chaleurs.

3.2.3. Les canicules n'ont pas entraîné de difficultés à assurer l'équilibre offre-demande

Le système s'est globalement comporté comme anticipé (*annexe 12.6 : l'équilibre offre - demande au cours des deux canicules*), notamment durant la première canicule. Les baisses constatées de disponibilité sur le parc nucléaire étaient notamment cohérentes avec les hypothèses de l'étude saisonnière de RTE.

Lors de la seconde, on a eu une situation moins confortable qu'annoncée du fait de l'ampleur du phénomène caniculaire par rapport au référentiel climatique.

En effet, si le référentiel climatique utilisé jusqu'à ce jour par RTE intègre une dérive climatique, il est néanmoins insuffisant pour la modélisation des événements extrêmes (canicule), notamment avec un consensus scientifique ces dernières années sur l'augmentation de la fréquence de ces événements. Le nouveau référentiel climatique (Météo-France / RTE) en cours de déploiement (horizon 2025) est adapté à un horizon 5-10 ans, mais considère un événement comme celui de juillet comme exceptionnel.

→ *Proposition* : poursuivre des travaux visant à affiner la modélisation des températures, intégrant le réchauffement climatique.

La projection de la disponibilité de chacune des filières lors des vagues de chaleur est aussi un enjeu fort pour la modélisation prospective du système électrique, et notamment en ce qui concerne :

- les risques de modulation à la baisse ou d'arrêts de tranches nucléaires pour contrainte environnementale,
- les baisses de rendement du parc thermique ou du parc photovoltaïque lors de fortes chaleurs,
- les conséquences des phénomènes caniculaires sur l'hydraulicité.

→ *Proposition* : poursuivre la consolidation de la prise en compte de l'aléa canicule dans la modélisation de la disponibilité des moyens de production.

Les canicules de l'été 2019, ont conduit à des pics estivaux de consommation et à une dégradation de la disponibilité du parc de production. La sécurité d'alimentation a été assurée et le système disposait de marges de production, avec plusieurs moyens thermiques à l'arrêt et des capacités d'effacement qui restaient disponibles. Le fonctionnement du marché européen a conduit la France à être très fortement exportatrice durant la première canicule et majoritairement durant la seconde (importatrice seulement pendant 25 heures avec un maximum d'import de 2 800 MWh).

3.2.4. Les réseaux de transport et de distribution ont été résilients

Le réseau électrique se compose d'un réseau de transport haute tension, au-dessus de 63 KV, dont l'opérateur est RTE, et d'un réseau de distribution haute, moyenne et basse tension, dont l'opérateur concessionnaire est Enedis. Le réseau haute tension alimente en électricité, à partir des points de production, les 2 240 postes-sources qui alimentent à leur tour le réseau de distribution.

3.2.4.1. Les canicules n'ont pas donné lieu à des contraintes spécifiques sur le réseau de transport

Les lignes électriques sont conçues pour des températures maximales de fonctionnement qui vont selon les cas de 45 à 90 °C (source RTE) (*annexe 12.7 : les contraintes thermiques dans un conducteur*). RTE n'a pas connu de difficultés lors des canicules de l'été 2019. Cependant, quand la température extérieure dépasse les 40 °C, il reste peu de marge à l'usage pour une ligne dont la température maximale de fonctionnement est 45 °C. À l'avenir, il conviendra de bien identifier ces lignes (pas de problème avec les autres). L'été, comme il est transporté moins d'électricité qu'en hiver, il y a toujours la possibilité de répartir la quantité d'électricité transportée de manière différente. Des expérimentations sont actuellement conduites pour instrumenter certaines lignes.

→ *Proposition* : développer la télésurveillance du réseau et notamment la mesure de température des lignes électrique et la vitesse du vent³³ pour un pilotage fin du réseau et non plus basé sur des données probabilistes.

³³ Le vent permet d'amoinrir la température.

3.2.4.2. Le réseau de distribution

Alors que, jusqu'en 2015, tous les épisodes de fortes chaleurs s'étaient traduits par de nombreuses défaillances du réseau (c'est-à-dire nécessitant la mise en place d'une gestion de crise à maille suprarégionale), le constat est que le dernier épisode de l'été 2019, pourtant intense, n'a pas entraîné de crise majeure (figure 20). Enedis n'a eu à déplorer aucun incendie lié à son réseau aérien.

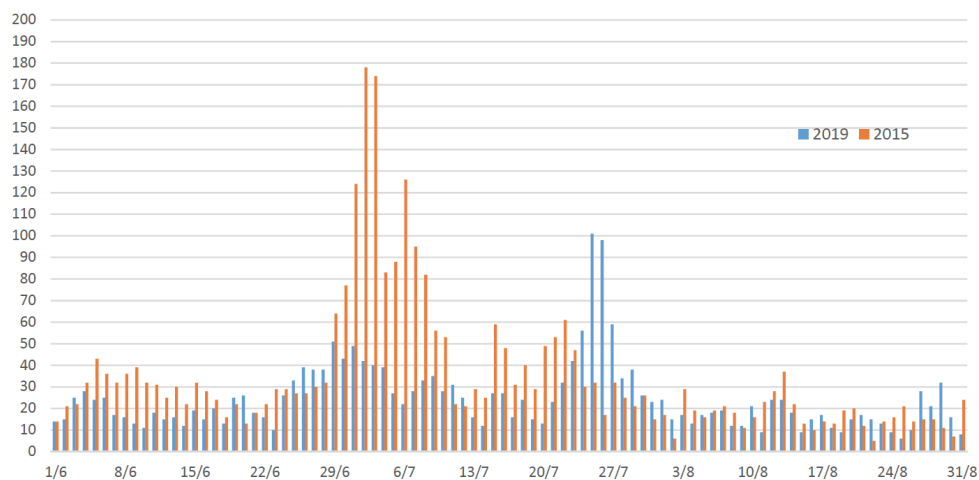


Figure 20 : Nombre d'incidents souterrains des câbles à moyenne tension (HTA) 2015 et 2019 du 1/6 au 31/8 - maille nationale (Source ENEDIS).

La nécessité de renouveler progressivement les câbles à isolation papier (dits « CPI ») posés jusqu'à la fin des années 1970, était apparue après la canicule de 2003 qui s'était soldée par de multiples défaillances du réseau souterrain urbain. Un programme de renouvellement a été lancé à partir de 2008 (*annexe 12.8 : prise en compte par Enedis des conséquences sur le réseau urbain des phénomènes de forte chaleur*).

Ce programme semble donc porter ses fruits, tant par la performance générale du réseau souterrain que par un moindre impact des épisodes de forte chaleur. Il faut noter qu'à ce jour, les câbles modernes à isolation synthétique manifestent peu de sensibilité aux fortes chaleurs, et les projections de dégradation de la performance de ces ouvrages selon différentes lois d'extrapolation, ne font pas apparaître de dégradation significative avant 20 ans.

Par ailleurs, l'usage de la climatisation n'apparaît pas à ce jour déterminant pour le dimensionnement des ouvrages (la pointe d'hiver reste prépondérante) sauf dans certaines zones du pourtour méditerranéen où des progrès ont là aussi été constatés en 2019 par rapport à 2015.

➔ **Proposition** : poursuivre le programme de renouvellement ciblé afin de prévenir toute dérive future jusqu'à éradication du stock de CPI projetée à l'horizon 2040.

3.2.4.3. Proposition d'indicateur pour le réseau de distribution

L'indicateur proposé est le critère B. Il calcule un temps moyen de coupure par client basse tension de la zone géographique considérée. Il s'agit d'un indicateur standard utilisé par les distributeurs au niveau mondial appelé aussi indice de durée moyenne d'interruption du système (SAIDI) (*annexe 12.9 : « le critère B »*).

3.3. Réseaux de distribution des eaux potables et usées

Les contacts et entretiens établis au cours de la mission (Fédération des canaliseurs, Fédération nationale des collectivités concédantes et régies, Fédération professionnelle des entreprises de l'eau) n'ont pas permis de détecter une difficulté globale et inédite, sur les réseaux de distribution d'eau, pouvant être liés aux épisodes de canicules et de sécheresses de l'été 2019 (pas de retour ou de problème signalé émanant de leurs adhérents respectifs). En outre :

- Les phénomènes de rétractation de réseau ont surtout lieu en hiver, avec des itinéraires techniques de résolution au demeurant devenus classiques (remplacements des anciennes fontes grises et des vieux tuyaux en PVC par des polyéthylènes plus souples).
- Les indicateurs font défaut et les tendances ne peuvent être objectivées dès lors que le SISPEA (système d'information sur les services publics d'eau et d'assainissement, banque de données pilotée par l'Office français de la biodiversité (OFB) depuis la loi sur l'eau de décembre 2006) est renseigné de façon non exhaustive par les collectivités.

Il faut dire qu'à la différence des « réseaux aériens » (infrastructures routières, lignes électriques...), les réseaux (généralement souterrains) d'adduction et de distribution d'eau sont moins sensibles aux oscillations thermiques, de sorte que leurs problèmes proviennent exclusivement de ruptures d'approvisionnement.

Celles-ci, fréquentes chaque année (quoique impactant une part extrêmement minoritaire de la population française), sont liées des défauts d'interconnexions de réseaux et de solutions de substitution. Elles ont connu un caractère sans doute accentué en 2019, par exemple sur le bassin Adour-Garonne, dont le retour d'expériences réalisé fin 2019 indique : « l'approvisionnement en eau potable a été tendu sur quasi l'ensemble du bassin Adour-Garonne avec des situations de rupture nécessitant le recours à des solutions d'urgence palliatives importantes dans sept départements (Lot-et-Garonne, Tarn-et-Garonne, Cantal, Ariège, Lozère, Aveyron et Corrèze). À noter l'alimentation par camions-citerne de certaines communes pendant plusieurs semaines consécutives (dans le Cantal et la Creuse notamment). Les besoins financiers pour sécuriser ces secteurs à l'avenir dépassent les cent millions d'euros ».

Le bassin Rhin-Meuse a lui aussi connu des situations inhabituelles d'insuffisance de certaines ressources, pour des collectivités souvent isolées. La durée de la période de sèche 2018-2019 a été un révélateur pour le futur. Un appel à projet spécifique a été lancé par l'agence de l'eau en faveur des collectivités concernées.

Plus généralement ces situations de points noirs et de besoins d'investissements pour sécuriser l'adduction d'eau potable (AEP) sont bien identifiés dans les bassins et départements concernés ; ils mériteraient toutefois d'être quantifiés par des indicateurs spécifiques, permettant de repérer les problèmes, de cibler des objectifs d'amélioration et, in fine, de constater les progrès enregistrés (exemple : nombre et pourcentage des communes concernées par une restriction quantitative, nombre de communes ayant connu une restriction d'usage pour paramètres chimiques dégradés - métaux, arsenic...-, pourcentage des populations concernées par ces restrictions, etc.).

3.4. Impact sur la production industrielle

La mission s'est limitée aux effets de limitation de production industrielle (hors centrales nucléaires vues ci-dessus) suite à la limitation des prélèvements ou rejets d'eau en rivière du fait de la température de l'eau, du faible débit ou du niveau d'étiage très bas.

D'après le rapport n° 012985-01 du CGEDD « *retour d'expérience sur la gestion de la sécheresse 2019 dans le domaine de l'eau* », « *concernant les mesures de restriction des usages industriels, la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) permet de définir des mesures de*

limitation des prélèvements et rejets d'eau, et de vérifier les autorisations des installations fortement consommatrices d'eau et prélevant dans les zones sensibles. Depuis 2004, la consommation globale des ICPE au niveau national a été fortement réduite en application du plan sécheresse. Cette action nationale a identifié plus de 440 ICPE grosses consommatrices d'eau. Deux tiers ont fait l'objet d'une réduction des prélèvements d'eau en cas de sécheresse dont 200 par arrêtés complémentaires. Cela a conduit en moyenne à une réduction de 20 à 30 % des prélèvements soit environ 4 000 m³/jour/établissement. Les mesures concernant les ICPE dans les arrêtés cadres actuellement en vigueur sont donc généralement peu précises : une limitation de la consommation d'eau « au strict nécessaire » ou l'apport d'une preuve qu'une consommation minimum est réalisée, accompagnée d'un bilan des mesures mises en place et des économies d'eau réalisées ».

Selon les situations, quatre niveaux de restriction d'eau (pour tous les usages) sont prononcées par le préfet : vigilance, alerte, alerte renforcée et crise. L'enquête rapide menée par la DGPR auprès des directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement -DREAL- (8 réponses sur 13 dont 1 « sans information ») montre que, malgré des restrictions de prélèvements/rejets d'eau, il n'y a pas eu d'impact quantifiable sur la production industrielle dans six d'entre elles, sauf en Bourgogne-Franche-Comté (à l'échelle du bassin de l'Allan, réduction des prélèvements par les installations classées pour la protection de l'environnement -ICPE- de 70 %), et en Pays-de-la-Loire, (réduction de 33 % de traitement des lixiviats d'une installation de déchets non dangereux). Les bassins dans lesquels étaient situés les sites de Lactalis prélevant plus de 100 000 m³ d'eau ont tous fait l'objet de restriction, dès le mois de février pour le nord de la France. Compte tenu de l'activité liée à des contraintes d'hygiène, ces sites n'ont cependant pas réduit leur consommation d'eau. Certains ont évalué qu'une baisse de production aurait généré des impacts sur l'emploi (chômage partiel), sur le chiffre d'affaires, sur les marques et sur les producteurs de lait.: *annexe 13, « impact sur la production industrielle : retour de l'enquête auprès des DREAL ».*

Le rapport du CGEDD sus-mentionné établit un certain nombre de recommandations pour renforcer l'efficacité du dispositif existant de limitation de l'ensemble des usages de l'eau en période d'étiage.

Pour l'année 2020, la DGPR a choisi, notamment, la thématique de la gestion des situations de sécheresse dans les installations industrielles dans son instruction aux services en leur demandant :

- de lister les principaux préleveurs et consommateurs d'eau ;
- de vérifier si les autorisations de prélèvements des ICPE permettent de répondre aux mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau qui ont été prises par les préfets en application de l'article L. 211-3 du code de l'environnement ;
- d'interroger l'exploitant sur les mesures qu'il met en place lors de ces périodes de sécheresse et vérifier leur applicabilité ;
- de sensibiliser les exploitants lors des inspections ;
- d'interroger les exploitants sur leur effort de réduction de consommation d'eau au cours des cinq dernières années, afin d'identifier si une réflexion convaincante a été mise en place et de pouvoir éventuellement en rendre compte au comité sécheresse-incendies ;
- si les arrêtés préfectoraux ne prévoient pas de mesures spécifiques ou si ces dernières ne sont pas adaptées, proposer aux exploitants de réfléchir à des mesures applicables sur les sites pour ces périodes et adapter les prescriptions par arrêté préfectoral complémentaire.

La mission ne peut qu'être favorable à une telle initiative qui devra déboucher impérativement sur un plan d'action.

4. Biodiversité, milieux et espèces

Malgré des consultations larges, notamment auprès des spécialistes des espèces et des milieux (consultation du conseil national de la protection de la nature (CNP), herpétologistes, entomologistes, OFB, réseau santé des forêts (DSF)...), il a été difficile d'isoler des effets à court terme des canicules et de la sécheresse. Il a été couramment répondu à la mission que les conséquences biologiques d'épisodes climatiques extrêmes (mortalités, réductions de populations, perte de biodiversité, etc.) étaient rarement immédiates et détectables, ne se révélant parfois qu'après plusieurs années d'affaiblissement des milieux impactés.

La mission a choisi de traiter des principaux écosystèmes potentiellement impactés par le stress hydrique, en insistant sur le potentiel d'atténuation que peuvent jouer ces milieux pour réduire l'impact de situations similaires. Seront abordés milieux aquatiques, milieux forestiers et milieux bocagers, suivis d'un focus sur quelques espèces.

4.1. Milieux aquatiques : cours d'eau, milieux humides, tourbières, ripisylves...

Il a été constaté assecs et ruptures d'écoulement, jamais observés avec une telle ampleur dans certains secteurs. Au-delà d'exemples particuliers, la perception la plus globale et objective du phénomène provient du réseau ONDE³⁴, les services de l'OFB ayant parcouru, en 2019, 94 départements pour réaliser 24 446 observations d'écoulement (tous suivis confondus) sur 3 235 stations. Les premiers assecs, (figure 21), sont observés dès la fin mai et se sont amplifiés nettement à partir de juillet et jusque fin septembre (pour atteindre alors 31 % d'observations en assec et 6 % en rupture d'écoulement).

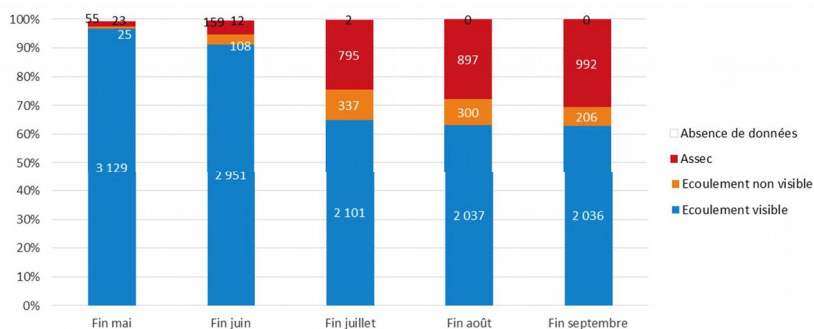


Figure 21 : Évolution des modalités d'observation d'écoulement entre fin mai et fin septembre 2019 sur l'ensemble des stations observées (suivis usuels) source OFB ONDE.

On notera aussi que si les assecs et ruptures d'écoulement étaient peu nombreux jusqu'en juin (et localisés alors dans le Nord et l'Est du pays, ainsi que sur le pourtour méditerranéen), ils furent ensuite observés sur l'ensemble du pays dès la fin juillet et se sont intensifiés après, à l'exception de la Corse, de la côte atlantique, de la pointe de la Bretagne, de la côte normande et des deux Savoie, qui sont restées dans l'ensemble préservées.

Les régions qui ont présenté le plus de ruptures d'écoulement ou d'assecs des petits cours d'eau sont le Centre-Val de Loire, le Grand-Est, la Bourgogne Franche-Comté, les Pays-de-la-Loire et le nord de la

³⁴ L'Observatoire national des étiages (ONDE) est un dispositif d'observations visuelles de l'état d'écoulement des petits cours d'eau métropolitains, réalisées chaque été depuis 2012 (de mai à septembre) par les agents de l'Office français de la biodiversité (OFB). Son atout tient au caractère objectif du constat selon trois modalités d'écoulement du cours d'eau (écoulement visible de l'eau, présence d'eau mais écoulement non visible et enfin assec), qui permet d'apprécier une situation hydrologique (d'un cours d'eau, d'un département) à un moment donné et d'en suivre son évolution.

Nouvelle-Aquitaine, ainsi que les départements du pourtour méditerranéen. **On relèvera en synthèse que la situation 2019 a été la plus défavorable jamais observée fin août depuis la mise en place du réseau Onde (huit années)**. Le réseau a également révélé (figure 22) une intensification (en durée et sévérité) de l'étiage fin septembre sur les quatre dernières années.

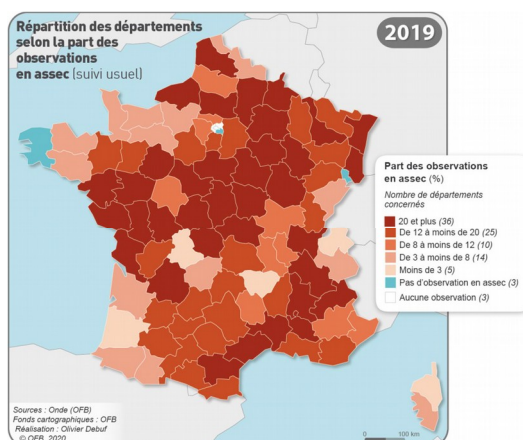


Figure 22 : Part des observations en assec par département en 2019.

4.1.1. Les milieux aquatiques ont été perturbés par la sécheresse

Les impacts d'une sécheresse sont spécifiques à chaque contexte, mais les principales conséquences sur les habitats et le fonctionnement des milieux aquatiques sont :

- la fragmentation des cours d'eau (rupture de leur continuité écologique), qui limite les déplacements des espèces les plus mobiles comme les poissons et bloque leur cycle de vie (exemple des poissons migrateurs) à des périodes critiques ;
- l'élévation de la température, par réduction de la vitesse de courant et de la hauteur d'eau, qui est un facteur de stress et de déséquilibres biologiques (eutrophisation, développement de cyanobactéries, augmentation de la virulence de certains agents pathogènes...)
- la modification de la qualité physico-chimique de l'eau (moins de dilution des polluants) ;
- la modification de la végétation aquatique ;
- l'assèchement des linéaires, entraînant la mort des organismes les moins mobiles (jeunes alevins, certains batraciens, etc.).

Outre les éléments de suivi du réseau ONDE et au-delà du cas des cours d'eau (notamment méditerranéens) subissant des assèchements estivaux courants et « normaux », on sait aussi que ce sont les récurrences des épisodes (2017-2019) qui affectent durablement les milieux. Ainsi, des espèces invasives, comme la Jussie ou certaines écrevisses américaines, trouvent des conditions favorables pour se développer en cas de diminution des populations autochtones. Face aux sécheresses récurrentes, c'est donc l'ensemble du cortège faunistique et floristique qui est modifié, avec une disparition des espèces autochtones les plus sensibles au profit d'espèces tolérantes ubiquistes. Il n'existe toutefois pas de protocole généralisé permettant de dresser un bilan national « espèces » des conséquences de la situation hydrologique sur les milieux naturels, même si les agents de l'OFB ont fait part des exemples suivants :

- une eutrophisation importante et inédite a été notamment observée en région Centre-Val-de-Loire (sur les grands axes fluviaux : Loire, Cher...) et a affecté également certains grands réservoirs (pour la première fois à Naussac, en Lozère) ;

- la forte diminution des débits a engendré des mortalités de poissons et d'écrevisses sur plusieurs secteurs (illustration 2) ;



Photographie 2 : Loches et épinochettes sur l'Aume en aval de Paizay-Naudouin (16), courant août 2019, ©DS16 - OFB-

- les proliférations de cyanobactéries se sont multipliées à partir de juin 2019 dans bon nombre de cours d'eau et plans d'eau, notamment en Centre-Val-de-Loire (Loire, Cher), en Occitanie (Lozère), dans le Grand-Est (Moselle, Orne) et en Nouvelle-Aquitaine (exemple de l'Institution Adour dans les Landes : en 2019, six réservoirs sur dix concernés -contre neuf sur dix en 2017 toutefois-, à la faveur de débits historiquement faibles et de températures de l'eau élevées).

4.1.2. Milieux aquatiques : propositions d'actions

La mission n'avait pas pour but de redéfinir la politique de l'eau, dont les règles communautaires (objectif général de bon état des masses d'eau) et nationales (les usages de l'eau étant très encadrés) constituent un cadre solide. Elle préconise néanmoins un certain nombre d'actions.

→ Propositions

- **Pérenniser, voire renforcer, les dispositifs de collecte d'observations visuelles** de l'état d'écoulement des rivières.
- **S'intéresser à la prolifération des cyanobactéries**, facteur commun d'inquiétudes des populations concernées (du fait de certains usages notamment : eau potable et baignade), ou même de polémiques et mises en cause peu contrôlables (exemple de la Corse en 2018, suite à la diffusion d'un reportage alarmiste sur le sujet).
- **Améliorer la prévision saisonnière des niveaux de nappe et des débits d'étiage**³⁵.
- Utiliser enfin le potentiel d'atténuation des crises affectant les milieux aquatiques, en **confortant et développant les solutions fondées sur la nature -SFN-** (zones humides, tourbières...).

Sur ce dernier point, les avantages et intérêts de ces solutions sont connus, même si leur efficacité reste trop peu quantifiée (elles sont plus mises en valeur pour leur rôle d'atténuation des excès d'eau que comme zones d'expansion de crues). Mais elles peuvent aussi aider à anticiper les déficits en eau (rôle tampon) comme l'illustrent divers exemples, dont les enseignements mériteraient d'être étudiés dans d'autres contextes :

³⁵ La technologie GPRS 7 du réseau piézométrique national, soutenu financièrement par l'OFB, permet une mise à disposition quotidienne des données piézométriques en temps quasi réel sur la majorité des ouvrages, ce qui offre aux DREAL la possibilité de réaliser un bulletin de situation hydrologique (BSH) actualisé à la date d'un comité sécheresse ou d'établir un bulletin prévisionnel (via par exemple l'outil MétéEAU nappes du BRGM). Par ailleurs, les projets de recherche Aqwi-Fr et PREMHYCE financés par l'AFB, désormais OFB, depuis une dizaine d'années deviennent opérationnels et sont pris en main notamment par les services de prévision des DREAL.

- le reméandrage de la Clauge et de ses affluents (traversant les départements du Doubs et du Jura), sujets à de longs assècs, aurait permis de gagner quinze jours d'écoulement ;
- en favorisant l'infiltration avec des aménagements adaptés (de la noue à la haie, en passant par la décompaction des sols), on augmente la recharge des nappes, celle-ci contribuant ensuite positivement aux débits des cours d'eau en étiage ;
- les conditions d'augmentation de la réserve utile des sols (pour une meilleure utilisation de l'eau par les plantes), grâce à des pratiques plus agro-écologiques, font l'objet d'un programme particulier de recherche de l'Institut national de la recherche agronomique et environnementale -INRAE- (Bag'Age), soutenu sur cinq ans par l'Agence de l'eau Adour-Garonne. D'autres pratiques ou recherches sur l'amélioration de la bioclimatologie par tout ce qui est arboré (la réduction du vent permettant de réduire l'assèchement et l'apport d'ombre les rayonnements) ou encore sur la compréhension du rôle des zones humides de têtes de bassin dans le soutien d'étiage (initiative de l'école des mines de Saint-Étienne) sont également à suivre ;
- dans le cadre du projet LIFE³⁶ intégré ARTISAN (convention 2019 pour huit ans, budget total de 16,7 M€, 28 partenaires), porté par l'OFB et visant à lever les freins à la généralisation des SFN pour l'adaptation au changement climatique, plusieurs sites pilotes permettront de quantifier leur efficacité en cas de sécheresse, qu'il s'agisse de la lutte contre les îlots de chaleur urbains grâce aux arbres et espaces verts (à Lyon, Lille et Meaux) ou de la restauration des milieux humides (thématique intéressant le Forum des marais atlantiques et le bassin versant du Néal, en Bretagne).

4.1.3. *Les milieux aquatiques doivent être suivis avec plus d'attention*

La mission a remarqué que les progrès récents en matière de préservation des infrastructures écologiques restaient timides et très localisés (zones humides, tourbières, ripisylves, haies, espaces prairiaux), certaines réussites locales ne se diffusant que lentement : elles mériteraient d'être multipliées à l'échelle nationale.

Par ailleurs, dans un contexte où les crises climatiques devraient s'intensifier (en fréquence et en durée), la mission a pu également constater **la relative fragilité des réseaux de suivi et la rareté des programmes de recherche** dédiés aux impacts du changement climatique sur le vivant (naturel et agricole) et aux solutions permettant de les contenir. Ce double constat semble indiquer une anticipation trop tardive des problèmes ; ce qui justifie d'autant plus une réaction déterminée, inscrivant dans la durée les actions déjà engagées (pérennité et consolidation des réseaux de suivi et des travaux de recherche existants), et soutenant le déploiement de nouvelles initiatives capables de répondre à l'ampleur des problèmes.

4.2. Milieux forestiers

4.2.1. *Constats et effets, une « tempête silencieuse » probable*

La forêt et ses milieux entretiennent une longue histoire avec les événements destructeurs qui les affectent régulièrement. Ainsi, il y a vingt ans, les tempêtes Lothar et Martin (survenues fin décembre 1999, ont ravagé six pour cent de la forêt française, avec un impact particulièrement marqué en Lorraine et en Aquitaine, régions qui totalisèrent alors plus de 40 % des dégâts), puis la tempête Klaus de janvier 2009 (ayant elle, concerné surtout le sud-ouest, avec notamment quatre fois la récolte annuelle du massif des Landes mise à terre), sont encore dans les mémoires.

³⁶ LIFE : acronyme de l'instrument financier pour l'environnement, est un fonds de l'Union européenne pour le financement de sa politique environnementale.

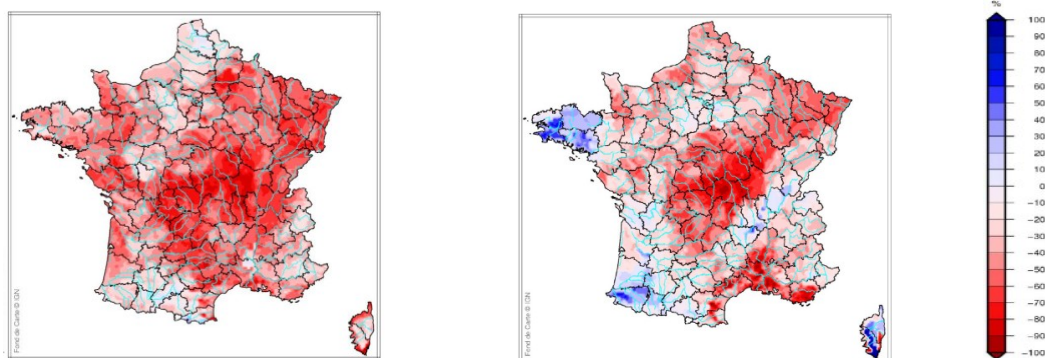
Par ailleurs, la hausse continue des émissions de CO₂ depuis plusieurs décennies, ainsi que celle des températures qui en a résulté, a eu de multiples effets sur la forêt, allant de l'augmentation de la photosynthèse et de la durée de saison de végétation (phénomènes qui stimulent la croissance des arbres) à des diminutions de production de certaines essences (celles qui sont les plus vulnérables au stress hydrique et aux chaleurs estivales), en passant par des crises sanitaires dues à des ravageurs dont la prolifération est toujours sensible aux conditions climatiques.

Sur la base de ces éléments généraux de contexte, la mission s'est intéressée à la forêt en considérant trois entrées plus spécialement liées aux sujets et enjeux climatiques :

- les conséquences des canicules et des sécheresses prolongées sur la gestion forestière (quid notamment des capacités productives de la forêt française à l'avenir ; et quid également des autres fonctions qu'elle assure ?) ;
- les enjeux en matière de feux de forêt (quid de l'aggravation et de l'extension attendues des risques ?) ;
- les rôles dédiés à la forêt en matière de stockage du carbone et de compensation potentielle de ses émissions (quid des initiatives possibles ou attendues dans ce domaine ?).

4.2.2. Pour la gestion forestière, constat qui n'est pas une lapalissade, 2019 vient après 2018...

L'année 2019 fait suite à une année 2018 également critique du point de vue climatique : ainsi, les données Météo-France 2018 et 2019 de l'humidité des sols en fin d'été (figures 23), montre qu'une large part de l'Hexagone, et en particulier certaines grandes régions forestières, a été impactée à deux reprises, même si par ailleurs la situation 2019 a été globalement plus favorable qu'en 2018 (l'intensité du rouge signalant les écarts négatifs, plus ou moins importants à la normale 1981-2010).



Figures 23 : Écart pondéré de la normale 1981/2010 de l'indice d'humidité des sols le 1^{er} octobre 2018 - première carte - et le 1^{er} septembre 2019 - 2^e carte - (source Météo-France).

Il en résulte que le nombre de fiches de dépérissement issues du réseau national d'observateurs de la santé des forêts a augmenté, même s'il est à noter que l'on retrouve dans un passé relativement récent d'autres séquences historiques comparables (succession d'années défavorables).



Figure 24 : Taux annuel de mortalité des plants (source DSF, Ministère de l'agriculture).

Le constat est voisin en matière de plantations, avec des taux de mortalité (2018 et 2019) élevés, mais déjà connus par le passé (figure 24).

Il est difficile sinon de quantifier les conséquences forestières de l'été 2019, d'une part car leur analyse approfondie supposerait des moyens considérables de terrain (si la télédétection permet de repérer les foyers de scolytes, sa précision est relative puisqu'elle ne différencie pas l'épicéa du sapin) et des campagnes d'observation au long cours (ces deux mêmes espèces ayant des réactions décalées).

Sur un plan plus qualitatif, il a été noté en 2019 des phénomènes peu repérés jusqu'à présent :

- des dépérissements inédits de hêtres dans le Grand-Est (pas de débourrement -de développement des bourgeons-, y compris sur de bonnes stations) ;
- des attaques de pins sylvestres par des insectes cambioxyphages (se nourrissant des tissus situés entre l'écorce et l'aubier) ;
- le gril dans le Gard de milliers d'hectares de chênaies (vertes et kermès), en une seule journée, avec un résultat visuel équivalent à ce qui se voit habituellement en fin d'été, en lien notamment avec la réverbération (dans les versants sud à ouest) et les températures extrêmes (près de 46° sous abri et plus de 60° -température létale pour les cellules végétales- à proximité du sol) ;
- et enfin, événement de loin le plus marquant, l'invasion de scolytes (insectes ravageurs) dans les pessières du Grand Est (événement qui s'est développé dès 2018, avec un premier bilan 2020 de 20 000 ha touchés et un pronostic de 40 000 ha pour l'été 2020 dans le scénario le plus optimiste ; à noter qu'en septembre 2019, le phénomène était beaucoup plus massif en Allemagne - 200 000 ha, contre 7 000 ha environ en France au même moment : *annexe 14 « gestion forestière : les conséquences sur la sécheresse »* -).

Au-delà des composantes socio-économiques du secteur³⁷ (et sans parler de ses enjeux écologiques dont l'appréciation pâtit d'une relative absence de données sur la réponse de la biodiversité forestière à la sécheresse - les effets propres d'une canicule sur cette biodiversité sont limités, mais les interactions sécheresse-incendies et sécheresse-pullulations d'insectes ont quant à elles des effets plus importants, surtout en cas de répétition -), il reste une interrogation d'ordre psychologique : qu'en est-il de la capacité productive future de la forêt, si les menaces se conjuguent et si l'on ne prépare pas son renouvellement avec des options économiquement viables pour tous les maillons de la filière ? Et ce, alors même que le bois, en tant que matériau de substitution, est mis à

³⁷ Ainsi, pour ce qui est de l'épicéa affecté par la crise des scolytes, son prix s'est effondré en 2019 et, alors qu'il se vendait 50 €/m³ auparavant, il se négocie actuellement à 20 €/m³ sur pied (quand l'arbre est encore sain ; et à presque rien quand il est mort), dans un contexte de saturation du marché.

l'honneur dans toutes les stratégies visant à diminuer les émissions de GES et la consommation de produits non renouvelables.

La mission recommande de conforter impérativement les outils actuels de suivi des crises sanitaires du département santé des forêts (DSF) du ministère de l'agriculture et de l'alimentation, avec son réseau de suivi sur le terrain.

Il serait primordial de disposer d'une photographie exhaustive, fine et coordonnée, de l'ensemble des forêts françaises, via une couverture LIDAR haute définition, pour accroître la connaissance des mortalités liées aux sécheresses (mission à confier à l'Institut géographique national - IGN - et au DSF, permettant de cartographier en 3 ans l'ensemble du territoire avec un investissement interministériel).

Recommandation 6. Engager dès à présent un suivi cartographique LIDAR haute définition pour accroître la connaissance des mortalités des boisements confrontés aux aléas climatiques, dans un partenariat IGN - DSF.

→ Propositions

- Les aléas climatiques touchant d'autres territoires européens, **un outil de télédétection commun** avec certains pays (Allemagne, République tchèque...) serait à développer.
- **Compléter et diffuser la connaissance forestière** (travaux techniques et de recherche) en matière d'évolution de la sylviculture : « crash-tests » sur la vulnérabilité des forêts de production face aux crises climatiques et sanitaires à venir (dans des territoires et pour des essences à déterminer) et adaptation des techniques de gestion (alternatives à la monoculture ; comparaisons des « résiliences et performances », climatiques ou sanitaires, selon les sylvicultures : irrégulières, jardinées, etc.).

4.2.3. Les feux de forêt

4.2.3.1. Une actualité brûlante en 2019..., surtout dans d'autres pays

La question des feux de forêt est redevenue centrale, du fait de sinistres géants ayant popularisé dans le grand public le phénomène des « méga-feux », caractéristiques toutefois de pays ou régions (Australie, Amazonie, bassin du Congo, Sibérie, Ouest américain), de climats et de milieux naturels très différents des nôtres. Certains d'entre eux ont eu lieu dans des contextes caniculaires ou critiques (très forts vents) et ont été meurtriers dans des proportions rarement atteintes par le passé (plus de 60 morts lors de l'incendie de Pedogroa Grande, au Portugal, en juin 2017 ; une centaine de disparitions en Grèce, en juillet 2018, comme en Californie en novembre de la même année).

La mission a donc examiné la question du risque incendiaire avec ces références en tête et s'est donc attachée à apprécier si la récurrence d'événements caniculaires et de sécheresses extrêmes pouvait un jour produire des dégâts de même ordre, dans notre pays (*annexe 15 : « feux de forêt »*). Elle a constaté, d'une manière générale, que les problématiques et les risques restaient d'une autre nature chez nous :

- le terme banalisé de méga-feu n'a pas de définition stabilisée, les incendies géants américains (plusieurs dizaines de milliers d'hectares, impactant des zones urbaines en interaction étroite avec la nature), à l'origine du concept, différant de sinistres d'étendue bien plus vaste, parcourant des milieux majoritairement non boisées (en Australie notamment, avec des prairies et formations rases de type « savanes sèches », où le feu est

une technique traditionnelle de gestion, intéressant chaque année plusieurs millions d'hectares...);

- en Europe, les espaces ruraux sont caractérisés par des zones peu peuplées (où les villages rassemblent la plupart des habitants en habitat regroupé) et des secteurs touristiques ou périurbains, dont les populations sont couramment dispersées au contact de formations combustibles (ce phénomène de mitage étant très notable à proximité de la Méditerranée). Mais les techniques de construction (matériaux résistants, rendant exceptionnelle la propagation d'un feu urbain de maison à maison) ne sont pas les mêmes que dans les pays où les maisons légères et ajourées sont bien plus sensibles aux projections de brandons enflammés (sur les images venues d'Australie ou en Californie, on voit ainsi des villes dévastées, alors que les arbres situés entre les habitations n'ont pas brûlé !);
- on observe en France une diminution sensible des surfaces brûlées (figure 25), la lutte contre les incendies, ainsi que leur prévention - division par trois des surfaces incendiées depuis 1995 -, bénéficiant des retours annuels d'expérience et de la stratégie opérationnelle de prévention et de lutte décidée à l'époque (guet aérien en particulier, permettant de traiter la plupart des feux en moins de 10 minutes);

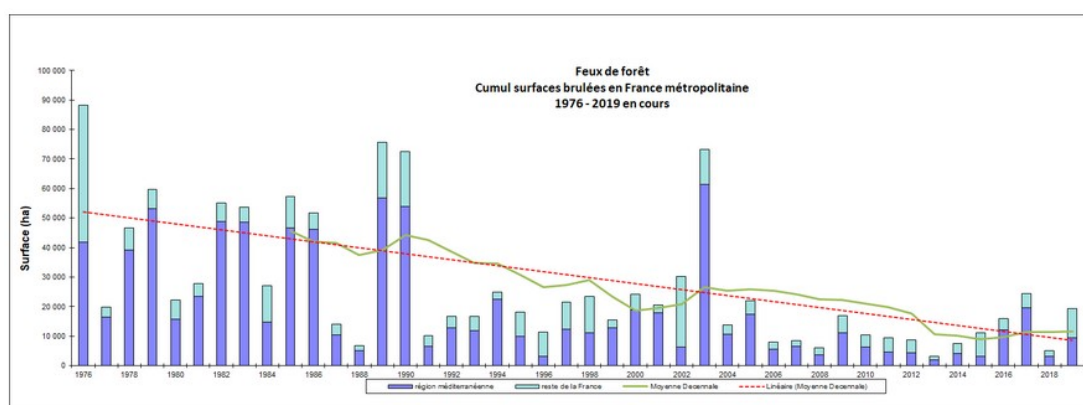


Figure 25 : Feux de forêts, cumul surfaces brûlées en France métropolitaine 1976-2019 en cours (source ministère de l'Intérieur, service de la planification et de gestion des crises).

- ces bilans actuels à la baisse pourraient cependant connaître une inflexion nouvelle à l'avenir, compte tenu des effets du changement global, allant de façon quasi systématique dans le sens de l'aggravation des risques : multiplication des conditions météorologiques propices au feu (combinaison de températures élevées, d'une humidité de l'air faible), extension des zones menacées du fait de l'urbanisation, abandon de pratiques agricoles créant de vastes continuités arbustives). L'extension de l'aléa devrait conduire à une plus grande dispersion des moyens (surtout aériens), et à l'apparition de feux « libres », sans protection possible de milieux habités et sans possibilité d'évacuation (des campings ou de certains villages isolés). Enfin, des effets dominos avec d'autres aléas (tempêtes, ravageurs), rendraient sensibles dans un même temps de très vastes surfaces (exemple du Grand-Est ou des Landes, dont la forêt est menacée par l'invasion annoncée du nématode, ce qui facilitera des feux plus étendus - quoique sans commune mesure avec les dimensions atteintes à l'étranger -);
- le changement climatique est à l'origine d'évolutions diverses : allongement de la période des feux (plus tôt et plus tard en saison), nouveaux problèmes sécuritaires potentiels dans des zones forestières comme la Sologne (et même dans certains secteurs céréaliers avec les incendies de cultures et de chaumes);

- à noter que l'été 2019 (exemple du 28 juin précisément, avec plus de 50 incendies déclarés dans le seul département du Gard, dont 5 de plus de 30 ha chacun³⁸) et certains feux particulièrement violents (en particulier l'incendie de Rognac de 2016, dans les Bouches-du-Rhône), préfigurent sans doute cette évolution du risque dans un sens parfois incontrôlable (conditions que favorisent les vents très violents, heureusement peu fréquents en 2019) ;
- si les canicules peuvent avoir un effet aggravant, elles ne sont en général pas directement responsables des départs d'incendie ni des surfaces parcourues, dont l'importance requiert la combinaison de températures élevées, de vents et d'une végétation en stress hydrique (et ce d'autant moins que les canicules sont rarement accompagnées de vents forts du fait de la stagnation des masses d'air caractéristiques du phénomène - situation de blocage -).

Les enseignements de l'été 2019 montrent que le dispositif « feux de forêt » a concerné les départements habituellement confrontés au risque (départements méditerranéens et du sud-ouest) et que les indices de prévision du danger d'incendie (produits par Météo-France) n'ont pas permis d'avoir une vision homogène du danger à l'échelle nationale, en particulier dans les zones historiquement peu confrontées au risque (le risque remonte peu à peu vers le Nord tandis que par ailleurs les feux de chaume et de cultures - dans les plaines céréalières - affectent désormais des étendues de taille comparable à celles qu'impactent les feux en zone méditerranéenne³⁹).

4.2.3.2. Les feux de forêt : propositions et recommandations

- ➔ **Proposition** : En matière de gestion de crise, il importe d'**harmoniser et de déployer un outil national unique de prévision du risque d'incendie** (permettant de prévoir des mesures types de prévention pour chaque niveau de danger : réglementation de l'usage du feu, fermeture des voies forestières, patrouilles, obligations de débroussaillage...). Il convient, de revoir la cartographie des zones sensibles au danger, pour mieux préparer les territoires face à des épisodes de sécheresse appelés à devenir de plus en plus intenses et fréquents, tout en suscitant des travaux de recherche et développement sur la régénération des peuplements incendiés dans les régions nouvellement concernées.

Recommandation 7. Doter la France d'une base de données, en lien avec la base actuelle de données sur les incendies de forêts en France (BDIFF), permettant à l'avenir de suivre et caractériser les incendies de façon beaucoup plus homogène et interprétable qu'aujourd'hui⁴⁰.

³⁸ L'office national des forêts (ONF) a constaté sur image satellite des dessèchements immédiats sur plus de 5 300 ha de garrigues en région méditerranéenne au moment des pics de température historiques de fin juin 2019, rendant ces zones extrêmement inflammables, et ce pour les 2 ou 3 ans à venir ; une grande partie des zones touchées se situait justement dans le Gard.

³⁹ La vague de températures élevées de l'été 2019 a conduit à une très forte sensibilité au feu des cultures et friches dans le Centre et le Nord de la France, conduisant à de nombreux et vastes feux de récoltes (plus de 15 000 ha brûlés, selon une estimation approximative, le phénomène étant inégalement mesuré selon les départements ou bien selon les sinistres). Cela a concerné de vastes territoires (Indre, Beauce, Marne...), avec des incidents sérieux de lutte (2 camions brûlés). On pourrait bien sûr imaginer recommander, encourager ou forcer les bonnes pratiques dans ce domaine (enfouissement des pailles), mais la contrainte réglementaire et son contrôle semblent peu envisageables à ce stade.

⁴⁰ Il est à noter à ce sujet plusieurs points de compréhension :

. la remontée des informations des services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) est hétérogène (car elle renseigne tous types d'intervention des pompiers : accidents notamment) ;

Mais le problème dépasse ces premières mesures ou initiatives d'ordre technique et à coordonner entre les trois principaux ministères concernés (Agriculture, Écologie et Intérieur), dès lors que l'on a affaire par ailleurs à un changement global, climatique et d'organisation du territoire, qui est le grand facteur du risque futur.

Si en matière climatique, la France devra composer avec les phénomènes (voire les chocs) attendus, sur le deuxième volet, on peut agir plus directement⁴¹ et rendre les territoires plus résilients. Cela signifie des règles ou orientations beaucoup plus strictes. Sur ces autres aspects, plus généraux, la mission propose d'autres actions.

→ *Propositions*

- **Arrêter le mitage** et stopper l'expansion de la « cabanisation », des mobil-homes et des campings en forêt).
- **Réfléchir les pratiques agricoles du futur dans les zones à risques** (ne plus arracher la vigne sans appréhension des conséquences sur l'accroissement du risque, par exemple).
- **Développer une politique active de prévention à partir des réseaux d'infrastructures**, encore peu préparés aux effets du changement climatique, au moins pour ce qui est du risque incendie ; ainsi, en 2019, surtout les jours de fortes chaleurs, ils sont à l'origine, comme vu dans le chapitre « activité de réseau », de départs de feux (mal appréciés par le système statistique actuel car l'on ne connaît en général pas les dégâts touchant les milieux naturels autres que forestiers), le long de voies de chemin de fer et le long des routes.

4.2.4. *Mobiliser le potentiel d'atténuation joué par les forêts et prendre en compte les services écosystémiques rendus*

Les stratégies de lutte contre le changement climatique, quelle que soit leur échelle, intègrent des actions de stockage et de séquestration du carbone (selon de multiples modalités). La forêt française, qui capte chaque année 15 % des émissions de CO₂ de l'Hexagone, est assez naturellement concernée par ces stratégies.

- L'investissement en recherche et développement est extrêmement important pour mieux appréhender les effets des épisodes climatiques intenses, comme le montre l'exemple ci-dessous.

- . la base Prométhée ne couvre que la zone méditerranéenne (Languedoc Roussillon, PACA, Corse et Drôme-Ardèche) ;
- . la forêt landaise dispose également d'un outil de suivi, mais là-encore limité (aux 3 départements concernés, 33, 40 et 47, sous l'égide du groupement d'intérêt public aménagement du territoire et gestion des risques en Nouvelle Aquitaine (GIP ATGERI) ;
- . les données BDIFF manquent de précision en dehors des départements cités ci-avant ;
- . s'il existe enfin un outil accessible en ligne (données satellitaires Effis), permettant des analyses statistiques à l'échelle européenne (comparaisons, évolutions...), celui-ci a des défauts. Pour la France, en 2019, il n'a compté principalement que les 40 000 ha d'écobuages pyrénéens (généralement contrôlés, en février-mars) et le solde (moins de 5 000 ha brûlés recensés en été) est très en deçà du bilan forestier réel (le différentiel tient à la résolution des deux satellites qui fournissent les données, résolution qui ne permet pas de distinguer des anomalies thermiques trop petites, tandis que toutes les anomalies thermiques détectées ne correspondent à des secteurs identifiés comme "forestier" ou "naturels").

⁴¹ C'est aussi le sens des recommandations du rapport du CGAAER « Plan de protection des forêts contre les incendies 2018 ». C. Dereix, Y. Granger. Après avoir reconnu l'importance du BDIFF, « la mission recommande l'engagement de trois études et travaux à caractère technico-économique de niveau national : R3-1 un état de l'art sur les pistes sylvicoles d'adaptation des massifs forestiers aux risques liés aux changements climatiques ; R3-2 un bilan critique des formules de valorisation des espaces et des produits forestiers dans les zones soumises aux incendies de forêt ; R3-3 une évaluation holistique des feux de forêt sous la double approche de l'objectivation du dommage écologique et de l'estimation du coût global de la DFCI (association régionale « défense des forêts contre l'incendie en Aquitaine » qui rassemble 212 associations syndicales autorisées).

Focus sur la mesure des gaz à effets de serre en temps réel caractérisant les épisodes climatiques

ICOS mesure en continu le fonctionnement biogéochimique et biophysique de 60 écosystèmes en Europe dont 17 en France. Les flux de CO₂ et d'évapotranspiration, le bilan d'énergie et diverses variables auxiliaires sont mesurées dans ce cadre (productivité primaire, production de biomasse, état du sol...) font partie de ce suivi dont les données sont mises en ligne : <https://www.icos-cp.eu>

Ce réseau de stations de ICOS va donc au-delà du simple suivi des échanges gazeux et permet de caractériser en temps quasi réel les impacts d'épisodes climatiques sur le fonctionnement et la productivité des écosystèmes forestiers. Complété par les données obtenues dans l'atmosphère et par le programme Copernicus, il permet une caractérisation multi-échelles de ces impacts.

La communauté française est très active dans ICOS et dispose d'un réseau de stations couvrant peu ou prou les grandes régions agricoles et forestières métropolitaines ; il est déployé sur des prairies (quatre stations), cultures (quatre stations), tourbière (une station) et forêts (six stations) ; elle anime une synthèse européenne concernant les impacts de la sécheresse 2018 (avec plus de vingt publications soumises à la revue Phil Trans Roy Society en décembre 2019, elle témoigne d'une certaine réactivité) a commencé à analyser les impacts des épisodes 2019, qui peuvent être spectaculaires (arrêt brutal de photosynthèse en forêt méditerranéenne par exemple).

Il peut être noté que plusieurs processus et démarches parallèles au présent rapport sont en cours sur les stratégies de long terme :

- **le comité gestion durable des forêts du conseil supérieur de la forêt et du bois** a sollicité du ministre de l'agriculture un retour sur la crise sanitaire actuelle et un grand plan d'adaptation des forêts au changement climatique⁴²;
- **les groupes forêt-bois du Sénat et de l'Assemblée nationale** ont organisé un colloque sur ce même sujet le 7 novembre 2019 et ont recueilli des propositions d'action qu'ils vont maintenant structurer ;
- **la députée Anne-Laure Cattelot** a reçu du Premier Ministre une mission auprès du ministre de l'agriculture et de l'alimentation sur l'avenir de la forêt qui recoupe en partie le sujet de l'impact des sécheresses et du changement climatique.

4.3. Milieux bocagers, linéaires de haies, pré-vergers

4.3.1. *Le dispositif national de suivi des milieux bocagers doit être pérennisé et conforté*

Les paysages bocagers sont reconnus pour leurs nombreux services écosystémiques, intéressant les animaux d'élevage (ombre, abri, ambiance, fourrage), les cultures (effet microclimatique, limitation de la dessiccation due au vent, augmentation des rendements), la biodiversité, le stockage du carbone, l'épuration de l'eau, l'écrtage des crues, la production de bois, la protection des sols, le maintien de l'eau dans les parcelles, grâce aux barrières capillaires jouées par les haies.

Il n'y a pas de suivi mettant en évidence un impact des canicules et de la sécheresse sur les espèces faunistiques ou floristiques des milieux bocagers. Néanmoins, ils ont constitué des zones

⁴² Il a demandé pour le printemps 2020 l'élaboration d'une feuille de route dont les acteurs ont été mobilisés sur trois grandes questions portant sur (i) les enseignements à tirer des connaissances existantes et expériences passées pour la gestion de la crise actuelle et les perturbations futures, (ii) les lignes directrices et outils pour le renouvellement / la reconstitution / l'amélioration des forêts, (iii) l'organisation à adopter pour les gestionnaires forestiers et les filières répondant aux crises présentes et futures, tout en tenant compte des attentes sociétales.

d'alimentation complémentaires pour des cheptels bovins (par exemple en Deux-Sèvres, au sein de la Réserve naturelle bocagère des Antonins). Sur ce même site témoin, les arbres têtards et leur faune associée ont été inventoriés en 2019 et il a été remarqué qu'une diversité d'espèces d'amphibiens (tritons marbrés, salamandres, grenouilles rousses) trouvent refuge dans le terreau des vieux arbres taillés « en têtards », ces espèces y recherchant la fraîcheur. Les bocages où persistent de nombreuses zones humides et des haies anciennes ont joué un rôle atténuateur vis-à-vis des épisodes extrêmes de l'été 2019, à l'égard de la faune (domestique ou sauvage) et des milieux environnants.



Photographie 3 : Parthenaises en milieu bocager, (photographie Sophie Morin, Pôle bocage OFB).

Lancé en 2017, co-porté par le pôle bocage de l'OFB et par l'institut géographique national (IGN), sur la base de financements du MTES et du ministère de l'Agriculture et de l'alimentation (MAA) dans le cadre de la politique nationale trame verte et bleue et du plan national de développement pour l'agroforesterie, le dispositif national de suivi des bocages (DNSB) compte un comité des utilisateurs (Afac-agroforesteries...) et un groupe d'experts scientifiques (Centre national de la recherche scientifique - CNRS-, INRA devenu INRAE, universités) et envisage de nombreux travaux (réalisation d'une cartographie nationale des haies, caractérisation des différents bocages, monitoring des écosystèmes bocagers...). Cet objectif nécessitera la coordination d'un réseau d'observateurs issus de l'OFB et de divers réseaux (naturalistes, chasseurs, agriculteurs...) et permettra d'identifier les zones de bocages conservés ou dégradés (*annexe 16 : les bocages, des paysages résilients et multifonctionnels*).

Recommandation 8. Conforter et pérenniser le dispositif national de suivi des bocages, lequel sera à même de fournir un suivi fin et des résultats à valoriser vis-à-vis des épisodes climatiques de l'été 2019, en garantissant ses financements (éco-contribution, agences de l'eau, OFB), et en renforçant ses partenariats scientifiques.

4.3.2. Restaurer et profiter de la multifonctionnalité des espaces bocagers pour réduire l'impact et atténuer les effets des épisodes climatiques intense

Proposition Les travaux du DNSB devraient permettre d'identifier sur les territoires les zones de bocages conservés et d'autres où des actions de restauration seraient bénéfiques. Quelques pistes sont suggérées : parcs naturels régionaux (PNR) bocagers, labels paysagers, outils juridiques de protection, mesures de la politique agricole commune (PAC) spécifiques type paiements pour services environnementaux, plans de gestion des infrastructures écologiques, retour de l'élevage et de formes agricoles plus diversifiées dans certains secteurs, promotion des services fondés sur la nature dans le cadre de futures politiques contractuelles, ré-embocagement de certains territoires.

4.4. Tour d'horizon des espèces affectées

4.4.1. Les impacts des épisodes caniculaires et de sécheresse 2019 sur les espèces

Les constats des phénomènes climatiques de l'été 2019 sont répandus sur tout le territoire national, mais peu quantifiables faute de suivis et d'indicateurs dédiés. Parmi les observations recensées (en plus des constats déjà cités sur les milieux aquatiques, forestiers et bocagers), on note par exemple :

- la mortalité de jeunes oiseaux nicheurs, notamment hirondelles et martinets, tombés des nids ;
- l'explosion d'une population envahissante de *Hydrocotyle ranunculoides* (plante herbacée, vivace et amphibie) sur le Dhuy (affluent du Loiret), de plus en plus complexe à gérer ;
- la colonisation massive de *Pectinatella magnifica* (bryozoaire d'eau douce), repérée sur l'étang de la Naue la Chèvre (Meurthe-et-Moselle) ;
- la réduction des capacités de production de conchyliculture et ostréiculture, en raison d'une moindre arrivée d'eau douce en mer ;
- la moindre activité de pêche en eau douce professionnelle comme de loisirs, compte tenu de la baisse de la ressource piscicole.

4.4.2. Les espèces affectées : recommandations

Si ces constats mériteront à l'avenir d'être étayés par une meilleure mobilisation (collective et organisée) des réseaux d'observation, il est à noter que la mission a repéré deux initiatives et sources d'information intéressantes : les sentinelles du climat d'une part et le programme STOC d'autre part.

4.4.2.1. Les sentinelles du climat

La compréhension des effets locaux du changement climatique sur la biodiversité est essentielle pour orienter les politiques de gestion des espaces naturels. En Nouvelle-Aquitaine, l'absence de connaissances a ainsi conduit à un programme de recherche « Les sentinelles du climat ». Regroupant une quinzaine de structures partenaires, des associations, des conservatoires, des laboratoires de recherche, participant à des travaux d'acquisition des connaissances, d'analyse et de restitution, ce programme s'appuie également sur le développement d'outils de médiation pour diffuser l'information scientifique auprès du public. Le programme est construit à partir d'indicateurs basés sur des suivis d'espèces ou groupes d'espèces, ayant des capacités de déplacement faibles. Les espèces sentinelles du climat sont réparties au sein de différents écosystèmes et regroupent une vingtaine d'espèces spécifiques (Grenouille des Pyrénées par exemple).

4.4.2.2. Le programme STOC

L'une des publications post-canicule 2003 avait été basée sur les résultats du suivi temporel des oiseaux communs (STOC « capture »), documentant ainsi leur reproduction, leur survie et leur condition corporelle. Ce même STOC apporterait aussi des informations utiles sur les effets de l'été 2019, les données collectées sur les populations d'oiseaux par capture pour 2019 étant en cours de réception (la production d'indicateurs annuels d'état et de fonctionnement des populations d'oiseaux communs existe ; les indicateurs 2019 devraient être produits d'ici mai 2020). Pour isoler les particularités de l'année 2019 en lien avec la sécheresse estivale, des analyses spécifiques seraient toutefois nécessaires, avec des moyens humains supplémentaires.

Recommandation 9. a) Conforter l'animation des réseaux des réserves naturelles, conservatoires d'espaces naturels, botaniques, parcs naturels régionaux, avec un programme dédié aux suivis des effets des canicules et sécheresses sur les milieux naturels, b) Développer un suivi des écosystèmes sur le mode du programme « Les sentinelles du climat », contribuant à compléter les indicateurs de l'observatoire national de la biodiversité, c) Commander au muséum d'histoire naturelle (MNHN) d'une analyse des données du programme STOC en regard des aléas de l'été 2019.

5. Des indicateurs pour juger de l'impact des actions menées lors de prochains événements climatiques similaires

Afin d'apprécier les effets des épisodes caniculaires ou de sécheresse à venir, dans l'optique d'évaluer la pertinence des actions engagées et l'évolution globale de la situation, la mission propose le tableau de bord ci-dessous dont l'élaboration et le suivi pourraient être confiés à l'observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC).

Domaine	Définition de(s) l'indicateur(s)	Organisme où il est disponible
Météorologie (annexe 1.1)	1- Durée et position calendaire des épisodes de canicule 2- Intensité maximale 3- Sévérité	Météo-France
Bâti	Le coût global marché (montant estimé ou consolidé des dommages) pour un évènement donné	ceres.ccr.fr
Infrastructures routières et ouvrages d'art	Nombre de jours * départements concernés par un arrêté de restriction de la circulation (un pic pour dépassement un jour donné compte pour un) cumulé de juin à septembre	https://lscqa.org/fr/vigilance-atmosphérique
Infrastructures ferroviaires et service de transport ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> Réseau SNCF : nombre de minutes perdues⁴³ au-delà de 5 minutes chaque jour de l'évènement caniculaire pour cause météo pour chaque activité (TGV, TER, Transilien, fret, TET) Réseau SNCF : Nombre de minutes perdues au-delà de 5 minutes par semaine en fonction des incidents liés à la canicule 	SNCF Réseau direction générale des opérations et de la production
	Réseau SNCF : nombre d'incendies aux abords ou sur la voie	COSAP
	Réseau RATP : nombre de kilomètres non réalisés pour les bus, les tramways, métros et RER en heures creuses et de pointe	RATP, Direction des opérations
Infrastructures aéroportuaires et trafic aérien	Evolution mensuelle de la proportion de la cause de retard au départ « météo et divers » pour différentes typologies de vols	DGAC, Direction du transport aérien
Infrastructures et transport fluviaux	Total des jours d'arrêts de la navigation pour insuffisance d'eau sur les canaux (plaisance) et sur les rivières (fret)	VNF
Réseau d'électricité :	Critère B journalier généré par les incidents sur les câbles HTA de type CPI (annexe 12.9)	Enedis
Biodiversité, milieux et espèces	Renforcement du suivi et de la connaissance des étiages des cours d'eau	ONDE
	Mesure de l'atténuation du stress hydrique apportée par les projets « solutions fondées par la nature »	OFB
	Suivi cartographique LIDAR haute définition pour accroître la connaissance des mortalités des boisements confrontés aux aléas climatiques	DSF et IGN
	Base de données réactualisée de suivi et de caractérisation des incendies	BDIFF
	Diagnostic national des milieux bocagers	Pôle bocage OFB
	Suivi des impacts des canicules et sécheresse par le réseau des espaces naturels	MTES
	Analyse des données du programme STOC en regard des aléas météo 2019	MNH

⁴³ Minutes perdues au-delà de 5 minutes = minutes perdues au-delà de 5 minutes entre l'horaire théorique de passage d'un train et son passage réel.

Conclusion

Il ressort des projections de Météo-France que les épisodes de l'été 2019 vont se multiplier d'ici 2050, mais ne seront pas plus forts en intensité, durée et sévérité qu'en 2003. Une canicule comme celle de juin sera néanmoins quatre fois plus probable à l'horizon 2040, celle de juillet six fois plus, sauf si l'on est sur la trajectoire la plus sévère (RCP 8.5). Dans ce cas, les épisodes de fortes chaleurs se multiplieront, auront une intensité bien supérieure, seront plus longs et dureront tout l'été (90 jours).

Si l'impact de ces deux canicules a été relativement limité sur les réseaux, probablement du fait de leur courte durée, c'est une alerte pour les réseaux de transport collectif, avec une première prise de conscience des autorités organisatrices de mobilité et de la RATP qui a dû, pour la première fois, ralentir les RER et métros. Il est donc indispensable de progresser vers des réseaux plus résilients, et, dans toutes les décisions de régénération, de renouvellement de matériel ou de système électrique et électronique, d'anticiper cette évolution.

Faute d'une action volontariste sur la qualité de la construction et le confortement des maisons existantes, le risque retrait et gonflement d'argile qui consomme près de la moitié des dépenses du fonds catastrophes naturelles pourrait voir son coût devenir insupportable. La mise en œuvre des dispositions de la loi Elan doit être faite sans tarder.

Les impacts de la sécheresse, qui se caractérisent par une forte baisse de l'humidité des sols, des niveaux d'étiage et des débits des cours d'eau, ont été contenus pour partie en 2019 mais auraient pu avoir de plus lourdes conséquences, tant sur l'approvisionnement en eau potable et l'agriculture que sur l'approvisionnement en énergie et la production industrielle. S'il est trop tôt pour connaître leurs effets sur la faune, la flore et les milieux, ainsi que sur les sinistres liés au retrait gonflement des argiles dans le bâtiment, il est vraisemblable que leurs conséquences ne pourront être qu'importantes.

Avec l'augmentation de l'évaporation liée à la hausse des températures, les sécheresses vont s'aggraver dans les années futures et concerner une part du territoire de plus en plus étendue : en 2080, l'humidité du sol moyen devrait correspondre aux sécheresses extrêmes d'aujourd'hui. Aussi, faut-il se préparer dès à présent à cette évolution d'ampleur et lutter impérativement contre l'imperméabilisation des sols et les îlots de chaleur en milieu urbain et développer toutes les potentialités offertes par les solutions fondées sur la nature, au bénéfice des espaces agricoles, naturels et forestiers.

Emmanuelle BAUDOIN



Ingénieure générale
des ponts, des eaux
et des forêts

Charles PUJOS



Ingénieur général
des ponts, des eaux
et des forêts

Michel PY



Inspecteur général de
l'administration du
développement durable

Dominique STEVENS



Ingénieur général
des ponts, des eaux
et des forêts

Annexes

1. Lettre de mission

CGEDD n° 013098-01



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

COURRIER ARRIVÉE
29.10.2019
28 OCT. 2019

Vu par → AML
→ TECC
→ MT
→ PRR
→ SG/BRD

Paris, le 21 OCT. 2019

La ministre

à

Madame la Vice-Présidente du Conseil
général de l'Environnement et du
Développement durable

Monsieur le Vice-Président du Conseil
général de l'alimentation, de l'agriculture et
des espaces ruraux

Référence : MIN_TES/YWD19016257
Objet : Retour d'expérience sur l'épisode caniculaire

L'année 2019 a été marquée par deux canicules dont une précoce, en juin, et une sécheresse d'une durée particulièrement longue, affectant 85 % du territoire national. Cet épisode climatique s'inscrit dans une succession de trois années caractérisées par des canicules et des sécheresses importantes. Il préfigure la situation que devrait connaître notre pays de façon plus systématique d'ici dix à vingt ans selon les projections du GIEC.

Cet épisode climatique a eu des conséquences variées mais inhabituelles sur la vie quotidienne. Il est nécessaire d'effectuer un retour d'expérience sur les effets de ces phénomènes, avec un temps de recul suffisant pour ne pas négliger des impacts plus modestes, mais hautement préoccupants pour l'avenir. Ce délai permettra aussi d'apprécier la résilience des installations et milieux, ou l'irréversibilité de certaines évolutions.

Seuls les effets nouveaux liés à ces phénomènes seront ici visés. Il importera de caractériser l'année 2019 et de bien distinguer en quoi les phénomènes extrêmes constatés durant cette saison peuvent s'avérer spécifiques par rapport aux précédents épisodes, au moyen des différents indicateurs (pluviométrie, nébulosité, température, vents, état de la ressource en eau, réserve en eau des sols, etc.). L'observation des suites des phénomènes météorologiques de l'année 2019 devra en particulier faire l'objet d'un suivi jusqu'en 2021 de façon à disposer d'une connaissance approfondie de leurs conséquences.

Je vous demande d'identifier les effets à court terme, spécifiques de l'intensité du contexte climatique du printemps et de l'été 2019 sur :

- le bâti, ancien ou récent, pour tous usages (habitations, lieux de travail)...., y compris les ouvrages d'art ;

Copie à : Thomas LESUEUR, Commissaire général au développement durable

Hôtel de Requiens - 246, boulevard Saint-Germain - 75007 Paris - Tél : 33 (0)1 40 81 21 22
www.cgedd.mars2019.gouv.fr

- l'ensemble des activités de réseau : fragilités de certains équipements, déstabilisation de certaines infrastructures et défaillance des services, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives, impacts sur la production, mesures à prendre pour assurer le confort des usagers des services publics ;
- la biodiversité, végétale et animale, marine ou terrestre, y compris dans la propagation de maladies, d'espèces venant de zones chaudes, la disparition de milieux ou d'espèces, la capacité éventuelle de récupération des milieux.

À partir de ces constats, vous proposerez des indicateurs permettant d'apprécier les effets de tels épisodes, dans l'optique de disposer d'un suivi à moyen terme et d'évaluer, lors du retour de tels événements, la pertinence des actions engagées et l'évolution globale de la situation. Vous proposerez une organisation de la collecte des données en mobilisant les sources existantes pertinentes, suggèrerez quelques indicateurs nouveaux aisés et peu coûteux à recueillir de manière à assurer une fiabilité du suivi jusqu'en 2021.

Je souhaite en outre prendre plusieurs orientations immédiates pour réduire l'impact d'une situation similaire et identifier des actions nouvelles pour l'élaboration du troisième plan national d'adaptation au changement climatique. Vous me ferez des propositions en ce sens.

Vous vous appuierez sur les expertises du Commissariat général au développement durable, des directions générales du ministère, des établissements publics sous tutelle, des entreprises gestionnaires de réseaux, des organisations professionnelles, et des associations d'usagers ou de protection de l'environnement.

Je souhaite disposer de vos conclusions sous quatre mois à compter de la notification du présent courrier.



Elisabeth BORNE

2. Caractérisation des épisodes caniculaires et de sécheresse 2019

2.1. Vigilance vagues de chaleur

Le plan national canicule 2017 (PNC)⁴⁴ « a pour objectifs d'anticiper l'arrivée des vagues de chaleur, de définir les actions à mettre en œuvre pour prévenir et limiter les effets sanitaires de celles-ci et d'adapter les mesures de prévention et de réduction des expositions à la chaleur particulièrement à destination des populations vulnérables à la chaleur ».

L'instruction ministérielle du 22 mai 2018 a introduit deux nouveautés dans le plan national canicule :

- l'extension de la période de veille saisonnière du 1^{er} juin au 15 septembre ;
- une terminologie permettant de décrire les différents types d'épisodes de chaleur qui peuvent être rencontrés.

Les définitions du plan national canicule font office de déclenchement pour les alertes. La canicule y est définie comme une période où les moyennes glissantes sur trois jours des températures minimales et maximales atteignent des seuils d'alerte départementaux, ces seuils pouvant être modulés par des facteurs aggravants de la chaleur (humidité, précocité, pollution de l'air, facteurs populationnels de type grands rassemblements...), en lien avec les agences régionales de santé (ARS). La canicule est donc caractérisée par des périodes de températures élevées de jour comme de nuit. Ces périodes sont susceptibles de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée. Quatre définitions importantes sont posées :

- **pic de chaleur** : exposition de courte durée (un ou deux jours) à une chaleur intense présentant un risque pour la santé humaine, pour les populations fragiles ou surexposées, notamment du fait de leurs conditions de travail et de l'activité physique ; il peut être associé au niveau de vigilance météorologique jaune ;
- **épisode persistant de chaleur** : températures élevées qui perdurent dans le temps (supérieure à trois jours) pour lesquels les IBM⁴⁵ sont proches ou en dessous des seuils départementaux ; ces situations constituant un danger pour les populations fragiles ou surexposées, notamment du fait de l'activité physique ; il peut être associé au niveau de vigilance météorologique jaune ;
- **canicule** : période de chaleur intense pour laquelle les IBM dépassent les seuils départementaux pendant trois jours et trois nuits consécutifs et susceptible de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée, elle est associée au niveau de vigilance météorologique orange ;
- **canicule extrême** : canicule exceptionnelle par sa durée, son intensité, son étendue géographique, à fort impact sanitaire, avec apparition d'effets collatéraux ; elle est associée au niveau de vigilance météorologique rouge.

Les critères de vigilance sont établis par Météo-France en lien avec santé publique France (SPF) et la direction générale de la santé (DGS). Pour une situation donnée, Météo-France prend la décision

⁴⁴https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnc_actualise_2017.pdf

⁴⁵Les indicateurs bio météorologiques (IBM) sont les moyennes sur trois jours consécutifs (l'IBM du jour J est la moyenne de J, J+1, et J+2) des températures minimales (IBM min) et maximales (IBM max) ont été identifiés comme étant les plus pertinents pour identifier les épisodes de canicule en France métropolitaine.

pour les couleurs vertes, jaunes et oranges. En cas de risque de couleur rouge, des réunions quotidiennes sont organisées avec SPF et la DGS.

Ces réunions permettent de partager les informations (météo, prévisions, impacts) et de produire une analyse commune de la situation. La décision finale de passage appartient à Météo-France, comme pour les autres phénomènes concernés par la vigilance à l'exception des crues gérées par Vigicrues.

2.2. Identification et caractérisation d'une vague de chaleur

Météo-France utilise une méthode de détection a posteriori des vagues de chaleur qui a été mise au point dans le cadre du projet Extremoscope. Elle a été récemment décrite dans l'article Ouzeau, et al., 2016⁴⁶. Les vagues de chaleur y sont vues comme des objets possédant certaines caractéristiques que l'on peut comparer entre elles :

- un début, une fin et donc une durée et une position calendaire ;
- son intensité maximale qui correspond à la température la plus élevée atteinte au cours de l'épisode ;
- sa sévérité, représentée par le cumul sur la durée de l'épisode des °C au-dessus du centile 97,5 ou autrement dit par l'intégration sur la période de la quantité de chaleur en excès.

L'identification des épisodes (et de leurs caractéristiques) s'appuie sur une méthode à seuils (utilisation des centiles 99,5 - 97,5 - 95,0), définis à partir de la climatologie de la série de températures quotidiennes traitée. Cette série s'étend sur les 3 dernières décennies, à savoir la période 1981 - 2010 pour l'identification des événements de la décennie 2011-2020. À partir de 2021 on utilisera la série 1991 - 2020.

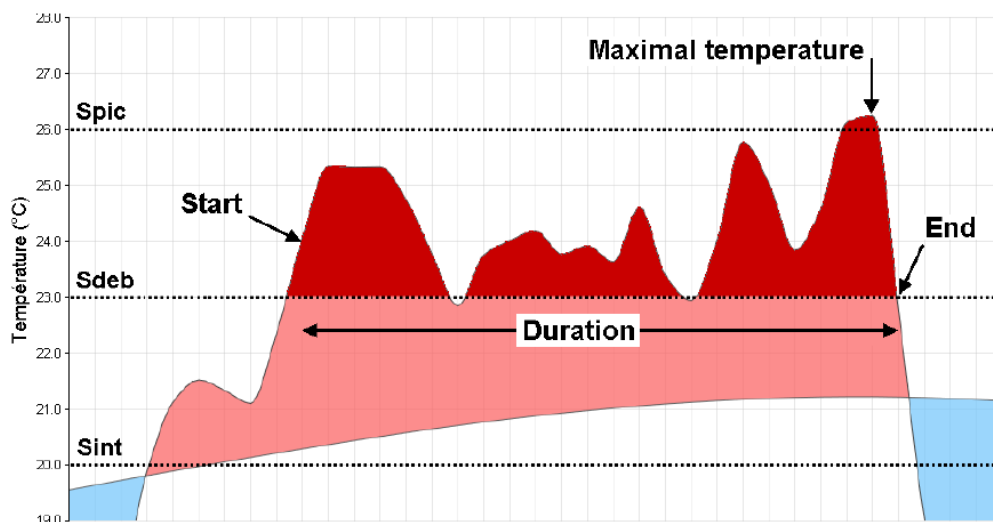


Figure 26 : la température en ordonnée représente la moyenne des températures moyennes quotidiennes (calculée à partir de la plus basse et la plus élevée) réalisée sur 30 villes de France.

Légende :

- Sint : seuil d'interruption de l'épisode - centile 95
- Sdeb : seuil de début de l'épisode - centile 97,5
- Spic : centile 99,5
- Pour « sortir » d'un épisode, il faut passer sous Sint ou rester 3 jours sous Sdeb.

⁴⁶ <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.09.002>

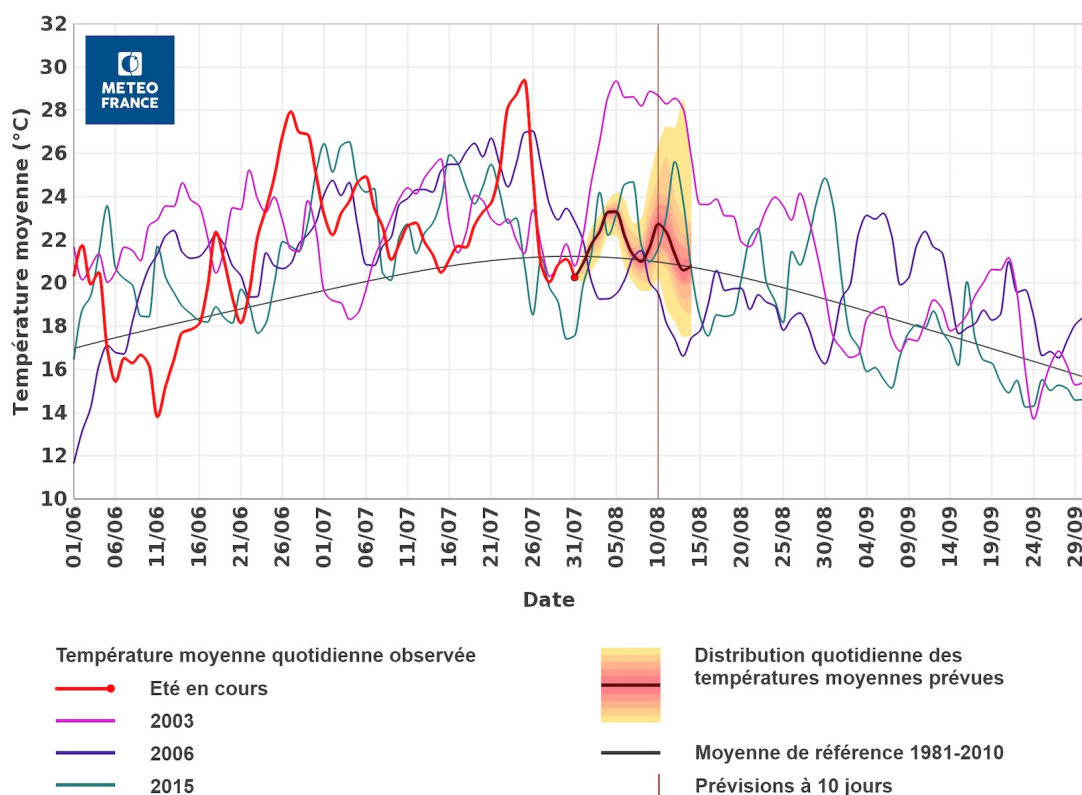
2.3. Durée, intensité maximale et sévérité des vagues de chaleur depuis 1947

(source Météo-France)

Numéro	Date de début	Date de fin	Durée (jours)	Intensité maximale (en °C)	Sévérité	Année
1	1947 06 26	1947 06 28	3	25.858	5.711	1947
2	1947 07 23	1947 08 04	13	27.753	29.137	1947
3	1949 07 11	1949 07 14	4	25.518	3.956	1949
4	1952 06 29	1952 07 02	4	26.522	6.972	1952
5	1959 07 08	1959 07 10	3	25.415	3.994	1959
6	1964 07 15	1964 07 18	4	26.075	5.584	1964
7	1975 07 31	1975 08 08	9	26.665	15.771	1975
8	1976 06 23	1976 07 06	14	25.453	16.720	1976
9	1983 07 09	1983 07 31	23	26.253	23.836	1983
10	1989 07 21	1989 07 24	4	25.970	5.714	1989
11	1990 07 21	1990 07 23	3	25.368	3.760	1990
12	1990 07 31	1990 08 05	6	27.038	13.645	1990
13	1994 07 23	1994 07 30	8	25.532	7.119	1994
14	1994 08 03	1994 08 09	7	25.798	9.849	1994
15	1995 07 19	1995 07 21	3	26.227	6.106	1995
16	1995 07 29	1995 08 05	8	25.350	7.050	1995
17	1998 08 08	1998 08 12	5	26.337	9.602	1998
18	2001 08 24	2001 08 27	4	25.365	5.048	2001
19	2003 07 10	2003 07 15	6	25.748	7.933	2003
20	2003 08 02	2003 08 17	16	29.352	59.374	2003
21	2004 07 31	2004 08 03	4	25.375	5.210	2004
22	2005 06 18	2005 06 28	11	26.145	12.755	2005
23	2006 07 10	2006 07 30	21	27.043	35.382	2006
24	2009 08 15	2009 08 20	6	25.683	5.798	2009
25	2010 07 08	2010 07 12	5	25.338	5.937	2010

26	2011 06 26	2011 06 28	3	25.650	2.896	2011
27	2011 08 20	2011 08 23	4	25.943	4.811	2011
28	2012 08 17	2012 08 21	5	26.442	10.658	2012
29	2013 07 20	2013 07 27	8	26.022	11.959	2013
30	2013 07 31	2013 08 02	3	25.497	4.218	2013
31	2015 06 30	2015 07 07	8	26.545	15.502	2015
32	2015 07 15	2015 07 22	8	25.938	10.308	2015
33	2016 07 18	2016 07 20	3	25.665	3.466	2016
34	2016 08 23	2016 08 27	5	25.587	7.527	2016
35	2017 06 18	2017 06 22	5	26.445	10.317	2017
36	2017 07 05	2017 07 08	4	25.780	5.125	2017
37	2017 07 17	2017 07 19	3	25.692	3.794	2017
38	2017 08 26	2017 08 29	4	25.547	5.373	2017
39	2018 07 24	2018 08 08	16	27.433	31.411	2018
40	2019 06 25	2019 06 30	6	27.947	18.042	2019
41	2019 07 21	2019 07 26	6	29.402	19.554	2019

2.4. Température moyenne quotidienne observée en été (source Météo-France)



2.5. Méthode de diagnostic de la sécheresse des sols

La représentation de la météo et du climat suppose de représenter fidèlement une large gamme de processus physiques, parmi lesquels les échanges physiques à l'interface sol-atmosphère.

Au sein des systèmes de prévision de Météo-France, le modèle physique SIM⁴⁷ (Safran - Isba - Modcou) représente ces échanges ; évaporation, infiltration, drainage, diffusion, ruissellement, utilisation de l'eau par les végétaux...

SIM intègre les observations atmosphériques de Météo-France (précipitations, vent, température...) et est validé grâce à des campagnes de mesure d'humidité du sol et en utilisant les observations disponibles de débits des fleuves et rivières.

La France est découpée en mailles (carrés) de 8 km de côté. L'indice d'humidité des sols « SWI » est calculé pour chaque maille.

Météo-France dispose d'une climatologie du SWI de 1959 à nos jours. Pour chaque maille, la saison étudiée est comparée à l'archive du SWI. On dispose ainsi d'un bilan hydrique spatialisé à l'échelle de chaque maille pour tout le territoire depuis 1959.

⁴⁷ http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/21890/meteo_2008_63_40.pdf?sequence=1

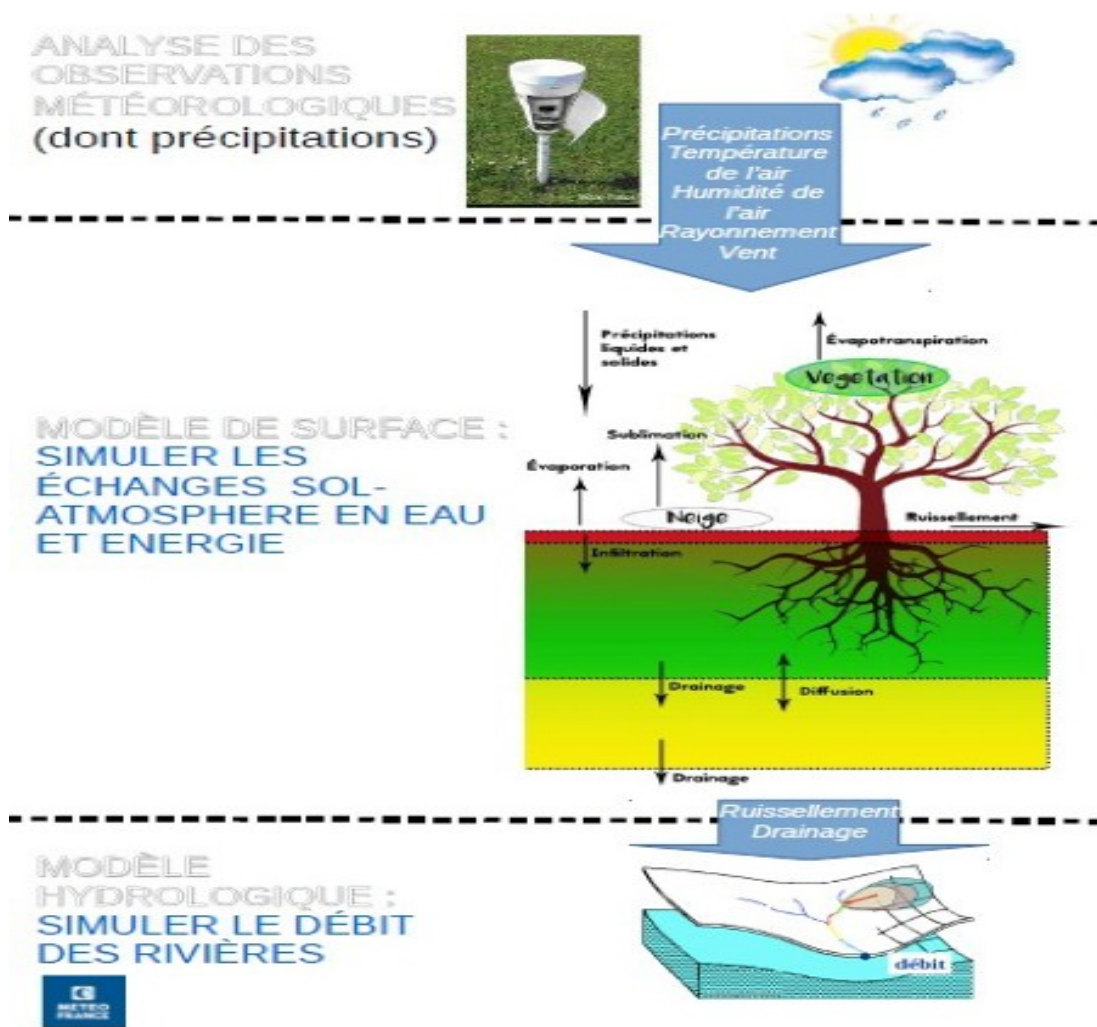
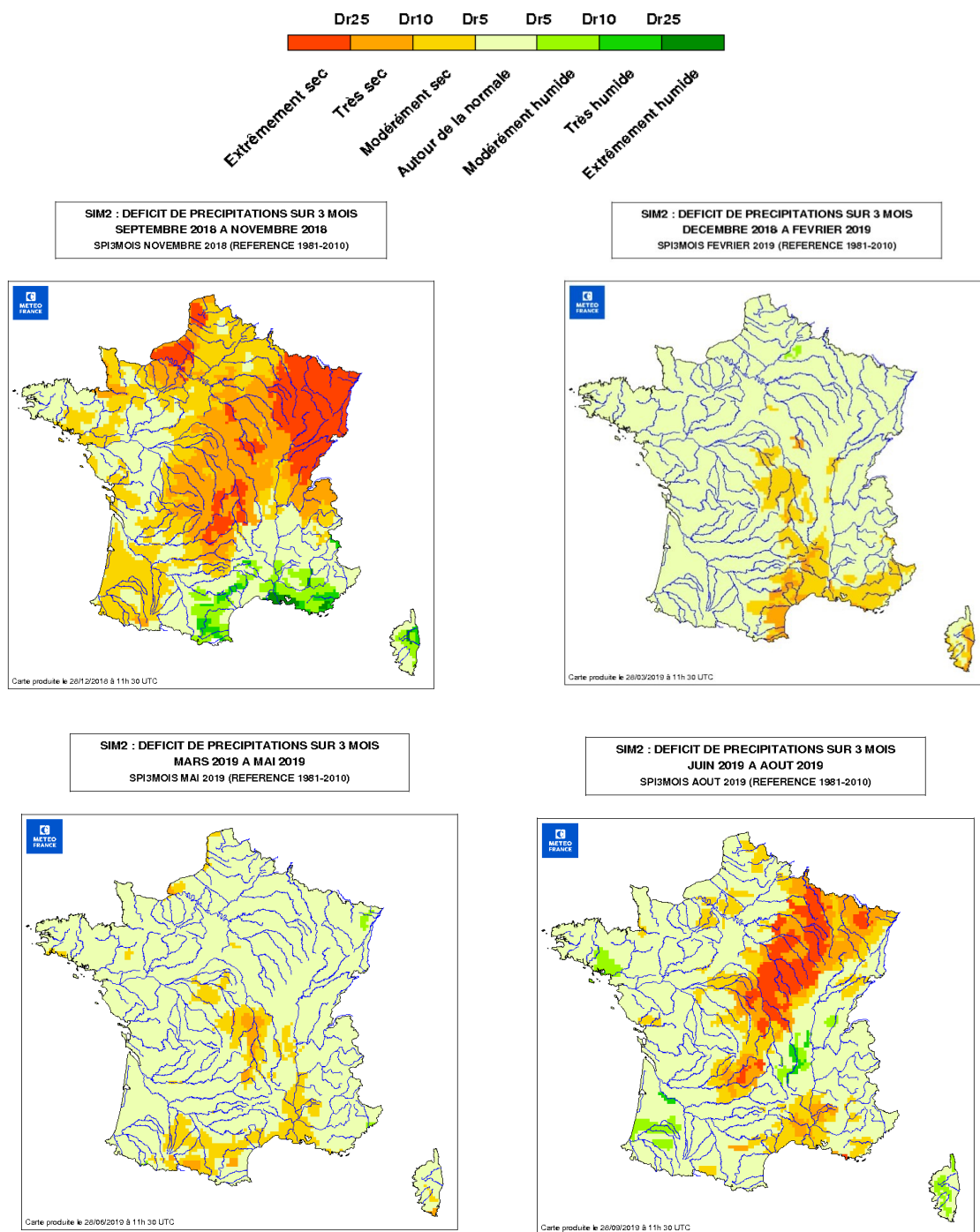


Figure 27 : Méthode de diagnostic de la sécheresse des sols (source Météo-France)

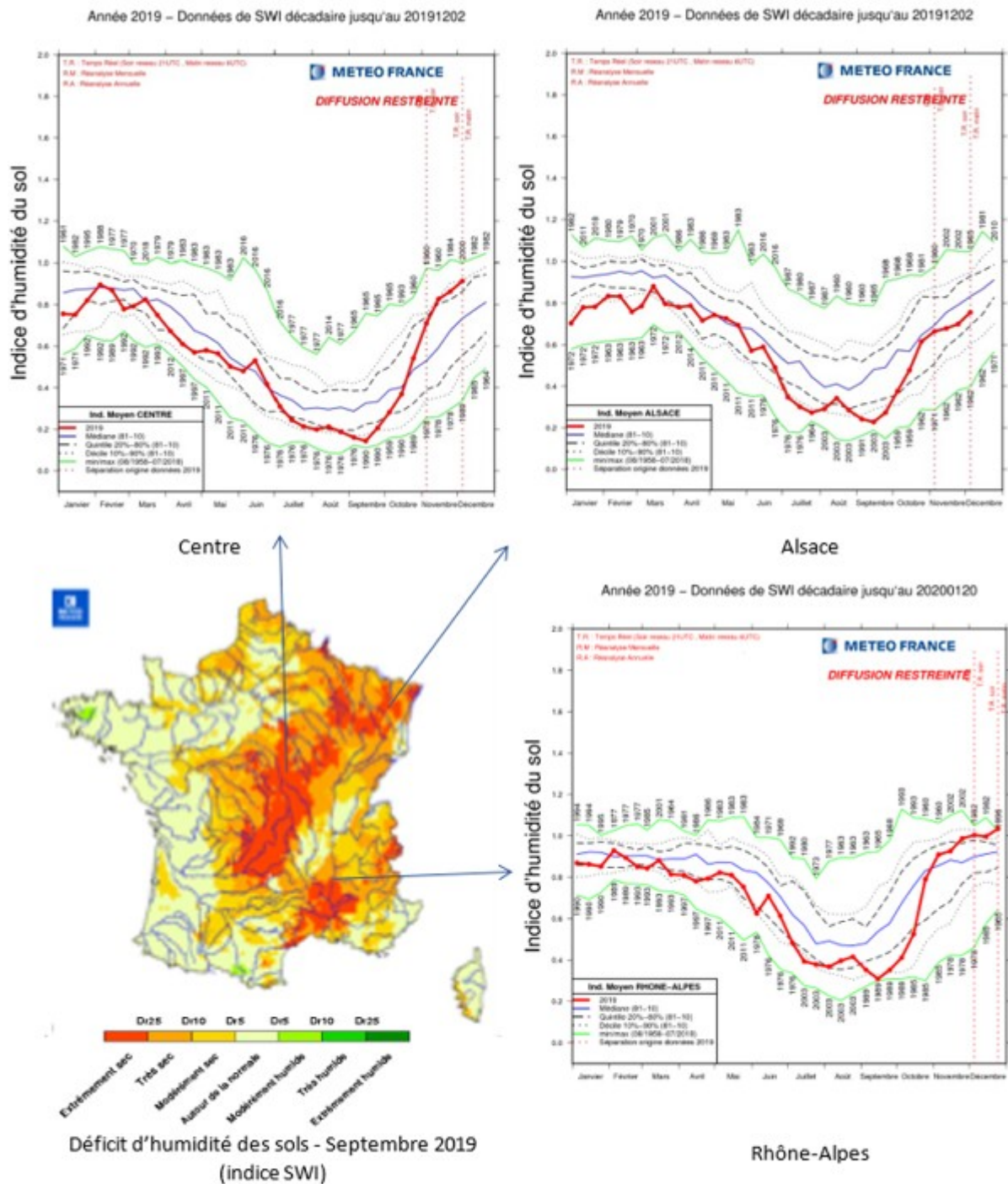
2.6. Déficit de précipitations par trimestre (indice SPI)

(Source Météo-France)

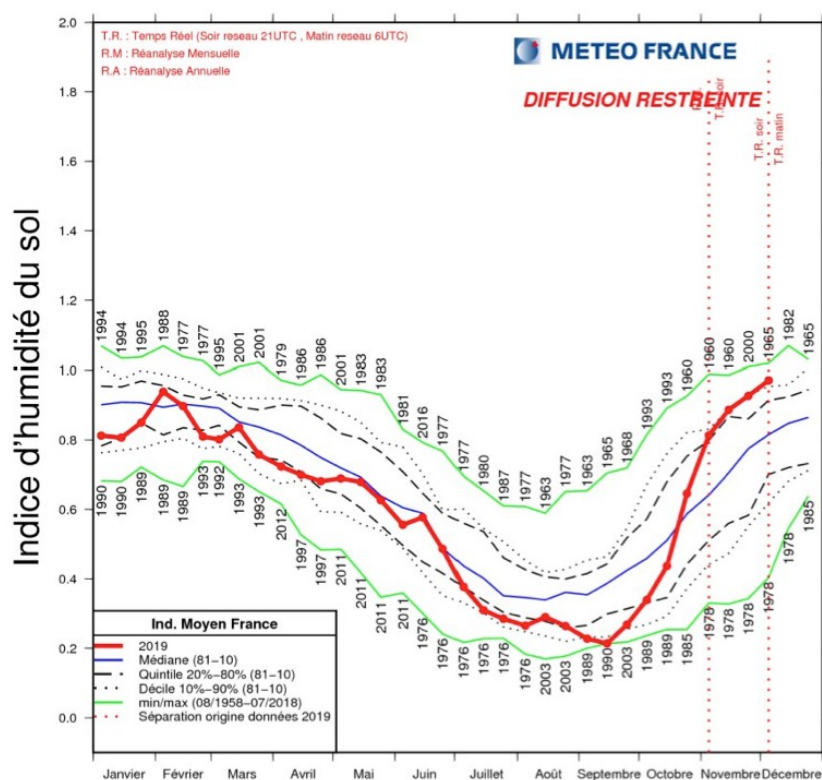


2.7. Déficit d'humidité des sols (indice SWI)

(Source Météo-France)



2.8. Indice moyen d'humidité des sols (SWI) - France, année 2019 (source Météo-France)



2.9. Le positionnement des épisodes de l'été 2019 en climat futur

2.9.1. Les épisodes caniculaires en climat futur

Pour analyser le futur du changement climatique, les experts du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ont défini à priori quatre trajectoires d'émissions et de concentrations de gaz à effet de serre, baptisés RCP (« Representative Concentration Pathways » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration »).

- La trajectoire RCP2.6 est le scénario qui maîtrise le plus les émissions de GES et abouti à un refroidissement en fin de siècle.
- La trajectoire RCP8.5 est le scénario tendanciel qui aboutit à une augmentation de 4 °C de la température en fin de siècle.
- Les trajectoires RCP4.5 et RCP6.0 correspondent à des scénarios intermédiaires.

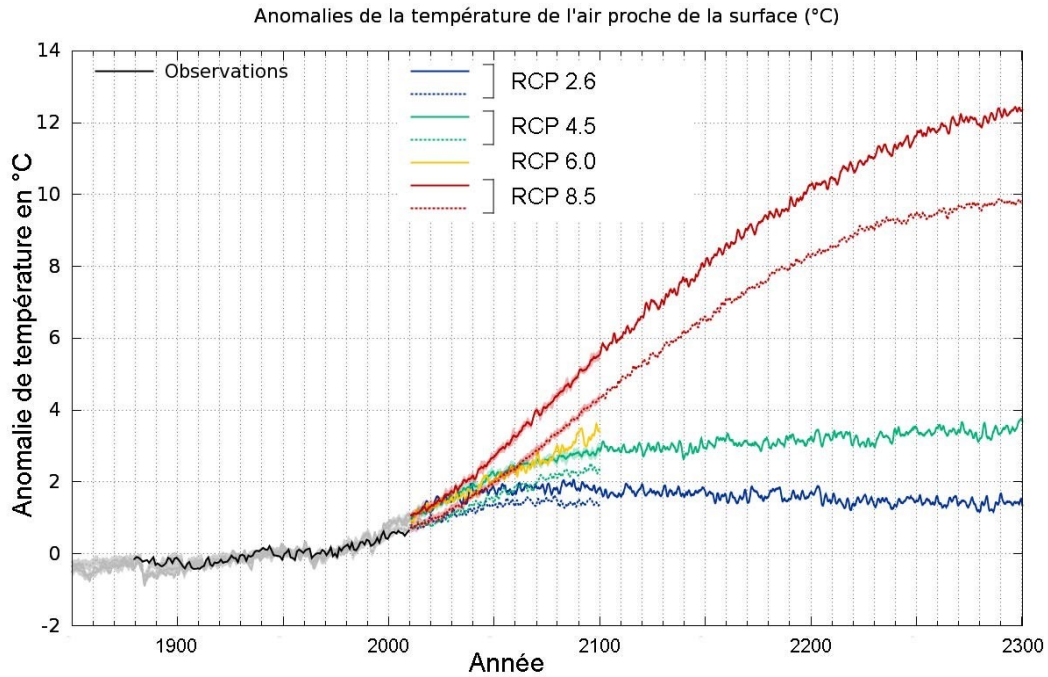


Figure 28 : évolution, de 1850 à 2300, de la température moyenne (°C) à la surface de la Terre par rapport à la moyenne des années 1901-2000 mesurée (courbe noire) et calculée par les modèles du CNRM-CERFACS (traits pointillés) et de l'IPSL (traits pleins) et pour les différents scénarios RCP : RCP2.6 (le plus optimiste), RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5 (le plus sévère)⁴⁸ (Source Météo-France)

Il ressort des projections de Météo-France (figure 28) que les épisodes de l'été 2019 vont se multiplier d'ici 2050 mais ne seront pas plus forts en intensité, durée et sévérité qu'en 2003. Dans les 30 ans qui viennent, nous ne devrions donc pas subir d'événements inconnus, mais plusieurs de niveau comparable à celui de 2003. Une canicule comme celle de juin sera ainsi 4 fois plus probable à l'horizon 2040, celle de juillet, 6 fois plus. Ce devrait être la même chose d'ici la fin de siècle si la trajectoire RCP2.6 est respectée. En revanche, si l'on est sur la trajectoire RCP8.5, les épisodes de fortes chaleurs vont se multiplier, seront d'intensité bien supérieure et plus longs, et dureront tout l'été (90 jours). 2003 sera vu comme un « été frais ».

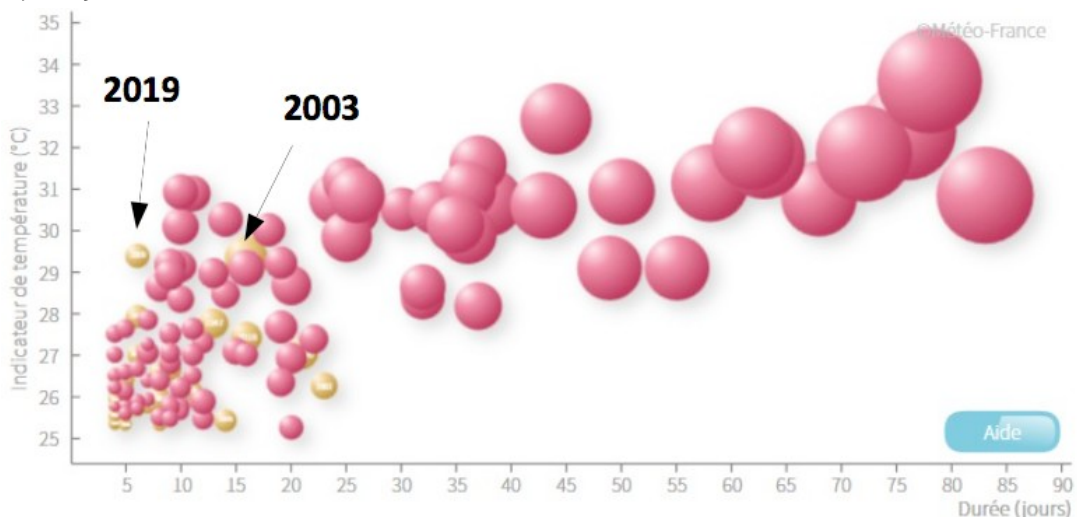


Figure 29 : Vagues de chaleur en climat présent (orange) et en climat futur (rouge) pour le scénario RCP 8.5 à l'échéance 2070-2100 (source Météo-France).

⁴⁸ http://www2.cnrs.fr/sites/communique/fichier/dossierpressecmip_vdef_1.pdf

2.9.2. La sécheresse des sols en climat futur

Avec l'augmentation de l'évaporation liée à la hausse des températures, les sécheresses des sols vont s'aggraver en climat futur, voire très fortement selon les trajectoires d'émission des GES suivies (figure 30) et concerner une part du territoire de plus en plus importante (figure 33). La sécheresse extrême de 1989 pourrait revenir une année sur deux vers 2080. Et l'humidité du sol moyenne (figure 34) correspondrait alors aux sécheresses extrêmes d'aujourd'hui : la moyenne sur 30 ans en fin de siècle (2071-2100) correspond à l'extrême d'aujourd'hui.

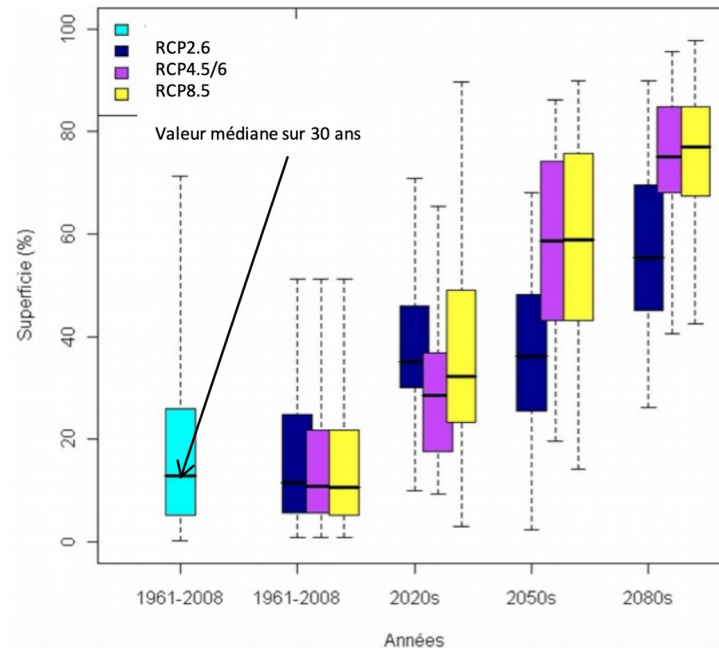


Figure 30 : Évolution de la superficie de France en sécheresse (source Météo-France).

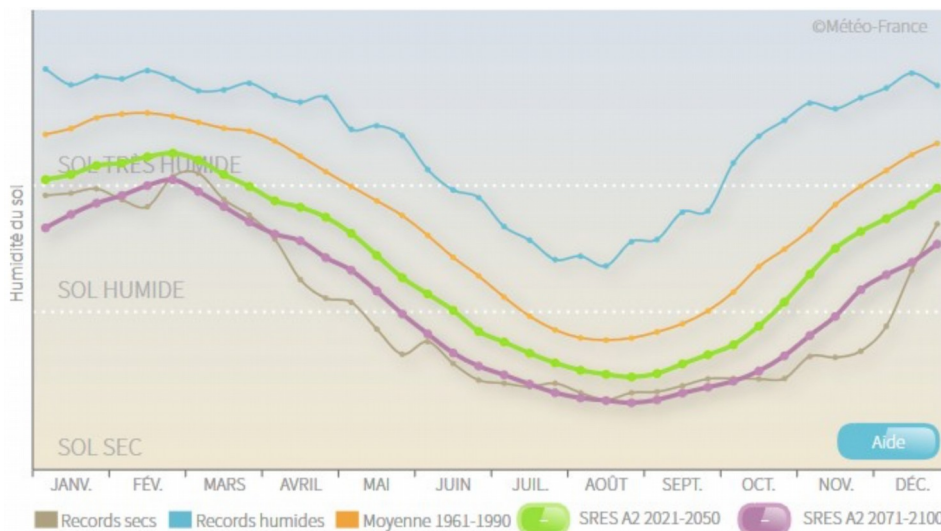


Figure 31 : Cycle annuel d'humidité du sol, moyenne 1961 - 1990, records et simulations climatiques pour deux horizons temporels (source Météo-France).

3. Le bâti

3.1. Reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

L'état de catastrophe naturelle est une situation dont la reconnaissance par arrêté interministériel permet l'indemnisation systématique des victimes des dommages provoqués par divers risques naturels tels que inondations, séisme, avalanche... et pour les assureurs un partage du risque avec le fonds de garantie des catastrophes naturelles.

En effet, en lien avec le secteur assurantiel, les pouvoirs publics ont instauré par la loi du 13 juillet 1982 modifiée, un dispositif permettant d'indemniser les citoyens victimes de catastrophes naturelles. Aux termes de l'article 1^{er} de cette loi : « *sont considérés comme les effets des catastrophes naturelles, les dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour éviter ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises.* ».

En pratique, le maire d'une commune estimant avoir subi une catastrophe naturelle formule une demande de reconnaissance auprès des services préfectoraux. Une commission interministérielle, pilotée par le ministère de l'Intérieur, est chargée de se prononcer sur le caractère naturel du phénomène ainsi que sur son intensité anormale, en se basant sur des rapports techniques joints aux dossiers. Elle se prononce individuellement sur chaque demande.

La commission émet un avis consultatif. Cet avis simple, est ensuite transmis aux ministres pour décision et prise ou non de l'arrêté interministériel⁴⁹ classant la commune en « catastrophe naturelle ». Quand il est pris, cet arrêté interministériel, « *détermine les zones et les périodes où s'est située la catastrophe ainsi que la nature des dommages résultant de celle-ci couverts par la garantie [contre les effets des catastrophes naturelles]* » (article L. 125-1 du Code des assurances). C'est cette parution au Journal Officiel qui va permettre aux victimes d'être indemnisées.

La sécheresse a été intégrée aux critères de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle en 1989. Les critères ont évolué au fil du temps selon les précisions scientifiques apportées. Une première révision de ces critères a eu lieu en 2008. Une nouvelle circulaire, relative à la révision des critères permettant de caractériser l'intensité des épisodes de sécheresse-réhydratation des sols à l'origine de mouvements de terrain différentiels, est entrée en vigueur le 10 mai 2019 (annexe). Cette nouvelle méthode a permis une diminution importante des délais d'instruction des demandes communales notamment celles déposées au titre de l'épisode de sécheresse-réhydratation de l'année 2018.

L'intensité d'un épisode de sécheresse-réhydratation est caractérisée à partir d'un critère météorologique et d'un critère géotechnique pris en compte cumulativement.

Pour déterminer si la surface du territoire communal couverte par des sols argileux sensibles au phénomène sécheresse-réhydratation est supérieure ou égale à 3 %, sont prises en compte les zones d'aléas faible, moyen et fort issues de données techniques et études cartographiques établies par le BRGM. Les cartes utilisées par le BRGM depuis 2010 ont été mises à jour en août 2019 : la couverture du territoire national en zones de susceptibilité moyenne ou forte a augmenté de 24 à 48 %.

Météo-France définit un indice d'humidité des sols superficiels (< 2 m de profondeur) pour chacun des mois de l'année. Cet indice s'appuie sur l'indice SWI (*annexe ci-dessus 2.5 : méthode de diagnostic de la sécheresse des sols*) configuré pour caractériser les terrains à dominante argileuse à couverture gazonnée particulièrement exposés au phénomène de sécheresse géotechnique. Pour déterminer si un épisode de sécheresse présente un caractère anormal au sens de l'article L. 251-1 du code des

⁴⁹ <https://www.interieur.gouv.fr/Le-ministere/Securite-civile/Nos-missions/La-protection-des-personnes-des-biens-et-de-l-environnement/Le-dispositif-de-reconnaissance-de-l-etat-de-catastrophe-naturelle>

assurances, l'indicateur d'humidité des sols superficiels doit présenter une durée de retour supérieure ou égale à 25 ans. Les communes sont susceptibles d'être reconnues pour une saison entière. Ces données sont disponibles chaque année au mois de mars de l'année N+1. Les communes ont 18 mois pour effectuer leur demande à partir de la survenance de l'évènement. Une fois le classement obtenu, les assurés prennent contact avec leur compagnie d'assurance, cette relation est hors du champ ministériel.

3.2. Bilan d'activité de la commission interministérielle catastrophes naturelles en 2019

La commission interministérielle a traité 7 080 dossiers en 2019, soit 13 % de moins qu'en 2018 où 8 161 dossiers avaient été instruits. Cependant 2018 était une année exceptionnelle marquée par un nombre de dossiers inédit depuis la création de la garantie catastrophe naturelle en 1982. **La commission s'est réunie à dix-sept reprises au cours de l'année 2019**, soit en moyenne une fois toutes les trois semaines. Habituellement la commission se réunit onze fois par an. La **procédure accélérée**, qui suppose une instruction rapide sur le fondement d'expertises simplifiées lorsque l'intensité anormale du phénomène est évidente, a été mise en œuvre à cinq reprises soit autant qu'en 2018.

Par le nombre de dossiers traités, l'année 2019 arrive au deuxième rang des 10 dernières. Sur cette période, le nombre de dossiers traité annuellement était en moyenne de 4 000 par an. Des tableaux de synthèse de l'activité de la commission sont présentés en annexe. La répartition par aléa des demandes communales de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle déposées au cours de l'année 2019 est atypique.

5 793 demandes, soit 82 % des demandes étudiées en 2019, concernent les épisodes de sécheresse - réhydratation des sols des années 2017 (107 demandes) et 2018 (5 686 demandes). Suite à l'adoption d'une nouvelle méthode d'analyse des demandes communales relatives à cet aléa au premier trimestre 2019, exposée dans la circulaire n° INE1911312C du 10 mai 2019, 5 686 demandes communales déposées dans 90 départements métropolitains au titre de l'épisode de sécheresse 2018 ont été étudiées en commission entre mai et décembre 2019.

Cet épisode de sécheresse apparaît d'ores et déjà comme le plus important depuis 2009. Il a notamment frappé le quart nord-est de la France, le bassin parisien et les régions Centre et Auvergne-Rhône-Alpes. 3 983 communes ont été reconnues soit plus de 70 % des communes qui ont déposé une demande, ce qui constitue un taux de reconnaissance historiquement haut. La CCR a estimé le coût de ce phénomène pour le régime à un milliard d'euros.

1 287 demandes, soit 18 % des dossiers déposés en 2019, étaient consacrées à d'autres phénomènes naturels, dont 990 pour les seules inondations. Le nombre est faible comparé aux 4 608 déposés en 2018, année exceptionnelle en matière d'événements pluvio-orageux.

3.3. Carte d'exposition au retrait gonflement des sols argileux

La nouvelle carte d'exposition requalifie l'exposition de certains territoires au phénomène de retrait gonflement argileux. Elle a été élaborée à partir :

- de la carte de susceptibilité mise au point par le BRGM à l'issue du programme de cartographie départementale de l'aléa retrait-gonflement des argiles conduit de 1997 à 2010 ;
- et des données actualisées et homogénéisées de la sinistralité observée collectées par la mission « Risques naturels » (MRN).

Elle est publiée sur le portail Géorisques⁵⁰, destiné à mieux faire connaître les risques sur le territoire.

3.4. Déclaration des ouvrages souterrains

Toutes les données sur les ouvrages (forages, sondages, puits et sources) souterrains du territoire sont collectées pour être conservées dans une base de données, la banque du sous-sol (BSS), organisée et gérée par le BRGM.

Afin de trouver et exploiter des ressources naturelles souterraines (eau, pétrole, ressources minières), pour des études de géotechniques (travaux d'infrastructure et d'aménagement), pour de la géothermie, et pour la recherche scientifique (connaissance du sous-sol, des processus et des mécanismes à l'origine de différents phénomènes géologiques) différents ouvrages sont réalisés qui sont une source importante de renseignements sur le sous-sol.

À partir de 1958, l'article L. 411-1 du code minier impose la déclaration de tous les ouvrages de plus de 10 mètres de profondeur. La base, déclarée à la commission nationale informatique et libertés (CNIL), contient des informations brutes à caractère administratif et géologique : nom du propriétaire, localisation, description des niveaux géologiques rencontrés, documents numérisés, équipement technique des ouvrages, etc. Sur le site internet InfoTerre, la BSS met donc à la disposition du public plus de 700 000 descriptions d'ouvrages souterrains. Près de la moitié des ouvrages possèdent une coupe géologique succincte, et environ 20 % possèdent une coupe géologique élaborée vérifiée par un professionnel. Cependant, les formations superficielles sont rarement décrites avec précision (pourcentage et classe d'argiles).

3.5. Coût des sinistres

La caisse centrale de réassurance (CCR) a estimé le coût de la sécheresse 2018 pour le régime à un milliard d'euros, celle de 2019 entre 600 et 870 millions d'euros⁵¹.

15 % des sinistrés pèsent 50 % de la charge indemnisée pour la sécheresse (ratio comparable aux autres garanties). Sur 25 ans, de 1989 à 2013, le montant de la garantie « catastrophe naturelle sécheresse » s'élève à 400 millions € en moyenne par an, les reprises en sous-œuvre représentant 200 millions €.

Une étude de la FFA réalisée en 2015 estime qu'à l'horizon 2040 le coût des sinistres pour sécheresse sera multiplié par 2,6.

⁵⁰ <https://www.georisques.gouv.fr>

⁵¹ <https://ceres.ccr.fr/faces/pages/liste-evenements.xhtml>

4. Infrastructures routières, ouvrages d'art et circulation routière

4.1. Liste des désordres relevés sur le réseau routier national

Quelques désordres ponctuels ont pu être constatés sur le réseau routier national non concédé : par exemple, le 26 juillet, quelques déformations ponctuelles sur la RN184, la mise en veille automatique (au-delà d'un certain niveau de température) de plusieurs panneaux à message variable (PMV), ou encore un local technique en défaut d'alimentation suite à une surchauffe sur l'A 6 (direction interdépartementale des routes - DIR - Île-de-France), présence d'une fissure d'adaptation sur l'A 75 sur une section en remblai et sur une bretelle d'entrée de l'A 771 (DIR massif central).

Le principal impact a été les coupures de routes et autoroutes suite à des incendies entre juillet et septembre 2019 ayant pour origine soit des véhicules en circulation soit des départs de feux extérieurs (DIR Méditerranée : coupures de l'A 7, de l'A 55 ou au niveau du nœud A 7/A 51, sans que l'infrastructure ait été touchée).

Le centre d'étude des tunnels (Cetu) n'a pas eu à connaître de dysfonctionnement sur les installations de surface ou équipements techniques placés en tête de tunnel, ni sur l'alimentation électrique (qui aurait comme conséquence la fermeture de l'ouvrage à la circulation par mesure de sécurité). Ce risque est en effet limité par la mise en place de doubles alimentations (deux postes sources distincts), ou encore l'inscription des tunnels dans la liste des ouvrages de desserte prioritaire. En Île-de-France, les locaux techniques des équipements et serveurs des tunnels sont climatisés.

4.2. Exemples d'impact sur les réseaux routiers des collectivités

Selon les remontées des gestionnaires auprès du Cerema, ont été observés sur les réseaux routiers départementaux les impacts suivants :

- en Seine et Marne, accélération des phénomènes suivants concernant les enrobés bitumineux et les structures : ressuage des enduits superficiels, des réparations et de certains enrobés, fissures longitudinales très larges et très profondes le long des forêts et dans les zones en remblai, bourrelets transversaux au niveau de structures semi-rigides ;
- dans le Cantal : des mouvements de terrain lors des épisodes de sécheresse majeure ;
- dans le Cher, 10 % environ de plus de désordres dus au retrait argile et de ressuage. Pour éviter ce dernier phénomène lorsqu'une alerte canicule est annoncée, les services du département appliquent au petit matin du lait de chaux (de couleur blanche) pour protéger la chaussée, plutôt que de faire travailler les équipes au plus fort de la chaleur en rechargeant avec du granulats dès qu'apparaît le désordre.

Ces phénomènes, mal connus des gestionnaires et des spécialistes routiers, restent difficiles à identifier et encore plus à quantifier. Les remontées portent sur les phénomènes très visibles. Les spécialistes du Cerema pensent qu'il est probable que des fragilisations du patrimoine, moins visibles, n'aient pas été identifiées malgré leurs conséquences à court et moyen terme.

Sur les ouvrages d'art, l'alternance d'épisodes de fortes pluies et de sécheresse ont un effet sur les caractéristiques des sols qui peut induire des problèmes particuliers sur les ponts (fondation sur argile gonflante par exemple) et pour les ouvrages de soutènement. Les sécheresses importantes peuvent conduire à des tassements des appuis ou à des tassements de murs de soutènement qu'il convient de surveiller. Pour certains petits ponts en maçonnerie fondés sur pieux en bois,

appartenant aux collectivités, du fait de ces alternances climatiques, il peut être observé des affouillements en pied des appuis, mettant ainsi à découvert les pieux. L'abaissement du niveau de l'eau des rivières du fait de la sécheresse met ces pieux en bois au contact de l'air. Des champignons peuvent alors apparaître, susceptibles d'entraîner le pourrissement du bois, ce qui reste un phénomène lent.

La méconnaissance de ce phénomène par les services techniques des collectivités pourraient dans le futur entraîner de gros dommages.

4.3. Description des impacts sur les usagers, la circulation routière et sur les agents

. **Vis-à-vis des usagers** : la présence de rayonnements ultraviolets, la température élevée (supérieure à 30 °C) et l'absence de vent, caractéristiques classiques des canicules, favorisent la formation d'ozone. Lorsque le seuil de 240 µg/m³ (moyenne horaire) est dépassé, l'autorité préfectorale déclenche le seuil d'alerte avec des mesures sur la circulation routière graduées en fonction de la durée de maintien de ce taux, allant de l'abaissement des vitesses maximales jusqu'à la restriction de la circulation selon la plaque d'immatriculation ou la classification du véhicule et la mise en place d'incitation pour l'usage de transports les moins polluants. Le tableau ci-dessous montre que les deux épisodes caniculaires 2019 sont clairement identifiables.

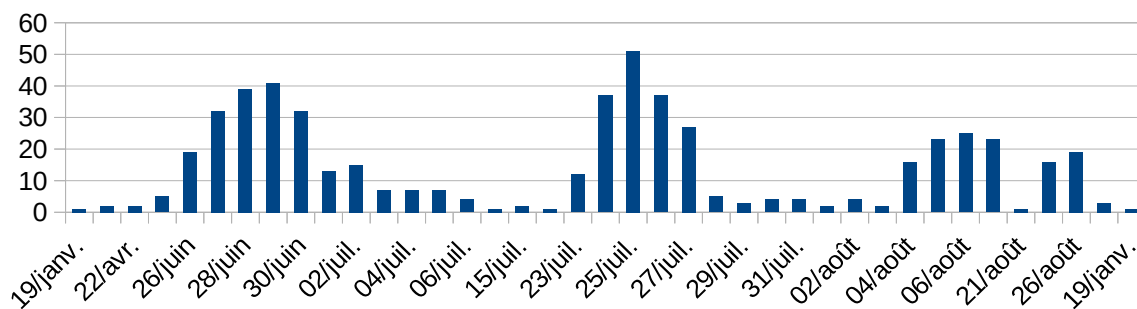


Figure 32 : Nombre de jours x départements de procédures préfectorales d'alerte (source DGEC à partir du site du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air -LCSQA-).

En termes d'accidentologie, en Belgique, il a été observé 15 % de plus d'accidents les jours de canicule qui s'expliqueraient par un nombre plus important de piétons et cyclistes sur les routes, une diminution de la concentration des conducteurs, à la fatigue après une mauvaise nuit de sommeil et au report des trajets en période plus fraîche (une étude en 2016 chiffrait ce nombre à 9 % pour une température supérieure à 27 °C).

En France, selon la direction de la sécurité routière, il ne ressort pas de vraie tendance à l'examen des deux semaines de canicule par rapport aux cinq années précédentes, lorsque sont comparée l'accidentalité par mode de déplacement et par milieu, sur la base de données 2019 non encore consolidée. S'il y a une hausse de tués et de blessés durant la semaine de canicule de juin, il est observé une stagnation voire une baisse celle de juillet 2019. Le phénomène est trop ponctuel et le nombre d'accidents pas assez significatif.

. **Vis-à-vis des agents**, suite à l'alerte canicule, la DGITM a demandé aux DIR et aux sociétés concessionnaires d'autoroute (SCA) d'afficher des messages de vigilance sur les PMV et de doter les patrouilleurs et les agents en intervention de bouteilles d'eau pour pouvoir les distribuer aux véhicules en panne. Certaines SCA ont aussi procédé à des distributions d'eau sur les aires autoroutières. Vis-à-vis des agents exposés, les DIR ont mis en place des mesures d'horaires décalés de travail, de fourniture d'eau et de glacières, avec parfois des adaptations de poste (parasols), reports de certains chantiers pénibles, affichage et distribution du flyer de conseils du ministère de la santé. A été privilégié le travail en équipe (pas de personnes isolées) avec demande de rappel des

consignes aux entreprises sur les chantiers. En ce qui concerne les contrôleurs des transports terrestres, ce sont prioritairement l'adaptation des horaires (contrôles le matin, ou l'annulation des contrôles en cas de fortes chaleurs) qui ont été mises en place.

. **Vis-à-vis des salariés des entreprises de transport, des bâtiments et travaux publics (BTP)** : les DREAL n'ont pas fait remonter de problèmes particuliers dans le domaine du transport routier lié à la canicule : les conducteurs de poids lourd et de véhicule utilitaire léger disposent de climatisation dans les véhicules. Selon le ministère du travail, à chaque période de fortes chaleurs, l'activité tourne au ralenti dans plusieurs secteurs professionnels, les plus concernés étant notamment le BTP, les transports, l'énergie. Les employeurs du BTP soulignent la difficulté d'aménagement du travail sur les chantiers au regard des interdictions de démarrage matinal du travail par des arrêtés municipaux ainsi que la complexité administrative d'éventuelles demandes de dérogation. Un dispositif spécifique existe pour les entreprises de BTP : la caisse de congés intempéries du BTP (CIBBTP). En cas de canicule de niveau 3 et 4 ou d'arrêté préfectoral ordonnant une suspension d'activité en lien avec la canicule, les entreprises de BTP suspendent le chantier et demandent l'aide de la caisse régionale de congés intempérie du BTP (article L. 5424-8 du code du travail).

4.4. Les indicateurs possibles pour le réseau et la circulation routière

Il n'y a aujourd'hui pas d'enjeu identifié pour mettre en œuvre des indicateurs de suivi sur les infrastructures et ouvrages d'art du réseau routier. Les indicateurs déjà existants de suivi de l'état des chaussées et des ouvrages d'art pour l'État et les SCA (Image qualité du réseau routier national -IQRN⁵²,-relevé une fois par an sur le RRN- NC sur les voies les plus circulées, et Image de la qualité des ouvrages d'art -IQOA-), ne permettent que d'avoir une idée générale de l'évolution de l'état des routes et ouvrages sans que l'on connaisse la cause de cette évolution : pour séparer les impacts estivaux des impacts hivernaux il s'agirait, pour les chaussées, à minima de doubler les campagnes annuelles IQRN et d'arriver à exploiter les résultats de manière fine, ce qui ne semble pas indispensable aujourd'hui au regard des enjeux. Il en est de même pour certaines collectivités dont les résultats de l'état de leur route sont mis en ligne par l'observatoire national de la route, créé en janvier 2016 et géré par l'IDRRIM⁵³ (pour 2018, résultats de 28 départements et 5 métropoles pour les chaussées, et, 34 départements et six métropoles pour les ponts).

Si des incendies impactaient fortement et de manière répétée le réseau principal, il serait possible de mettre en place un suivi du nombre d'événement incendie sur le RRN à partir de l'outil TIPI géré par la DGITM, en y associant une description des effets sur le patrimoine.

Enfin, le nombre de jour de restriction de la circulation que multiplie le nombre de départements concernés (un pic pour dépassement un jour donné compte pour un), disponible sur le site LCSQA.org depuis 2018 pourrait aussi être un indicateur. Il semble selon la direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) que le remplissage soit parfois incorrect et mentionne « restriction de circulation » non seulement lorsque seuls les véhicules les moins polluants sont autorisés à circuler, mais aussi lorsque la vitesse maximale est abaissée.

⁵² Aujourd'hui l'appareillage utilisé dans le cadre de l'image qualité du réseau routier national -IQRN- permet d'identifier des déformations du sol de l'ordre de quelques millimètres.

⁵³ IDRRIM : Institut des routes et des infrastructures pour la mobilité, qui réunit les acteurs publics et privés dans le domaine des infrastructures de transport.

5. Remontées d'impacts sur quelques infrastructures portuaires

Aucun impact n'a été signalé à la Rochelle ou à Dunkerque. Seul le grand port maritime de Nantes Saint-Nazaire, du fait du très faible débit de la Loire (avec remontée du bouchon vaseux), et d'un taux d'oxygène dissous très bas au droit de Nantes, a dû réduire voire suspendre le dragage des souilles au niveau du terminal céréalier pour éviter les surmortalités piscicoles. La limitation des tirants d'eau a réduit la capacité d'accueil des navires : il a fallu soit limiter le chargement, soit attendre des conditions nautiques plus favorables (fonction de la hauteur de la pleine mer). Le port envisage de créer à terme des stockages de céréales plus en aval. Les horaires décalés le matin et la journée réduite ont diminué les cadences de chargement/déchargement. Par ailleurs, la canicule a accéléré l'apparition de fissures sur des rails de grue, des structures de bâtiments et la voirie.

Les restrictions de prélèvement d'eau pourraient en cas d'événements plus sévères avoir des conséquences sur les activités consommatrices d'eau industrielles. Le port de Dunkerque travaille sur une gestion efficiente de l'eau dans le cadre d'une démarche d'économie circulaire : mise en place de synergie autour de l'eau entre les occupants du domaine portuaire, avec les collectivités locales, l'État et le syndicat de l'eau du Dunkerquois : recyclage de l'eau, réutilisation d'eaux usées industrielles. Cette démarche est développée par d'autres ports.

6. Réseau ferroviaire national et service de transport de la SNCF

6.1. Principaux désordres pouvant survenir sur le réseau ferroviaire du fait des canicules et de la sécheresse

Les principaux désordres recensés sont décrits ci-dessous. Ce descriptif concerne le réseau ferré national. Sur le réseau RATP, les incidents sont exactement de même nature avec des contraintes différentes, les RER et métro circulant à moindre vitesse que les trains, mais avec des infrastructures supportant beaucoup plus de trafic.

. Déformations des voies

La température maximale du rail sur le RFN est de 65 °C (et minimale de -20 °C) : ce paramètre permet de déterminer le niveau maximal de contrainte dans le rail, de dimensionner les composants comme l'ajustement de la longueur des longs rails soudés (LRS) au moment de la pose, les règles de maintenance associées (rails, attaches, traverses, profil et qualité du ballast). Le LRS n'est pas utilisé en profil difficile, le réglage des joints étant un point délicat particulièrement contrôlé.

Des cycles de surveillance sont régulièrement effectués, détaillées dans les référentiels SNCF. Dès que la température du rail peut dépasser 45 °C, des tournées chaleur sont mises en place afin de détecter les écarts par rapport aux règles de pose et d'entretien et les corriger avant les périodes de chaleur. Si des zones ne peuvent être corrigées, des surveillances spécifiques sont mises en œuvre lors d'alertes canicule, la déformation du rail pouvant causer un déraillement. À partir de 65 °C à l'intérieur du rail (correspond à 45 °C environ de température extérieure avec le rayonnement du soleil), des limitations temporaires de vitesse voire des arrêts de circulation sont mis en œuvre selon les observations relevées.

. Installations de traction électrique (caténaires et sous stations)

La régularisation est le maintien de la tension mécanique du fil conducteur. La présence de contrepoids, destinés à maintenir une tension mécanique constante dans la caténaire, n'est pas systématique pour le RFN. Avec les fortes températures, le fil de contact se « détend » de manière proportionnelle à la hausse de la température et peut créer un arc électrique avec le toit du train ou être arraché, provoquant l'arrêt, faute d'alimentation électrique. Au-delà de 37 °C, pour certain type de caténaires, les limites de compensations de sa dilatation sont atteintes. Les contraintes mécaniques au-delà de 100 km/h deviennent un risque important d'usure et de rupture pour ces caténaires en fin de vie ou non régularisées. En cas d'alerte météo régionale, il est alors demandé d'abaisser la vitesse à 100 km/h sur ces zones bien définies.

. Systèmes de signalisation

Les composants électriques et électroniques sont sensibles à la très haute température (65 °C maximum pour les composants électroniques). Des climatiseurs sont installés dans les locaux techniques des systèmes de signalisation les plus sensibles. Tous les systèmes informatiques à l'intérieur de locaux techniques climatisés sont conçus pour fonctionner dans un air ambiant de l'ordre de +18 °C à +27 °C. Au-delà de cette plage, des perturbations de l'exploitation peuvent se produire (par exemple passages à niveau qui ne se relèvent plus, dérangement de signalisation), de même qu'en cas de panne de climatisation (ou de coupure de courant).

. Matériel roulant

Les fortes chaleurs peuvent entraîner des pannes ou des dérèglements, notamment en cas de faiblesse du système de climatisation présent dans le train. Le groupe de climatisation peut fonctionner jusqu'à une température de +50 °C. Cependant, au-delà de 35 °C, n'est toléré un

fonctionnement que de 50 % de sa puissance : les clients perçoivent alors un dysfonctionnement de la climatisation alors que le fonctionnement est normal.

En ce qui concerne le moteur, le groupe de refroidissement est composé d'un circuit haute température, dimensionné pour une température de 95 °C au point le plus chaud, la sortie moteur, et le circuit basse température, dimensionné pour 50 °C pouvant exceptionnellement aller jusqu'à 60 °C. Les températures de dimensionnement du groupe de refroidissement correspondent à une température ambiante de 35 °C. Au-delà, la puissance moteur est délestée jusqu'à 30 %, limitant la vitesse en cas de montée de pentes et réduisant les accélérations, et donc générant des retards.

. Ouvrages en terre

La canicule et la sécheresse, comme vu en §3.1.1.1, peuvent augmenter les tassements.

. Feux de talus

Plus de départs de feux sont constatés en cas de sécheresse aggravée par la canicule, à l'extérieur du domaine public (cause externe), souvent les plus importants, ou à l'intérieur. C'est la première fois qu'un feu s'est propagé jusqu'à la voie suite à un moissonnage de blé dans la Beauce.

La principale cause interne est les étincelles créées par le frottement des roues des trains de fret sur les rails lors d'un freinage, avec des traverses bois qui peuvent prendre feu. D'où l'importance du réglage des freins et de la « police » mise en place par la SNCF qui peut conduire à interdire à la circulation une entreprise ferroviaire qui a causé deux départs de feu.

6.2. Préparation de la saison chaude : mesures préventives mises en œuvre par la SNCF

La direction des opérations de SNCF Réseau assure l'animation de l'ensemble des mesures d'anticipation et de prévention, et coordonne la rédaction du plan canicule avec les autres gestionnaires d'infrastructures et les entreprises ferroviaires signataires de la convention gestion de crise. Dès la mi-mars, elle coordonne la mise en œuvre d'un dispositif de campagne saisonnière préalablement à la période de forte chaleur associant toutes les composantes du système ferroviaire : il comprend des volets techniques, organisationnels et humains et couvre l'ensemble du domaine de l'exploitation (plans de transport, accueil et prise en charge des clients, surveillance et sécurisation des installations, procédure d'exploitation, plan de crise...). Il dispose d'un volet « rail » et d'un volet « climatisation des trains ». L'ensemble des mesures du volet technique doit impérativement être terminé avant fin juin. Ce plan d'actions est enrichi chaque année par le retour d'expérience de l'année précédente produit en tout début d'année. Il porte notamment sur les quatre points ci-dessous.

. **Matériels** : opération de maintenance spécifique sur 100 % du parc matériel avant fin juin, avec accent sur les équipements de climatisation et le stockage d'articles de sécurité. Les équipements réputés sensibles à la chaleur sont identifiés et mis sous surveillance.

. **Voie et caténaires**, dès mars et avant l'été, des tournées sont réalisées pour identifier et limiter le nombre de zones sensibles (traitement des zones à forte criticité) qui seront, en cas d'alerte canicule, soit mises sous surveillance aux périodes les plus chaudes de la journée, soit feront l'objet de mesures définies en amont comme un ralentissement ou une suppression de circulation (et analyse en parallèle des éventuelles possibilités d'itinéraires alternatifs). C'est ainsi que le nombre de zones sensibles nécessitant des ralentissements est passé d'environ 320 la troisième semaine d'avril à environ 80 la semaine de canicule de juin et à 58 lors de la deuxième canicule. Des expérimentations de capteurs connectés de température de rail (500 en 2019), sont en cours. Ils devraient permettre à terme de définir des seuils différenciés de déclenchement des tournées en hiérarchisant et différenciant les traitements.

. **Systemes de signalisation, sous-stations, postes d'aiguillage.** Des tournées de ventilation dans les sous-stations et postes d'aiguillages sont réalisées avant la période chaude afin de mettre en route les systèmes de ventilation et contrôler les systèmes de climatisation lorsqu'ils existent, avec stockage d'appareils mobiles de climatisation de secours. Des campagnes d'appareillages sont menées à l'intérieur des sous-stations, avec remplacement ou renforcement des composants à la limite (ce qui impose étude et créneaux horaires pour couper le courant).

. **Prévention des feux de talus :** mise en œuvre du schéma directeur de la maîtrise de la végétation dans chaque zone de production, sensibilisation des agents de conduite au risque incendie (desserrage complet du frein, détection des freins serrés, signalement précis en cas d'incendie), mais aussi mise en place d'actions préventives dans les directions fret pour éviter les blocages liés aux dispositifs de freinage (frein à main et surcharge) et interdiction de meulage de rail en période de sécheresse ou canicule.

La SNCF dispose d'un plan canicule très complet à l'attention du personnel décrivant avec précision toutes les mesures à prendre en termes d'information, et prise en charge des voyageurs, mobilisation des équipes pour assurer la surveillance/maintenance des infrastructures, matériels, prévention des feux de talus et mesures en faveur des clients et préconisations pour les salles de crise territoriales. Il est réactualisé chaque année.

6.3. Liste des incidents significatifs pendant les deux canicules à la SNCF

DATE	EVENEMENTS	Minutes perdues	trains- supprimés	Indice de gravité
A-PLUS-DE-10000-MINUTES				
27-juin	Accident de personne à Vert-de-Maisons	15207	5	G3
26-juin	Incendie d'un entrepôt sur la grande ceinture impactant les circulations de Paris-Est et de Paris-Nord	13700	7	G3
A-PLUS-DE-5000-MINUTES				
27-juin	Rupture caténaire à St-Pierre-des-Corps	8255	4	G3
26-juin	Détresse du TER 14067 à la sortie de la gare Bibliothèque François Mitterrand	5735	6	G3
A-PLUS-DE-2000-MINUTES				
25-juin	feux de talus à Monts au sud de St-Pierre-des-Corps (LGV-ATLANTIQUE)	4429	6	G4
27-juin	Incident caténaire à Bordeaux	4010	5	G3
28-juin	Incendies aux abords des voies entre Saze et Redessan (LR)	3689	6	G3
27-juin	Détresse de l'IC 4771 à Vic-Mireval	2487	6	G3
Autres événements				
25-juin	Glissement de terrain entre Lisieux et Mezidon (Normandie)	1997	50	G3
27-juin	avaries aux pantographes sur le TER 866429 entre Morcenx et DAX (NAQ)	1892	5	G3
27-juin	Incendie de la sous-station de Dieupentale (midi-py)	1509	15	G3
27-juin	Détresse de l'IC 587 suite à arrachement caténaire entre Montargis et Vernisson	796	6	G3
27-juin	avaries aux pantographes sur le TGV 8551 à St-Geours (NAQ)	474	2	G3
24-juin	Arrêt du TGV 5237 sur le raccordement de Millesse (LGV-ATLANTIQUE)	95	6	G3

Date	Nature de l'événement	Minutes perdues	Indice de Gravité
24/07	INCENDIE DE LA SOUS-STATION DE NOISY	5710	G4
24/07	DERANGEMENT DU PRCI DE LILLE	4888	G3
23/07	INCENDIE FEUX DE TALUS ENTRE AVIGNON ET CAVAILLON	3906	G3
25/07	INCIDENTS MULTIPLES SUR HDF TOUCHANT PLUSIEURS LIGNES ET L'ETOILE DE LILLE	3779	G3
24/07	INCIDENT CATENAIRE A PANTINO	3587	G3
23/07	INCENDIE FEUX DE TALUS A LAMOTHE	3040	G3
23/07	INCENDIE D'UNE HERSE A MULHOUSE	2788	G3
25/07	DETRESSE DU 165850 A VERSAILLES MATELOTS	1663	G3
22/07	INCIDENT CATENAIRE A VILLENEUVE PRAIRIE	790	G3
24/07	INCIDENT CATENAIRE SUR LGV BELGE	0	G3
24/07	DETRESSE DU 17724 ENTRE TARASCON ET SETE	0	G3
25/07	INCIDENT CATENAIRE SUR LA LIGNE DE MORET A LYON-PERRACHE	0	G3

(Source SNCF Réseau)

Légende :

. gravité G3 : pilotage par la cellule de crise « national opération »

. gravité G4 : pilotage par la cellule de crise « national opération » et ouverture de la salle crise système

6.4. Détails des impacts sur les services de transport de la SNCF par activité : TGV, TER et Transilien

. 10 TGV ont accusé un retard de plus de 3 heures lors de la période de canicule de juillet contre 31 sur celle de juin.

. L'activité TER a été affectée significativement par les deux épisodes de canicules 2019 avec un résultat hebdomadaire de non ponctualité à 5 minutes⁵⁴ en augmentation de 3,3 % pour chaque semaine concernée (11 % contre un résultat hebdomadaire moyen annuel de 7,7 %). Les suppressions de service TER ont été en augmentation durant ces deux semaines avec 2,40 % fin juin, 2,8 % fin juillet contre 1,8 % en moyenne hebdomadaire annuelle. Les causes principales sont une multiplication par deux des défaillances d'installations fixes, en particulier les passages à niveau et les installations de signalisation, les limitations de vitesse de circulation (huit lignes concernées) et l'augmentation des non-ponctualités liées au matériel roulant (1,9 % fin juin, 1,4 % en juillet pour une moyenne hebdomadaire annuelle de 1,06 %) ainsi que la suppression de service pour cause matériel (1,15 % fin juin, 1,1 % fin juillet pour une moyenne hebdomadaire annuelle 2019 d'environ 0,6 %). Sur un parc de 2 300 rames TER, 70 rames ont été immobilisées sous l'effet de la canicule (3 % du parc).

. En Île-de-France, l'analyse sur le service du Transilien des non-ponctualités (définition commune avec la RATP : pourcentage de voyageurs arrivant avec un retard de plus de cinq minutes à leur gare de destination)⁵⁵ selon la cause, montre que l'impact de la canicule pour cause « météo »⁵⁶ (à savoir voies, systèmes de traction et de signalisation et feu) a diminué entre la canicule de 2015 et celles de 2019 mais est resté comparable pour le matériel. Bien que le record de température en Île-de-France ait été atteint le 25 juillet, l'impact « matériel » et « malaises » a été moindre en juillet qu'en juin, probablement suite à une meilleure anticipation de la SNCF, une meilleure information et un moindre trafic (trains⁵⁷ et voyageurs), contrairement aux autres causes liées à la température extrême. Les comparaisons restent néanmoins difficiles compte tenu de l'effet trafic, durée et intensité des canicules (10 jours en 2015, contre de l'ordre de 4 jours chacune en 2019).

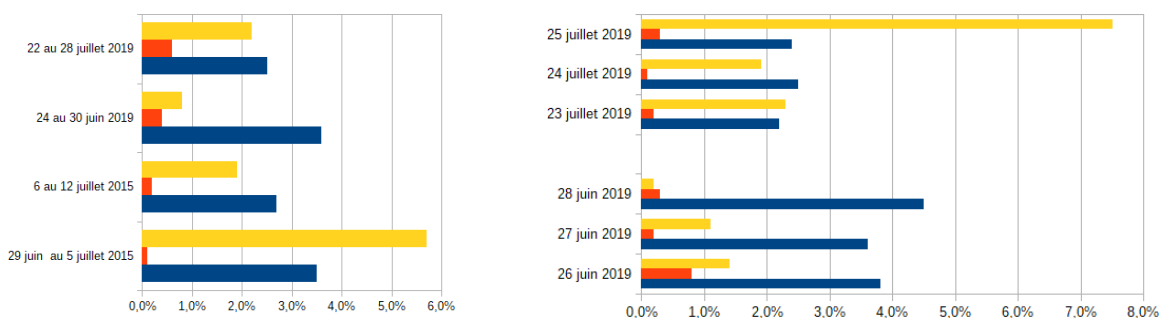


Figure 33 : Transilien, comparaison entre les canicules de 2015 (29 juin au 8 juillet) et les deux canicules de 2019 du pourcentage de non ponctualité hebdomadaire à 5 minutes selon la cause (Source : SNCF Transilien) ;

⁵⁴ Pourcentage de train qui arrivent avec plus de cinq minutes de retard par rapport à l'horaire prévu.

⁵⁵ En sus des trains, la SNCF exploite l'ensemble des lignes RER, et une partie des RER A (branches Nanterre préfecture - Cergy-le-Haut et Nanterre Préfecture Poissy ainsi que la partie nord de la gare du nord du RER B (les autres parties sont exploitées par la RATP).

⁵⁶ Météo : tout aléa climatique confondu.

⁵⁷ Plus grande réserve de matériel.

6.5. Transilien : taux de matériel climatisé/ réfrigéré selon la ligne en 2019 (source : plan canicule 2019 de SNCF Réseau)⁵⁸

Ligne	Taux de matériel climatisé	Déploiement climatisation
Ligne A	100%	Tous les MI2N + MI09 RATP sont climatisés
Ligne B	90%	Tous les MI79 SNCF+RATP sont climatisées – Reste MI84 RATP à modifier
Ligne C	34.6%	Toutes les Z20900 sont climatisées. (Les autres Z2N on non climatisées)
Ligne D	0 %	Renouvellement du matériel à partir de 2019 (Régio2N sur D-SUD) et 2021/25 (RER 2N NG sur RER D)
Ligne E	16 %	10 rames NAT climatisées et 53 MI2N (sans clim) Renouvellement du matériel MI2N à partir de 2021/2022 (RER 2N NG)
Lignes H, K	100%	NAT à 100%
Ligne J	100%	NAT et VB2N climatisée
Ligne L	51,19%	NAT climatisées et Z6400 non climatisées en cours de remplacement 2019/2020
Ligne N	90%	Reste 4 Z2N non climatisée
Ligne P	67.90%	
T4 Aulnay-Bondy + T11	100%	Rames Tram Train climatisées
Ligne R	62.75%	Remplacement des Z2N par des REGIO2N Climatisés en 2019
Ligne U	0 %	Z2N non climatisées / Pas de renouvellement de matériel à court terme

6.6. Mesures préventives pour le confort des voyageurs

Pour éviter des stationnements trop prolongés des trains sous forte chaleur, des actions ont été menées durant les deux épisodes caniculaires : stores baissés, maintien de la climatisation des rames en période de garage ou encore mise en unité multiple de certaines rames pour diminuer la densité voyageur (deux rames mises bout à bout).

Hors Transilien, une obligation de fonctionnement de la climatisation au départ ou à l'origine de gares en zone de vigilance rouge a été mise en place afin de réduire le risque de sur-incident. Les trains non équipés n'ont pas circulé (annulation des services des trains V2N le 25 juillet). Pour le Transilien, le plan transport étant allégé en été, les trains climatisés ont été prioritairement mis en circulation. Lorsque la climatisation des cabines de conduite étaient en panne, il a été procédé lorsque c'était possible au retournement de la rame.

En cas de panne en rase campagne, sans électricité ni climatisation, en plein soleil, la température peut alors rapidement atteindre 40 °C. Le plan canicule prévoit la mise en œuvre d'aération (ouverture des portes côté talus), puis le cas échéant l'évacuation prioritaire des voyageurs en cas d'arrêt en pleine voie et d'absence d'alimentation électrique ou de climatisation dès que l'information est donnée et que l'arrêt dépasse 15 minutes. Des conventions avec certaines préfectures ou/et la protection civile et la croix rouge française permettent à la SNCF, contre rémunération, de solliciter les services départementaux dans le cadre de demande d'assistance aux voyageurs en gare ou à bord (évacuation/transbordement, avitaillement/hébergement d'urgence). Ces conventions ne couvrent pas tout le territoire, ce qui peut poser problème⁵⁹.

⁵⁸ À noter que par le terme « climatisé », la SNCF englobe dans ce tableau le matériel à ventilation réfrigéré et celui réellement climatisé.

⁵⁹ Par exemple le 26 juillet 2019, dans le Nivernais, alors que l'intercités Clermont-Ferrand-Paris a accusé 12 heures de retard, les pouvoirs publics locaux, malgré plusieurs sollicitations des salles de crise territoriales et régionales, n'ont pas donné suite aux demandes de prêt du gymnase et d'avitaillement des voyageurs en eau.

Le plan canicule, qui a été appliqué, prévoit outre une information à destination des voyageurs avec une incitation à ne pas se déplacer si cela s'avère possible, du stockage préventif en gare (bouteilles d'eau et paniers repas) et des distributions de bouteille d'eau dans certaines gares par les « gilets rouges »⁶⁰.

⁶⁰ Tout le personnel SNCF volontaire qui n'est pas en première ligne sur le plan opérationnel.

7. Réseau et service de transport de la RATP

7.1. Mesures préventives et exceptionnelles mises en œuvre par la RATP

Des campagnes de maintenance préventive du matériel roulant sont réalisées à compter du 15 mai axées sur la ventilation et la climatisation du matériel, ainsi que des tournées de surveillance des organes susceptibles d'être impactés par la chaleur : locaux chauds non climatisés répertoriés dans le métro, contrôle visuel en journée pour observer les zones de déformation à risque des caténaires dans le tramway et RER, surveillance journalière de la température du rail du 15 mai au 15 septembre (sauf en cas d'intempéries). C'est ainsi que 150 zones ont été identifiées comme étant à risque en cas de forte chaleur.

La RATP dispose d'un plan « forte chaleur » qui comprend des mesures de prévention en fonction des niveaux de température : protection du réseau d'infrastructures et du matériel, de son personnel et du confort des voyageurs. Ainsi en cas de vigilance rouge, la RATP organise des tournées d'inspection pour surveiller les plateformes, voies, caténaires, aiguillages, et trois fois par jour relève la température du rail pour déclencher des points de surveillance complémentaires, pouvant aboutir à des interventions de maintenance ou des restrictions de circulation. Six ouvrages potentiellement à risque (talus) ont été instrumentés à titre expérimental, en attente du retour d'expérience.

En juin, la RATP a mis en application les mesures du plan de prévention « fortes chaleurs » usuelles qu'elle a renforcé lors de la canicule de juillet :

- vérification du bon fonctionnement de la ventilation réfrigérée sur le parc matériel, maintien des ventilations réfrigérées des trains garés (RER A et B, ligne 5), garage des bus à l'ombre, passage à la machine à laver des rames de la ligne 1 et du RER A, limitation des rames sans ventilation réfrigérée sur le RER B, maintien de trains longs en soirée pour limiter « la chaleur humaine » (moins de densité) ;
- des équipes supplémentaires ont été mobilisées, notamment sur le RER, pour faciliter la gestion des malaises, signaux d'alarme et l'information voyageur ;
- pour les voyageurs : la RATP a relayé les messages de santé publique (limitation des déplacements, hydratation...), distribution d'eau en certains points ;
- pour les conducteurs de bus : distribution de bouteilles d'eau et dix minutes en plus de battement fortes chaleurs par tour avec cinq minutes de plus le jour de l'alerte rouge, autorisation de port de bermuda ou de jupe portefeuille. Horaires décalés pour les agents de maintenance ;
- pour les conducteurs et agents mobiles de métro et RER : eau fraîche et/ou brumisateur et, pour les lignes les plus chaudes, sorbets, conducteurs de relève et présence d'encadrement sur le terrain.

7.2. Détails des incidents constatés la journée du 25 juillet

Les incidents observés sur le réseau RATP la journée du 25 juillet, jour du record absolu de température en Île-de-France sont les suivants :

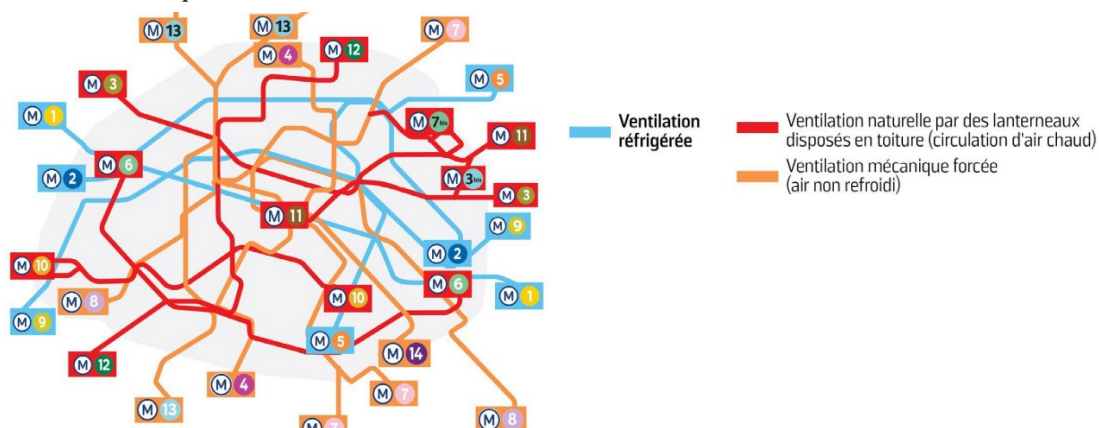
- des ralentissements ont été mis en place suite à l'augmentation de la température des rails sur les lignes de tramway T 1 et T 2, les parties aériennes de métros des six lignes 1, 2, 5, 6, 8 et 13 (30 ou 40 km/h en inter-station contre 60 à 80 km/h normalement), et celle du RER A,

et, suite à la restriction de la traction sur la caténaire, sur le RER B (60 km au lieu de 8-100 km/h pour 110- 120 km/h selon les tronçons) ;

- soulèvement de quai dans la gare RER de Massy Palaiseau et sur les plateformes de voies en deux points du réseau tramway ;
- claquage « d'artères » (câbles électriques dans le sol) dus à des mouvements de sol plus nombreux à cause de la sécheresse, pannes des portes automatisées de métro exposées au soleil en augmentation ;
- record de pannes de matériel roulant dû au refroidissement moteur : 150 bus contre 45 par jour depuis le début du mois de juillet, deux avaries sur le T 1 et augmentation des avaries matériels pour le métro ;
- quatre malaises voyageurs sur les lignes A et B du RER impactant le service, et plus grand nombre d'incidents voyageurs dans le métro ;
- 10 % d'escaliers mécaniques à l'arrêt et multiplication par deux des ascenseurs à l'arrêt.
- aucun problème d'alimentation en énergie électrique de traction n'a été constaté grâce au maillage du réseau d'énergie de la RATP ;

7.3. Taux d'équipement de rafraîchissement du matériel roulant RATP en 2019 et dans le futur (source RATP)

- **Réseau métro** : cinq lignes équipées de ventilation réfrigérée, cinq de ventilation mécanique forcée et sept de ventilation naturelle.



Avec l'arrivée des nouveaux matériels roulant pneu (MP 14) et la commande pour renouveler les matériels roulant fer de huit lignes de métro (410 rames de type MF 19), le parc métro sera équipé de ventilation réfrigérée à hauteur de 70 % d'ici 2027 et de 90 % à échéance de 2030.

- **Réseau RER** : 89 % du parc est équipé de ventilation réfrigérée (100 % sur la ligne A et 90 % sur la ligne B).

Sur le RER B tous les MI 79 rénovés (soit 3/4 du parc) sont équipés de ventilation réfrigérée. Les MI 84 sont aujourd'hui équipés de ventilation mécanique forcée. Avec la rénovation en cours des MI 84, la totalité du parc RER sera équipé de ventilation réfrigérée à échéance de 2022.

- **Tramways** : 100 % des rames des sept lignes (T 1 à T 8) sont équipées de ventilation réfrigérée.
- **Bus** :
 - 94 % du parc avec ventilation mécanique forcée ;
 - 5 % du parc avec ventilation mécanique forcée réfrigérée ;
 - 1 % du parc avec climatisation allégée.

Suite à la décision d'Île-de-France Mobilité, en août 2018, de généraliser une solution de climatisation « douce » pour les nouveaux autobus commandés en Île-de-France, les premiers bus RATP équipés de climatisation sont arrivés en exploitation à partir de juillet 2019.

La climatisation sera généralisée sur tous les véhicules neufs mis en exploitation à partir de 2020 : 37 bus équipés de climatisation circuleront donc dès le mois de juillet 2020 sur les lignes 208 et 393 et d'ici fin 2025, 75 % du parc bus sera équipé de la climatisation voyageur.

8. Mesures prises sur les réseaux de transport urbain de province durant les canicules

Pour les tramways, la notion de tournée de chaleur est inexistante, mais des règles de surveillance sont définies dans les règlements de sécurité et d'exploitation de chaque réseau. Elles prévoient des dispositions de vérifications régulières par les conducteurs, et d'interventions, - le cas échéant-, par des équipes de maintenance.

Les services de transport des métropoles ont mis en place des mesures spécifique pour leurs agents et pour les voyageurs :

- pour les voyageurs : information voyageurs, procédures sur les malaises voyageurs mis en place à l'attention des conducteurs, distribution ponctuelle d'éventails et de bouteilles d'eau dans les stations principales (Lyon), équipe de renseignement en certains points (gare, aéroport) équipée d'un réservoir d'eau et de brumisateurs pour les clients (Bordeaux) ;
- pour les agents : décalage horaire des ateliers, kit du conducteur de bus ou tramways (brumisateurs, thermos, serviette, éponge, autorisation du bermuda), eau fraîche aux points relais, conducteurs en réserve en cas de malaise d'un collègue, circulation en moto le long du réseau pour vérifier que tout va bien ;
- plan renforcé de vérification des climatisations quotidiennes (si la climatisation ne fonctionne pas, le véhicule n'est pas mis en circulation -cas de Bordeaux-). Lorsque le parc n'est pas climatisé en totalité, circulation préférentielle des rames qui le sont ;
- recherche d'entreposage de véhicules au frais lorsque cela s'avère possible : la métropole lyonnaise, pour laquelle 100 % des rames de tramways sont climatisées ainsi que 99 % des bus et trolleybus mais pas celles du métro, installe progressivement dans ces dernières des fenêtres à battant. Durant la nuit, les rames de métro stationnent exceptionnellement en tunnel ou dans les ateliers, ou encore dans des zones de remisage où des ventilateurs ont été installés. Trente rames climatisées doivent arriver sur une des quatre lignes de métro en 2020. Le SYTRAL⁶¹ stocke les rames de tramway dans des parkings couverts où il y a un flux d'air frais.

⁶¹ SYTRAL : Syndicat mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise

9. Transport collectif, réflexions menées

9.1. Détails des axes d'amélioration lancés par la SNCF suite au REX 2019

Suite aux épisodes caniculaires 2019, comme chaque année, la SNCF a fait un retour d'expérience qui a conduit à mener trois axes d'amélioration pour 2020.

. **La conception des installations et des matériels et de résistance des composants et systèmes à la chaleur et aux effets cumulatifs de longues périodes de chaleur et sécheresse :**

Les postes et installations de sécurité critiques font déjà l'objet d'un plan de sécurisation intégrant le sujet de la résistance climatique. La SNCF poursuit ses travaux comme la révision des normes pour la voie et les installations, l'identification des points vulnérables sur les ouvrages d'art ou la professionnalisation des acteurs dans la gestion de la végétation. Elle travaille en collaboration avec le milieu de la recherche : thèse et étude du comportement des composants, développement d'un laboratoire mobile à grand rendement de diagnostic des plate-formes de voies ferrées, mais aussi recherches dans le domaine du matériel.

. **La prévention :**

Elle est basée sur un dispositif de campagne saisonnière déjà en place et qui a fait ses preuves. SNCF Réseau, suite au Rex de l'été 2019 a engagé un travail de fond pour réduire les incidents liés aux installations fixes de traction électrique, avec la même démarche que celle utilisée pour le volet « rail ». Elle comporte un volet de concertation avec la RATP et les fournisseurs d'énergie pour partager les meilleures pratiques. Enfin, la SNCF a diligenté il y a quinze ans une campagne de diagnostic des fondations des ouvrages d'art en milieu aquatique, campagne qui va être relancée. Par ailleurs, lors d'aménagement des gares comme à Lyon, il est évité de concentrer les voyageurs au même endroit (implantation des écrans d'informations, commerces, sièges), et de privilégier les zones voyageurs en sous-sol où il fait plus frais, lorsque c'est possible.

. **Le volet opérationnel :**

. en évitant d'exposer les clients aux risques de fortes chaleur : distribution d'eau, évacuation prioritaire en cas de panne, et en limitant ces risques par des invitations à limiter les déplacements non indispensables et éventuellement par des limitations de vitesse ou de capacité ;

. avec une réponse graduée de mesures de prévention aux alertes émises par Météo-France dans le plan canicule 2020 selon trois seuils, en fonction de la sévérité de l'épisode caniculaire ;

. avec la mise en place de chaînes de réparation des groupes de climatisation au sein de chaque technicentre de maintenance TER, pour accélérer la remise en service du matériel, et la création d'un groupe de travail spécifique aux matériels roulants les plus sensibles aux fortes chaleurs (REGIO2N, qui circulent depuis 2014 sur les lignes TER et Transilien notamment) ;

. en mobilisant les moyens d'intervention sur les plages critiques entre 16 et 22 h (pic de chaleur puis de trafic).

9.2. Retour d'expérience des canicules sur les réseaux de transport ferroviaire et urbain en Europe

Les informations recueillies proviennent de l'enquête menée dans des délais très courts par la DG Trésor en Suisse, Italie et Portugal, complétées par des éléments fournis par l'UIC.

9.2.1. En Suisse : retour d'expérience sur la canicule de l'été 2019 (Source : enquête DG Trésor)

9.2.1.1. Retour d'expérience dans les infrastructures ferroviaires

a - Ampleur du phénomène en Suisse

Lors de la canicule de juin 2019, les rails des infrastructures suisses ont connu des températures supérieures à 70 degrés. Des phénomènes de dilatation des rails, appelés « déjettements » en Suisse et « flambages » en France, se produisent alors, particulièrement dans les courbes. Les rails sont soudés les uns aux autres, il y a donc un risque de déraillement dû aux déjettements.

Ces problèmes se sont concentrés dans la région genevoise, dans l'Oberland zurichois, à proximité de Brugg (AG) et près de la gare de Berne, point névralgique du réseau. La dilatation des rails de la gare de Berne a provoqué des perturbations en chaîne du trafic. Une réduction de la vitesse est la première mesure engagée en cas de doute. Le 6 juillet, le trafic entre Genève et la France a été interrompu pour la même raison.

Les CFF (Chemins de fer fédéraux suisses) enregistrent habituellement ces phénomènes trois à sept fois par an. Lors des épisodes caniculaires de juin 2019, près de 40 % des voyageurs avaient subi des retards sur les grandes lignes. Le 27 juin, journée la plus perturbée, près d'un voyageur sur quatre en Suisse avait vu son train annuler ou arriver en retard.

À noter que les CFF ne connaissent pas de problèmes particuliers concernant les feux de talus. Ces derniers sont régulièrement entretenus pour éviter tous risques d'incendie, notamment par une étincelle lors du meulage des rails.

b - Actions menées pour préserver les infrastructures

. Le refroidissement des rails par l'eau

Il est possible de refroidir les rails en les arrosant d'eau à l'aide d'un wagon-citerne. Les CFF disposent pour ce faire des trains d'extinction et de secours qui circulent sur les voies avec un réservoir suffisant pour fonctionner plus de trois quarts d'heure sans se ravitailler. Cette solution était jusqu'à présent privilégiée et utilisée lors de la première vague de chaleur au mois de juin 2019. Les CFF utilisent principalement cette solution sur les doubles voies en total fonctionnement, contrairement aux voies en chantier pour lesquelles la peinture blanche est privilégiée. L'arrosage d'une voie à proximité d'une autre en chantier aurait pour conséquence de déstabiliser les chantiers. L'arrosage des voies avec une eau à 25 °C permet de réduire la température des voies de 20 °C en quelques minutes.

. Le changement de structure des rails

Les CFF examinent désormais la possibilité de changer la structure des rails. L'une des possibilités consiste à recourir à des traverses en béton plutôt qu'en bois. Toutefois, si les traverses en béton sont très utilisées en France, ce matériau n'est pas aussi adéquat pour le cas suisse. Une traverse en bois pèse environ 80 kg, 70 kg en tout acier et 280 kg pour un mixte acier-béton. Si le béton est plus économique et plus résistant aux phénomènes de flambage, la fondation des voies des CFF est plus meuble que celui dont dispose la SNCF. La forte concentration de sols tourbeux en Suisse explique en partie cette caractéristique.

Un autre changement de structure consiste à augmenter la température « de neutralisation », c'est-à-dire la température à laquelle un rail est chauffé avant d'être mis en place sur le ballast. En Suisse, celle-ci est de 25 degrés et pourrait être relevée de 5 degrés, afin de minimiser les forces en présence entre les rails à cause des variations de température. En France, ce procédé est appelé « libération ». La température de libération est de 30 degrés en France, de façon similaire à l'Italie. Si

une plus haute température de neutralisation ou de libération améliore la tenue des rails en cas de hautes températures, ce procédé rend plus vulnérable les rails aux basses températures. Le changement de température de neutralisation ou de libération présente alors un intérêt limité.

. La peinture en blanc des rails

Il convient en premier lieu de préciser les caractéristiques de cette « peinture blanche ». Il existe deux types de peinture blanche. De la véritable peinture blanche a été testée par les CFF mais ne présente pas de résultats concluants. En effet, cette dernière ne réduirait que de 2 degrés la température des rails et nécessite une application répétée dans le temps, ce qui augmente le coût de cette technique. Une seconde « peinture blanche » consiste en un isolant qui comprend des microbilles de céramique mélangé à un liquide naturel blanc.

Une étude de l'École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) a montré que cette mesure pouvait abaisser la température de 7 degrés. Lors des entretiens avec les CFF, des doutes ont cependant été émis sur cette étude. L'étude de l'EPFZ ne prendrait pas en compte les conditions réelles d'un train en mouvement.

Lors de l'épisode caniculaire de juillet 2019, les CFF ont utilisé les deux types de peinture blanche dans la région de Soleure. La compagnie suisse a principalement utilisé cette technique dans un objectif de communication, afin de rassurer les usagers sur la recherche de solutions. Dans ce contexte, les tests menés à Soleure ne permettent pas de déterminer de bilan fiable mais les résultats évoquent une réduction de 5 à 7 degrés des rails.

Les CFF prévoient de faire un véritable test à partir de juin 2020 pendant trois mois avec la peinture blanche contenant un isolant. Un tronçon de rails sera traité sur 600 mètres dans le canton de Vaud⁶². Cette étude permettra de décider ou non de la généralisation de ce procédé sur les doubles voies en chantier. Les CFF mentionnent une technique de pulvérisation sur les faces latérales des voies. L'absence de peinture blanche sur la face du rail en contact avec le train est primordiale pour ne pas gêner la circulation du train.

. La température à l'intérieur des trains

94 % des trains voyageurs sont climatisés. D'ici à 2020, les CFF veulent que la climatisation soit installée dans 97 % des trains grandes lignes.

Lors des entretiens avec les CFF, la possibilité d'appliquer la peinture blanche contenant un isolant sur le toit du train a été évoquée. L'utilisation de cette peinture, dont les effets ne sont pas encore vérifiés, reste pensée uniquement pour les rails.

9.2.1.2. Retour d'expérience sur les effets des épisodes caniculaires de 2019 dans les autres infrastructures de transports publics en Suisse

Les échanges avec les autres autorités compétentes pour les infrastructures de transports publics soulignent un effet limité des canicules en dehors du secteur ferroviaire. **Dans ce contexte, les autorités fédérales ou locales n'ont pas élaboré d'enquête ou de mesures spécifiques suite aux épisodes caniculaires.**

⁶² Deux à trois entreprises sont en contact avec les CFF pour ce test. Les prix communiqués lors des entretiens sont compris entre 40 CHF/mètre et 160 CHF/mètre. La composition de la peinture peut différer d'une entreprise à l'autre. La préférence des CFF semble aller à l'entreprise proposant un prix de 160 CHF/m. Cette entreprise annonce pouvoir réduire des rails d'une température de 60 degrés jusqu'à 40 degrés après des tests effectués avec l'EPFZ.

a - Infrastructures routières

L'OFROU (Office fédérale des routes) n'a connaissance que d'effets d'usure prématurée sur les routes suisses. La chaussée se dilate par endroit et déforme ainsi la route. Le phénomène d'usure prématurée est également perceptible sur d'autres infrastructures tels que les ponts avec la dilatation des joints. Ces phénomènes n'ont pas donné lieu à un recensement particulier ou à des mesures spécifiques.

b - Infrastructures urbaines (tramway, bus, métro)

La gestion décentralisée des transports publics urbains nécessitent des contacts multiples afin d'étudier l'ensemble des dispositifs publics. Un canton (Vaud) et une commune (Genève) ont fait l'objet d'un entretien chacun et ont transmis les réponses suivantes. Les incidents rencontrés restent d'une ampleur limitée et n'ont pas demandé d'adaptations particulières des infrastructures.

Le cas des transports de la ville de Genève

La régie des transports publics genevois (TPG) n'a pas constaté d'effets particuliers dus aux canicules sur ses infrastructures.

Le tramway de Genève est encastré dans des voiries ce qui empêche les phénomènes de déjettements que peuvent connaître les CFF sur le réseau ferroviaire. Les épisodes de forte chaleur de l'été 2019 ont pu occasionner des perturbations lors des travaux effectués sur les infrastructures du tramway de Genève. Ce phénomène est cependant habituel pendant l'été. Les TPG doivent alors refroidir les infrastructures en travaux à l'aide d'eau pour pouvoir travailler les matériaux sous une température plus adéquate.

Les voies d'autobus des TPG ont connu des déformations. Une fois de plus, cette situation n'est pas nouvelle. Les fortes températures de l'été augmentent la sensibilité de la chaussée qui se déforme sous le poids du bus, ou quand ce dernier est en contact avec les ornières de la voie d'autobus.

Le cas des transports dans le canton de Vaud

De la même façon, le canton de Vaud assure ne pas avoir fait face à des problèmes majeurs en lien avec les différents épisodes caniculaires. La régie des transports publics lausannois (TPL), qui comprend le seul métro suisse, ne recense pas d'incidents sur les bus ou le métro de Lausanne.

9.2.2. Au Portugal : retour sur l'expérience caniculaire 2018 (source enquête DG Trésor)

Le Portugal n'a pas connu d'épisode caniculaire en 2019 : le mois de juin 2019 a été le plus froid depuis 2000 et celui de juillet était dans la moyenne des 30 dernières années. Le Portugal a néanmoins connu un épisode caniculaire au milieu de l'été 2018 avec un pic de 46.8 °C (voir carte ci-dessous)) dans le district de Santarém (nord-est de Lisbonne). L'impact sur les infrastructures de transports n'a pas fait l'objet d'une attention médiatique marquée : le traitement a surtout porté sur le confort des passagers et fait ressortir l'insuffisance chronique de l'investissement public.

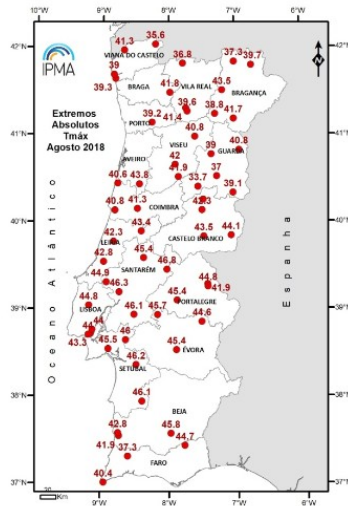


Figure 35 : Température maximale lors de la canicule de 2018 (source institut portugais de la mer et de l'atmosphère).

9.2.2.1. Les impacts sur les infrastructures de transport et les actions prises pour les limiter

Au début du mois d'août 2018, de nombreuses plaintes de passagers ont été enregistrées sur des plateformes de réclamations en ligne visant notamment les entreprises de bus opérant dans les districts de Libonne *Ribatejana*⁶³ et *Rodoviária de Lisboa*⁶⁴. Ces plaintes portaient surtout sur l'inefficacité des systèmes de climatisation. *Ribatejana* avait indiqué qu'il s'agissait d'un dysfonctionnement ponctuel du système de climatisation dû à la canicule et qu'elle procédait à l'immobilisation et à la réparation des véhicules dès que ces problèmes étaient signalés. Pour sa part, la société *Rodoviária de Lisboa* avait affirmé investir chaque année dans le renouvellement de climatiseurs, soulignant que la plupart des véhicules de sa flotte étaient équipés d'appareils récents. L'entreprise avait néanmoins déclaré que, compte tenu des chaleurs extrêmes d'août 2018 et des ouvertures fréquentes des portes, la capacité des climatiseurs s'avérait insuffisante pour maintenir une température fraîche à l'intérieur des véhicules.

S'agissant des trains⁶⁵, la majorité des plaintes émises en août 2018 concernait également la climatisation. Lors de cet épisode caniculaire, les partis politiques de l'opposition de droite CDS-PP et PSD avaient accusé l'entreprise ferroviaire publique *Comboios de Portugal* (CP) de défaillances dans l'entretien des wagons, notamment en matière de climatisation. Concernant les mesures prises, CP avait décidé de réduire pendant une journée le nombre de passagers à bord des trains, limitant la vente de billets pour les trajets intercités effectués par les trains *Alfa Pendular*⁶⁶ et *Intercidades*⁶⁷ afin de diminuer la charge thermique dans les wagons.

⁶³ Entreprise de transport public opérant dans les districts de Santarém et de Lisbonne.

⁶⁴ Entreprise de transport public opérant dans le Grand Lisbonne.

⁶⁵ L'exploitation et la maintenance du réseau et des gares ferroviaires sont assurées par *Infraestruturas de Portugal* (IP), entreprise publique qui assure aussi la gestion du réseau routier national. Le transport de passagers par voie ferrée est majoritairement assuré par l'entreprise publique *Comboios de Portugal* (CP), que ce soit pour les liaisons nationales, régionales ou urbaines dans les aires métropolitaines de Porto et de Lisbonne. La seule exception est la liaison entre Lisbonne et Setúbal, assurée par l'opérateur privé *Fertagus*.

⁶⁶ Train pendulaire exploité par la compagnie publique portugaise CP.

⁶⁷ Train Inter Cités exploité par la compagnie publique portugaise CP.

Concernant les actions préventives pour limiter les impacts des épisodes caniculaires sur les trains, selon CP aucune procédure spéciale n'est prévue, à l'exception d'un entretien plus approfondi des équipements, notamment avant l'été. Dans les wagons climatisés, un système automatique de temporisation de la fermeture des portes permet de réduire les pertes thermiques, la surcharge des équipements de climatisation et la consommation énergétique. Par ailleurs, pendant des périodes caniculaires, il est recommandé de procéder à l'ajustement de la température intérieure à des niveaux qui ne surchargent pas le fonctionnement des équipements, minimisant ainsi le risque de panne. La plupart des technologies de climatisation des trains portugais sont toutefois obsolètes et non modifiables ; ainsi, celle des trains *Alfa Pendular* n'a pas été conçue pour faire face à des températures extérieures supérieures à 42 °C⁶⁸. Les défaillances sont donc surtout liées aux limites intrinsèques des climatiseurs, désormais inadaptés aux conditions climatiques rencontrées lors des épisodes de forte chaleur.

Pendant cette période caniculaire et lors des pannes de locomotives, CP a proposé des alternatives aux passagers en bus et en taxi. Par ailleurs, en cas de panne du système électronique, l'entreprise ferroviaire CP a indiqué qu'elle procédait à l'immobilisation et au remplacement des locomotives, étant donné que certains composants ne sont plus fabriqués.

Concernant les mesures prises afin de limiter les impacts des épisodes caniculaires sur les infrastructures de transport, selon *Infraestruturas de Portugal* (IP), aucune procédure spéciale n'a été déclenchée relativement à l'entretien ou au contrôle des ponts (routiers et ferroviaires)⁶⁹. Des instructions techniques concernant l'entretien des longs rails soudés (LRS) interdisent certains travaux sur la voie si les températures sont supérieures à 40 °C ou à certaines périodes de l'année. Afin de prévenir et d'atténuer l'apparition de défauts de nivellement transversal de la voie ferrée, chaque centre de maintenance évalue la nécessité de réaliser des contrôles extraordinaires et/ou de mettre en place de limitations de vitesse.

Concernant les incendies de forêt dont l'occurrence tend à augmenter avec les épisodes caniculaires, les mesures de contrôle comprennent notamment le débroussaillage de la végétation pour protéger les infrastructures ferroviaires⁷⁰. En fonction du niveau de vigilance météorologique, des circulaires sur la propagation accidentelle des incendies sont également publiées en interne. Dans le contexte routier, un plan de signalisation est mis en œuvre dès que les températures dépassent 30 °C.

9.2.2.2. L'insuffisance chronique de l'investissement public

Pour mémoire, le secteur du transport ferroviaire souffre d'un manque chronique d'investissement public depuis une vingtaine d'années, qui a entraîné une dégradation des voies et des équipements, un manque d'entretien global et une insuffisance de matériel roulant⁷¹ pour répondre aux besoins de la population et à l'augmentation du tourisme. En 2016, près de 60 % des lignes de chemin de fer portugaises étaient ainsi considérées en état *médiocre* ou *mauvais*⁷² (cf. annexe 2). En 2019, le ministre des Infrastructures Pedro Nuno Santos s'est publiquement excusé pour les annulations récurrentes de la part de CP, en annonçant un financement de 45 M€ sur trois ans pour augmenter

⁶⁸ Normalement, lorsque la température extérieure est de 40 °C, la climatisation de l'*Alfa Pendular* peut maintenir la température intérieure à 28 °C, mais au-delà, elle ne permet plus d'obtenir un niveau de rafraîchissement suffisant. De plus, pendant les mois d'été, les trains ont généralement un taux d'occupation élevé, ce qui augmente la charge thermique à l'intérieur des wagons.

⁶⁹ Ces structures sont considérées comme celles étant en meilleur état au niveau du réseau ferroviaire.

⁷⁰ Le débroussaillage d'environ 4 000 ha de végétation est effectué annuellement, pendant les mois d'avril et mai. Selon *Infraestruturas de Portugal* (IP), ces travaux ont coûté 3,8 M€ en 2017.

⁷¹ Ceci oblige l'opérateur national CP à réduire ses opérations, à annuler des trajets et à utiliser des matériels anciens, moins performants et moins confortables. Pour mémoire, pendant 10 ans (2008-2018), il n'y a pas eu d'achat de matériel roulant neuf. Par exemple, les trains *Alfa Pendular* ont été achetés il y a plus de 20 ans.

les recrutements et les investissements de la part de l'opérateur. À la suite du remplacement de l'ancien président de CP par Nuno Freitas, la même année, l'entreprise a déclaré qu'elle souhaitait restaurer et moderniser les matériels roulants au Portugal. Par ailleurs, le groupe suisse *Stadler* a remporté les appels d'offres pour livrer 22 trains régionaux à CP (contrat de 167,8 M€). En attendant la livraison des nouveaux trains, CP loue des trains auprès de l'opérateur espagnol *Renfe*⁷³, ce qui s'avère toutefois insuffisant pour répondre aux besoins : des annulations de trajets sont fréquentes pendant les périodes chargées, notamment au cours de l'été.

9.2.3. Italie : retour d'expérience de la canicule 2019 (source enquête DG Trésor)

La prise en compte de la chaleur et de la sécheresse semble être intégrée sans poser de difficultés majeures, alors que les vagues de froid ralentissent fortement les trafics en Italie.

9.2.3.1. Rete Ferroviaria Italiana (RFI), gestionnaire des infrastructures applique « stricto sensu » les lignes directrices de l'Union internationale des chemins de fer.

Ainsi, les Ferrovie dello Stato précisent que Rete Ferroviaria Italiana (RFI) réalise une mesure directe de la température des rails, pour contrôler et prévenir d'éventuels risques en cas de fortes chaleurs. Ces mesures sont réalisées pendant les pics de chaleur, manuellement et au moyen de sondes. RFI a défini des seuils admis qui, s'ils sont atteints, entraînent une vigilance particulière sur l'infrastructure et éventuellement une limitation de la vitesse de circulation. La valeur des seuils dépende des matériels et des composants des rails.

En complément des informations de la DG Trésor, selon l'UIC, les Italiens utilisent de la peinture blanche pour éviter la dilatation des rails en cas de très forte chaleur, ce qui diminue la température d'environ 5 °C, et a un effet positif sur le flambement des rails. Cependant, ils doivent être repeints chaque année par un engin gicleur et la peinture qui recouvre le rail ne permet pas de surveiller les éventuelles déformations (surveillance visuelle). Aujourd'hui, RFI semble développer une autre stratégie plus axée sur la résilience.

9.2.3.2. L'Association des entreprises du transport public local (ASSTRA), indique que l'Italie a fait le choix du climatisé pour son matériel roulant (transport urbain et ferré).

À Milan, 50 % des trolleybus⁷⁴, 54 % des trams, l'intégralité de la ligne de métro 1 et la moitié de la ligne 3 du métro sont climatisés. Les nouveaux bus électriques sont équipés de la climatisation.

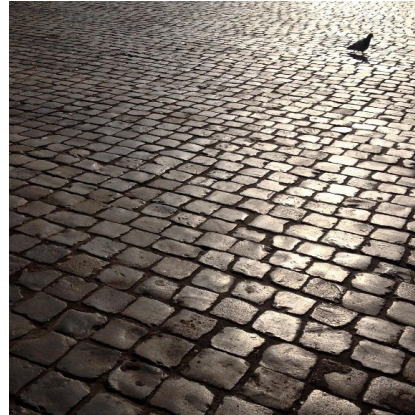
À Rome, au-delà de la climatisation du matériel roulant, on peut noter la présence de fontaines à eau (plate et gazeuse) gratuites, situées à des endroits stratégiques (gares, lieux touristiques). Les solutions anciennes d'aménagement ont été préservées afin de réduire la chaleur de la chaussée tels qu'une végétation créant des effets d'ombrage sur les surfaces artificielles alentour (pins parasols) et

⁷² L'état *médiocre* ou *mauvais* fait référence aux rails, aux traverses et au ballast. Les autres structures ferroviaires (tunnels, ponts, caténaires, systèmes de signalisation, aiguillages et structures de protection) sont considérées comme étant en meilleur état.

⁷³ CP procède à la location de 24 unités de matériel roulant à *Renfe* pour un total de 8,4 M€ par an.

⁷⁴ Le Trolleybus est un véhicule circulant à l'électricité grâce à la présence de deux « fils » le reliant à des câbles aériens électriques (750V en courant continu) situés tout le long de son parcours. Souvent, ces véhicules sont dotés d'une autre capacité motrice afin de pouvoir circuler en dehors du réseau équipés en câbles électriques. Ces bus sont surtout utilisés pour le transport public local.

le revêtement de la chaussée avec les pavés « *sanpietrini* » sans goudron et à la capacité de dilatation forte. La plupart des trains régionaux sont climatisés. En revanche, la présence d'abris-voyageurs sur le réseau de bus n'est pas systématique et aucun tarif préférentiel n'est prévu pour inciter les usagers à emprunter les transports plutôt que leur véhicule en cas de forte chaleur.



Photos 4 : Une fontaine à eau gratuite devant le Colisée, et pavés « *sanpietrini* ».

9.2.4. Autres pays (source UIC) et actions menées par l'UIC

Selon l'International union of railways (UIC), la stratégie poursuivie par l'Espagne pour lutter contre les phénomènes caniculaires consiste à adapter la température de référence au moment de la pose et de l'ajustement des longs rails soudés selon les caractéristiques météorologiques de chaque région. L'Espagne est en effet composée de régions au climat très différencié, avec souvent de fortes plages de température (très chaud l'été, très froid l'hiver), ce qui induit qu'il reste toujours des problèmes de dilatation de voies en période de canicule. La tournée de réglage des tensions des caténaires est organisée jusqu'à trois fois par an sur les lignes à grande vitesse. Son réseau ne comporte cependant qu'environ 16 000 kilomètres de voies (contre un peu moins de 30 000 en France).

En France, cette température de référence est la même sur l'ensemble du territoire soit 25 °C⁷⁵. Cela signifie que le rail est considéré à sa longueur de référence lorsqu'il est à cette température et doit être posé et ajusté avec cette valeur. Cela simplifie les modalités de maintenance qui sont partout les mêmes. Il peut alors supporter des dilatations/rétractations pour une plage allant de -20 °C jusqu'à +65 °C à l'intérieur du rail, soit 45 °C environ de température ambiante⁷⁶ (l'ensoleillement augmente la température dans le rail de 20 °C au-delà de la température extérieure)⁷⁷. Au-delà de cette plage de température, des déformations de la voie peuvent se produire et causer des déraillements. La limitation de vitesse diminue les contraintes sur le rail et limite les déformations.

⁷⁵ Avec quelques dérogations ici ou là.

⁷⁶ C'est ainsi qu'une déformation des voies a eu lieu à Lunel le 28 juillet avec un rail qui a atteint 64 °C !

⁷⁷ Le rail emmagasine la chaleur de rayonnement plus la température ambiante.

10. Infrastructures aéroportuaires et trafic aérien

10.1. Principaux désordres pouvant survenir sur les infrastructures et le transport aérien du fait de canicule ou sécheresse

Les fortes températures vont de pair avec une moindre portance de l'air et nécessitent une augmentation des distances de décollage ou, en cas de piste trop courte, une réduction de la masse au décollage (moins de carburant ou de passagers). De nombreux aéroports français disposent de longueurs de pistes surdimensionnées déjà adaptées à priori au changement climatique (exemple de Charles de Gaulle). Certains aéronefs ont des limitations opérationnelles en cas de très fortes chaleurs (par exemple CRJ⁷⁸ de modèles anciens), et il faut attendre plus longtemps entre deux rotations pour pouvoir décoller⁷⁹. Les fortes températures peuvent causer des défaillances du réseau électrique (notamment les systèmes techniques de navigation aérienne : en France ils sont systématiquement climatisés). En cas de problème de climatisation ne permettant plus d'assurer une température supportable en tour de contrôle, des mesures peuvent être prises : présence moins longue des contrôleurs sur leurs positions voire fermeture de la tour.

Il a par ailleurs été observé une accidentologie en aviation générale assez élevée pendant les périodes de fortes chaleurs 2018 notamment chez les pilotes de plus de 70 ans.

La sécheresse conjuguée à la canicule peut fragiliser les sols supports et dégrader les aires de mouvement, phénomènes éventuellement accentués par le retrait gonflement argile (impact notamment sur les bâtiments). Cela contribue à accélérer le vieillissement des chaussées aéronautiques.

10.2. Mesures mises en œuvre pour pallier aux fortes chaleurs

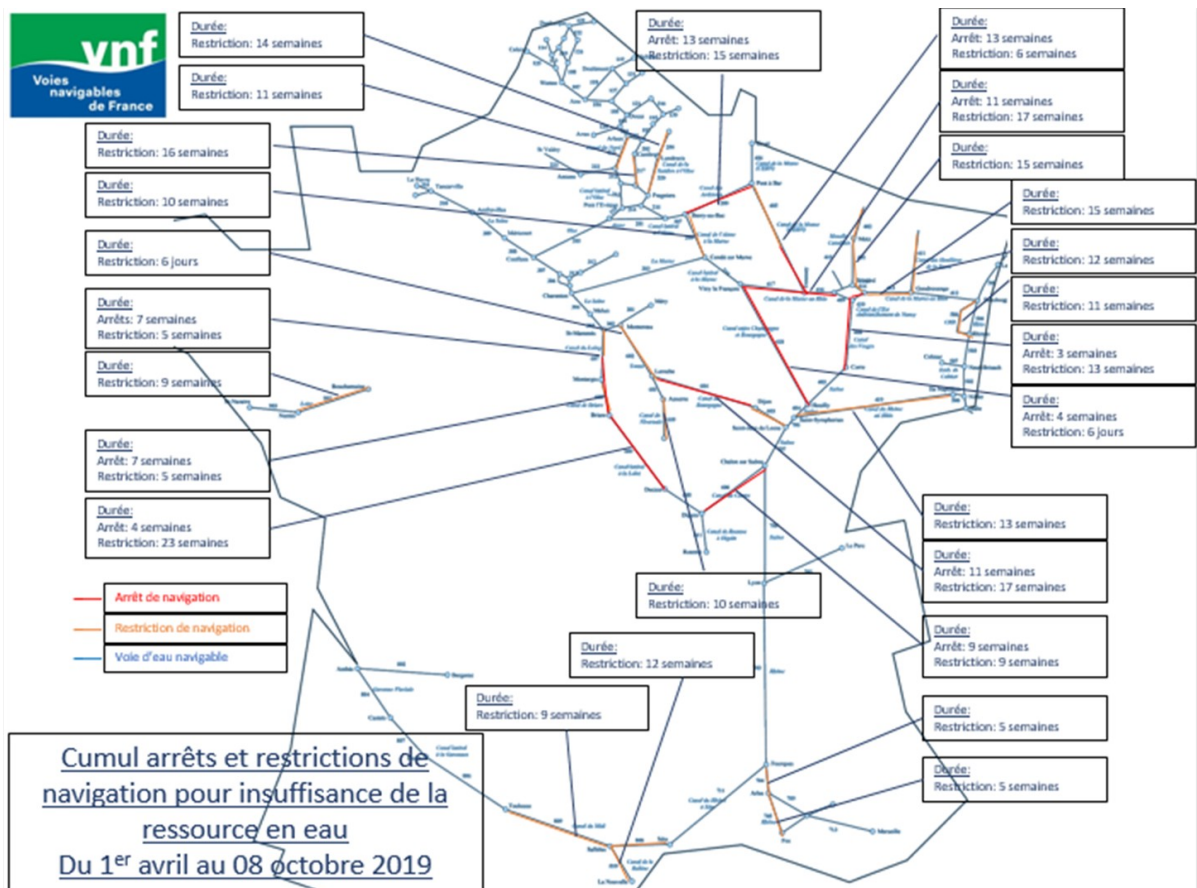
Diverses mesures ont été prises par les gestionnaires d'aéroport pour limiter les impacts de la canicule : diffusion d'information, horaires aménagés, moyens de rafraîchissement, mais aussi, à Bâle-Mulhouse, pour les agents exposés, une tente et distribution de casquettes, parapluies, autorisation d'être en short et rotation des équipes. Les restrictions d'utilisation des groupes auxiliaires de puissance (APU) situés à bord des avions et destinés à produire de l'énergie limitent la possibilité de climatiser les avions au sol pour les passagers, équipages et personnels de nettoyage. Les aéroports commencent à s'équiper de prises électriques de forte puissance au sol ou de petits camions permettant d'alimenter l'avion en électricité. Dans le pire des cas, les voyageurs sont maintenus dans les locaux climatisés de l'aéroport.

⁷⁸ Le Bombardier canadien régional jet (CRJ) est un avion de transport régional à réaction civil conçu pour le transport régional.

⁷⁹ En juin 2017, sur l'aéroport de Phoenix, avec une piste relativement courte et 48,9 °C de température extérieure, les 50 vols de bombardier CRJ aircraft ont été annulés entre 15 et 18 h, ne pouvant décoller au-delà de 47,8 °C, (la limite était bien supérieure avec 52,2 °C pour Boeing et 52,8 °C pour Airbus) : <https://eu.azcentral.com/story/travel/airlines/2017/06/19/heat-cancels-phoenix-flights/409634001/>. Le même phénomène a eu lieu à Sydney en juillet 2003 : <https://www.businessinsider.fr/us/why-planes-cant-fly-in-extreme-heat-2013-7>

11. Infrastructures et transports fluviaux

11.1. Carte du cumul des arrêts de restriction et d'arrêts de navigation pour insuffisance d'eau du premier avril au 8 octobre 2019 (source VNF)



11.2. Actions menées par Voies navigables de France (VNF)

VNF a anticipé le phénomène d'étiage très en amont (suivi du niveau des réserves des barrages à la sortie de l'hiver puis quotidienne en cas de sécheresse), et a publié des points de situation hebdomadaire disponibles sur internet, a informé très en amont la commission nationale des usagers, et diffusé des bulletins hydrologiques et d'avis à la batellerie. Un ensemble d'étude et de travaux sont envisagés par ailleurs :

- (i) optimiser les réserves en eau : travaux de renforcement des barrages réservoirs, ceux-ci n'étant pas remplis à hauteur de la capacité maximale de stockage pour des raisons de sécurité (plan en cours de l'ordre de 50 à 100 M€ sous 5 à 10 ans), et développement de partenariat avec Météo-France pour anticiper les conditions hydro-météorologiques (prévision des précipitations sur les barrages réservoirs pour anticiper les manœuvres de récupération des eaux de pluie, ou de lâcher d'eau en cas de crues rapides) ;

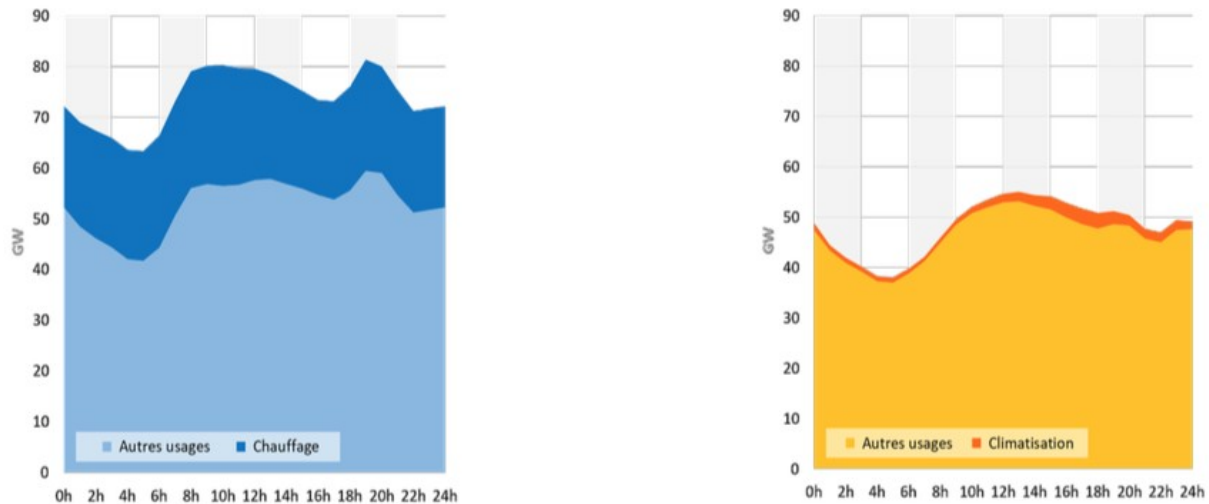
- (ii) minimiser les pertes dues aux fuites et à l'évaporation (cette dernière pouvant atteindre 5 % de pertes en eau) :
 - . instrumenter le réseau pour suivre en temps réel, à distance, avec supervision centralisée, les niveaux d'eau, les débits, les prélèvements permettant de vérifier si le débit réservé n'est pas atteint et qu'il n'y a pas de fuites sur un bief (plan sur deux à trois ans) ;
 - . conforter les digues et l'étanchéité des berges. Entretenir et renouveler des plantations d'arbustes sur les rives pour le confort d'utilisation de la voie d'eau ;
- (iii) optimiser les conditions de navigation par la connaissance du niveau exact de mouillage grâce aux capteurs.

L'ensemble de ces actions (hors plantations/renouvellements d'arbustes) sont intégrées dans le plan de modernisation pour lequel la loi d'orientation des mobilités (LOM) prévoit 30 millions d'euros par an. Enfin VNF cherche à développer un partenariat avec les agences de l'eau pour pousser la recherche dans le domaine des algues invasives.

12. Le réseau d'énergie électrique

12.1. Appels de puissance

À températures de référence, la consommation en énergie de la climatisation représente 3 TWh par an (contre 62 TWh pour le chauffage) et les appels de puissance à la pointe 3 GW pour la climatisation (contre 26 GW pour le chauffage).



12.2. Difficultés de modélisation du gradient d'été

Le gradient d'été reste difficile à modéliser, notamment du fait du faible nombre de jours exploitables pour permettre des analyses, avec des pistes de travail :

- possibilité d'un sur-gradient au-delà d'un seuil de température ;
- évolution à attendre de ce gradient du fait d'une diffusion croissante de la climatisation (entre la première et la seconde canicule, le taux d'équipement en climatiseurs a probablement augmenté, mais dans des proportions difficiles à restituer) ;
- restitution dans les modèles des phénomènes d'îlots de chaleur urbains et de leur influence sur la consommation mesurée.

12.3. Effets de la canicule sur la production et la sûreté des centrales nucléaires (source IRSN)

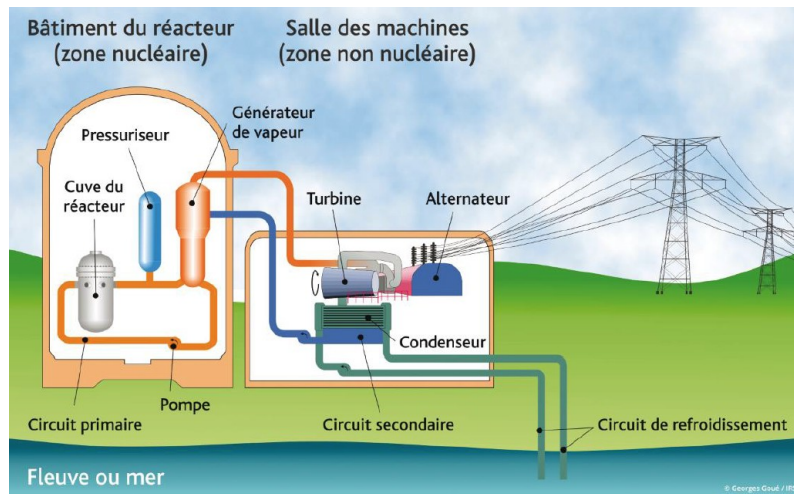


Figure 37 : Schéma de principe du refroidissement d'une centrale nucléaire sans aéroréfrigérant (source IRSN).

Les réacteurs nucléaires (voir schéma ci-dessus) et les piscines d'entreposage du combustible usé doivent être refroidis en permanence. Pour cela, les centrales nucléaires prélèvent de l'eau dans une « source froide » (un cours d'eau, un estuaire ou la mer, selon la situation géographique des centrales), et la rejettent plus chaude, soit en totalité et de manière directe pour les centrales fonctionnant en circuit dit « ouvert » (cf. schéma), soit très partiellement et après refroidissement par passage dans des aéroréfrigérants permettant l'évacuation des calories dans l'atmosphère.

Dans le cas d'une centrale nucléaire utilisant une source froide en circuit ouvert sur un cours d'eau, l'échauffement du cours d'eau dû à ces rejets dépend notamment de la puissance produite par la centrale et du débit du cours d'eau. Il est généralement de quelques degrés⁸⁰.

De manière générale, les systèmes de sûreté des centrales nucléaires sont dimensionnés en considérant certaines températures maximales de l'eau de la source froide et de l'air. Des températures élevées peuvent avoir des conséquences sur le fonctionnement des ventilations, des matériels de sûreté, et sur les capacités de refroidissement des systèmes de sûreté assurant l'évacuation de la puissance du réacteur. Les températures retenues à la conception des réacteurs pour le dimensionnement des circuits de ventilation et de conditionnement thermique des locaux qui abritent des matériels importants pour la sûreté ont été dépassées en 2003 et 2006. Afin de renforcer la robustesse des installations à des températures plus élevées, des améliorations ont été apportées par EDF, notamment à la suite de la canicule de 2003 ou dans le cadre des réexamens périodiques de sûreté. Des équipements ont été remplacés par de nouveaux matériels ayant une meilleure tenue à des températures élevées. Les performances des échangeurs thermiques refroidissant l'eau des systèmes de sûreté à l'aide de l'eau de la source froide ont été augmentées, des climatiseurs autonomes ont été installés, des batteries froides ont été ajoutées sur certains systèmes de ventilation...

En particulier, les groupes électrogènes (ou « diesels ») de secours sont des matériels essentiels à la sûreté des réacteurs dans différentes situations accidentelles. De fortes températures extérieures peuvent perturber leur fonctionnement. En effet, l'air extérieur sert à la fois de source d'air comburant au moteur et de source froide pour l'eau de circuits de refroidissement des diesels. L'exploitant pourrait ainsi, en cas d'utilisation d'un diesel en période de canicule, être contraint à réduire la puissance du moteur, au risque que le diesel de secours ne soit alors plus en mesure de

⁸⁰ La présence de tours aéroréfrigérantes permet de limiter considérablement cet échauffement.

fournir la puissance électrique nécessaire aux systèmes permettant le repli et le maintien en état sûr du réacteur en cas d'accident. À la suite des analyses de l'IRSN⁸¹, des essais sont prévus par EDF en période de canicule pour certains diesels de secours. Ces essais rendront temporairement indisponible le diesel faisant l'objet de l'essai, ce qui conduit l'exploitant à déroger temporairement aux spécifications techniques d'exploitation des réacteurs, dans des conditions toutefois très encadrées que l'IRSN a estimé acceptables dans un avis récemment transmis à l'ASN.

En complément de ces dispositions techniques, des règles particulières de conduite des réacteurs sont prévues par EDF en cas de « grands chauds » sur tous les sites pour prévenir, détecter et maîtriser les conséquences de températures élevées de l'air et de l'eau sur le fonctionnement des installations. Ces règles de conduite prévoient la mise en place graduelle de mesures préventives en fonction du risque avéré ou anticipé d'une situation de « grands chauds ».

Elles sont graduées en phases adaptées à la situation :

- phase de veille : mise en configuration préventive des matériels utilisés pour la protection des installations contre les températures élevées et surveillance des prévisions météorologiques ;
- phase de vigilance : surveillance renforcée des températures dans les locaux sensibles ;
- phase de pré-alerte : mise en place de parades (climatiseurs mobiles, actions particulières consistant à arrêter certains systèmes non essentiels à la sûreté du réacteur...)
- phase d'alerte : si la température en sortie des échangeurs thermiques entre l'eau de la source froide et l'eau du circuit de refroidissement des systèmes de sûreté est trop élevée, le réacteur est arrêté.

Enfin, dans le cadre du réexamen périodique associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe, qui ont débuté avec l'arrêt du réacteur n° 1 de Tricastin le 1er juin 2019, EDF a réévalué les températures extérieures à considérer pour chaque site jusqu'au prochain réexamen de sûreté et a mis à jour les études de sûreté visant à montrer la robustesse des installations. Ces températures prennent en compte l'impact du changement climatique. À l'issue de son analyse⁸², l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a estimé qu'EDF devait revoir en partie sa méthode d'évaluation des températures extérieures à considérer et évaluer, voire améliorer si besoin, la capacité des installations à faire face à certaines situations accidentelles d'occurrence rare résultant de défaillances multiples.

12.4. Encadrement des rejets thermiques

L'encadrement des rejets thermiques s'exerce sur trois niveaux :

- Premier niveau dit des conditions normales : ce sont les valeurs limites et les modalités de surveillance de l'environnement que l'exploitant doit respecter dans les conditions habituelles d'exploitation. Ces dernières sont fixées dans les prescriptions individuelles de chaque site.

Par exemple, le site de Cruas doit respecter les valeurs limites de rejet thermique suivantes :

- un échauffement moyen journalier après mélange des effluents dans le Rhône inférieur à 1 °C ;
- une température moyenne journalière du Rhône calculée en aval après mélange inférieure à 28 °C.

⁸¹ Voir notamment l'avis IRSN 2019-00096 du 6 mai 2019.

⁸² Voir l'avis IRSN 2019-00019 du 6 février 2019.

- Deuxième niveau dit des conditions exceptionnelles : ce sont des valeurs limites plus souples et des modalités de surveillance de l'environnement renforcées que l'exploitant doit respecter dans les conditions climatiques exceptionnelles. Ces dernières sont fixées dans les prescriptions individuelles de chaque site et ne s'appliquent que sous certaines conditions. L'exploitant devra également communiquer à l'ensemble des parties prenantes (services de l'État, commissions locales d'information -CLI-...) l'utilisation de ces conditions exceptionnelles de rejet thermiques et devra fournir les résultats de la surveillance renforcée de l'environnement mise en œuvre.

Par exemple, le site de Cruas s'il est dans l'incapacité de pouvoir respecter les valeurs limites fixées pour des conditions normales ci-dessus peut, si le gestionnaire du réseau de transport d'électricité requiert le fonctionnement de la centrale nucléaire à un niveau de puissance minimal, ou si l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité nécessite son fonctionnement, continuer de fonctionner.

Le site peut continuer de fonctionner et seule la valeur limite de température moyenne journalière du Rhône calculée en aval après mélange est assouplie et doit rester inférieure à 29 °C.

- Troisième niveau relatif à l'application des dispositions du II de l'article R. 593-40⁸³ du code de l'environnement :

« Si, du fait d'une situation exceptionnelle, la poursuite du fonctionnement d'une installation nucléaire de base nécessite une modification temporaire de certaines prescriptions, et si ce fonctionnement constitue une nécessité publique, l'autorité peut décider cette modification sans procéder aux consultations préalables prévues par le présent article. Cette modification temporaire cesse de produire ses effets au plus tard au terme de la procédure normale de modification, si elle a été engagée, ou, à défaut, à l'expiration d'un délai d'un an. »

Dans ce cas, EDF informe l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) de sa volonté de poursuivre son exploitation, et transmet un dossier justificatif comprenant des propositions de renforcement de la surveillance de l'environnement (au-delà de la surveillance renforcée mentionnée ci-dessus).

Pour l'instruction de ce dossier, l'ASN s'appuiera sur l'expertise de services de l'État comme la DREAL ou l'agence régionale de santé (ARS), d'experts tels que l'office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA devenu OFB) ainsi que sur les prévisions de Météo-France. La nécessité publique du fonctionnement de la centrale nucléaire est, quant à elle, évaluée par la DGEC qui transmet son avis à l'ASN. Les décisions modificatives des prescriptions prises par l'ASN auront un effet limité à la durée envisagée de l'épisode caniculaire et à la durée nécessaire de la présence de l'unité de production sur le réseau électrique.

En 2019, la situation a été plus exceptionnelle pour la baisse des débits des cours d'eau que pour la hausse des températures des cours d'eau. Par ailleurs, l'équilibre offre/demande du réseau électrique n'a pas nécessité la mobilisation spécifique de moyens de production nucléaire. Ainsi, EDF n'a pas eu à utiliser les conditions exceptionnelles présentes dans les prescriptions individuelles ni à solliciter l'ASN pour instruire des demandes au titre du II de l'article R. 493-40 du code de l'environnement. Cependant, EDF a néanmoins dû réaliser des « baisses de charge » afin de respecter les valeurs limites imposées par les prescriptions individuelles des sites.

⁸³ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000038239133&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20190401>

12.5. Arrêts ou baisses de production des réacteurs pour contraintes environnementales

L'augmentation de la température des fleuves en amont des centrales de production électrique, ou la diminution du débit du fleuve, peut conduire à limiter voire arrêter la production. Les décisions cadrant les rejets thermiques fixent des limites en échauffement et/ou en température au rejet.

Dans tous les cas, EDF dispose d'un système de prévision des débits et des températures de l'eau, permettant d'anticiper les conséquences sur la production, et d'agir en démarrant d'autres groupes de production ou en achetant sur les marchés de l'électricité pour alimenter la clientèle.

Concernant l'échauffement, les pertes de production sont progressives et peuvent aller jusqu'à l'arrêt complet d'une centrale, ce qui ne s'est pas produit en 2019 à ce titre. Le Rhône est le bassin le plus sensible, compte tenu du nombre de groupes nucléaires présents, qui rejettent majoritairement leur eau chaude de manière directe (absence d'aéroréfrigérant)(figure 41).

Grâce à un débit soutenu même pendant la canicule, la production a été modulée, sans jamais être totalement arrêtée sur aucune des centrales. La perte fin juillet s'élève à 170 000 MWh.

Concernant les températures maximales au rejet, les deux groupes de la centrale de Golfech sur la Garonne ont été arrêtés durant 5 jours du 23 au 28 juillet. La température du fleuve en amont de la centrale dépassait le maximum que doit respecter l'exploitant en aval, après ajout des rejets thermiques de l'ordre de 0,1 à 0,3 °C. C'est bien la température en amont qui est la cause essentielle de l'arrêt. La perte s'élève à 2 600 MW en puissance instantanée, ou 325 000 MWh en énergie cumulée.

Ces baisses de puissance ou ces arrêts n'ont pas eu de conséquence sur la sûreté du système électrique, ni sur la continuité d'approvisionnement des consommateurs en France.

Si la sûreté du réseau électrique ou la continuité d'approvisionnement l'avaient justifié, des dispositions prévues dans les décisions de rejets auraient permis le maintien de tout ou partie de la production. Le recours à ces dispositions exceptionnelles n'a pas été nécessaire en 2019. Si les températures avaient été encore plus élevées, des dispositions supplémentaires, soumises à l'accord des pouvoirs publics auraient pu être mises en vigueur. EDF doit à la fois respecter les limites destinées à protéger l'environnement, et assurer sa mission de service public de continuité d'approvisionnement du territoire en électricité. Lorsque ces deux obligations ne sont plus compatibles, pour des raisons indépendantes de sa volonté, EDF se retourne vers son autorité de tutelle.

12.6. L'équilibre offre-demande au cours des deux canicules

12.6.1. Première canicule : l'équilibre offre-demande assuré sans tension sur le système électrique

La première canicule n'a pas nécessité de démarrer les groupes au charbon / fioul. La majorité des centrales à cycle combiné gaz ont par contre fonctionné. Pas de besoin spécifique en temps réel : RTE n'a appelé ni moyens thermiques, ni effacements. Les ajustements ont été réalisés à partir des moyens les moins chers : moyens hydrauliques et offres aux interconnexions. La France est restée fortement exportatrice pendant toute la période. Le 26 juin, la pointe a été passée sans tension sur le système, avec 2 400 MW de marges d'exploitation (activables en moins de 15 min) et plusieurs moyens thermiques à l'arrêt.

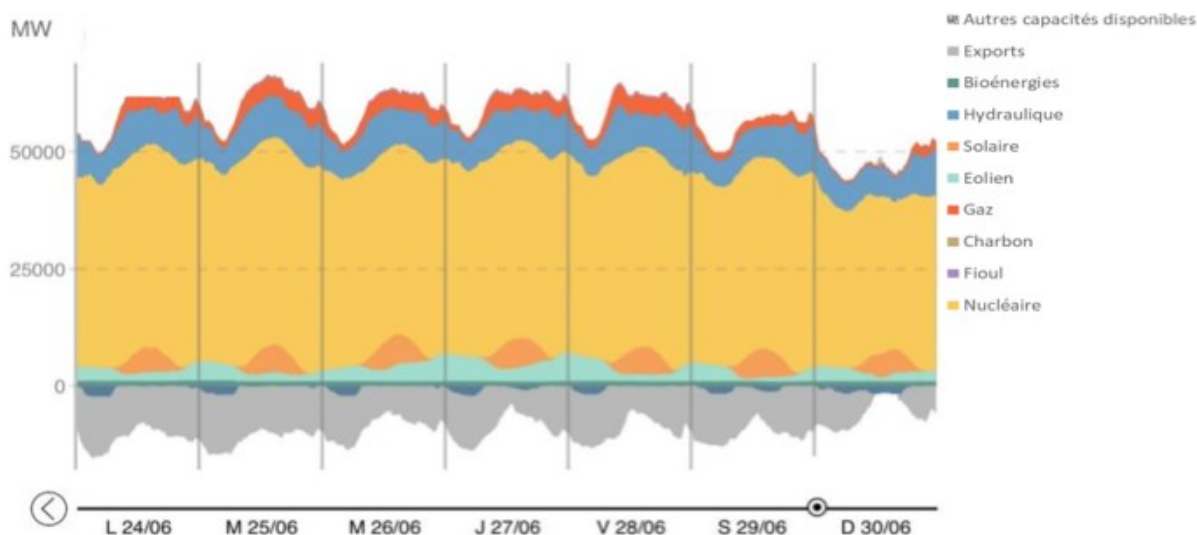


Figure 38 : Mix énergétique lors de la canicule du mois de juin (Source RTE).

12.6.2. Deuxième canicule : l'équilibre offre-demande assuré malgré une disponibilité réduite du parc

Un groupe charbon (centrale thermique de Cordemais) et des turbines à combustion (TAC) ont été démarrés par les producteurs (programmation en fonction des opportunités de marché). Les autres groupes au charbon et au fioul étaient à l'arrêt. En temps réel : quelques besoins d'ajustement pour reconstituer la capacité de réponse (besoin « marge »). RTE a sollicité des moyens par ordre de préséance économiques : turbines à combustion et effacements (à 2 reprises, puissance max de 200 MW, réponse fiable). La France a été majoritairement exportatrice et importatrice pendant 25 heures avec un maximum d'import de 2 800 MW. Le 25 juillet à 13 h, l'équilibre offre-demande a été assuré avec 2 700 MW de marges d'exploitation (activables en moins de 15 min) à la pointe, et plusieurs groupes thermiques restés à l'arrêt.

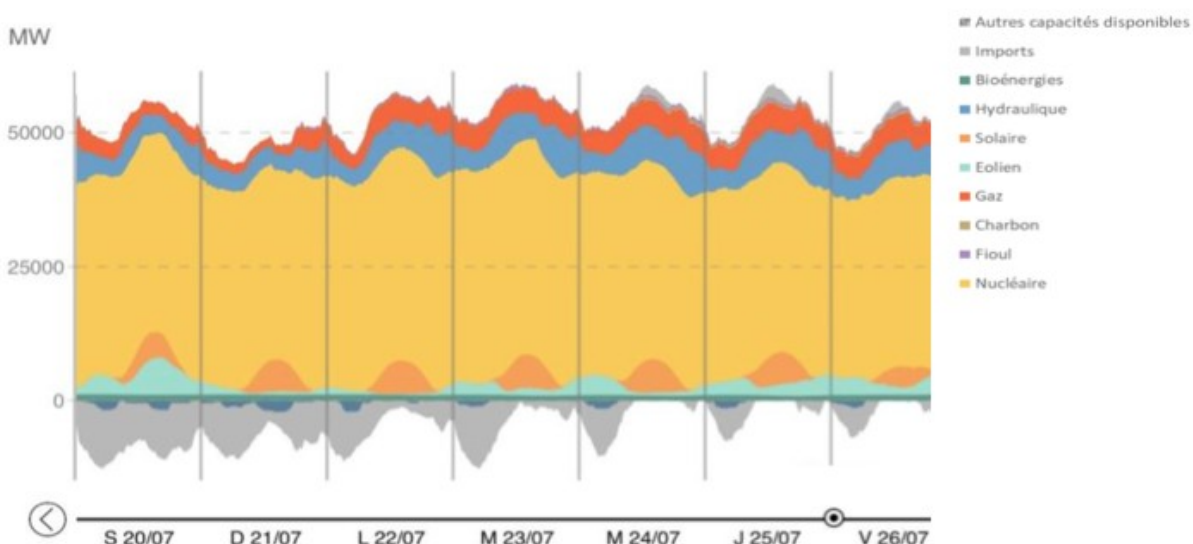


Figure 39 : Mix énergétique lors de la canicule du mois de juillet (Source RTE).

12.7. Les contraintes thermiques dans un conducteur

Les contraintes thermiques dans un conducteur sont fonction :

- du courant maximal admissible en permanence, du courant de défaut et de court circuit ;
- de la nature et des caractéristiques du conducteur ;
- du type d'isolation utilisé ;
- du type de pose et des caractéristiques de l'environnement.

Le courant maximal admissible se définit comme la valeur de l'intensité qui provoque, pour un environnement déterminé, un échauffement de l'âme n'entraînant pas de vieillissement accéléré du câble.

Plus précisément, l'intensité maximale admissible en permanence (nommé IMA) est l'intensité maximale à laquelle un ouvrage peut être exploité sans limitation de durée. Afin de faciliter l'exploitation des réseaux électriques, certains ouvrages peuvent être exploités à une intensité supérieure à l'IMAP mais pendant une durée limitée.

Des protections particulières mettent en sécurité les installations dans le cas où l'intensité dépasserait certaines valeurs pendant une durée définie.

Une des principales causes de détérioration du matériel due à une intensité trop élevée est l'échauffement par un effet Joule important. La conséquence de cet échauffement se manifeste de différentes manières selon les ouvrages considérés :

- Pour les câbles électriques, la chaleur produite doit être évacuée par l'intermédiaire de l'isolant électrique (gaine) qui est souvent mauvais conducteur de chaleur. De plus, le câble étant souterrain, l'évacuation de cette chaleur est d'autant plus difficile. En cas d'intensité trop élevée, le risque est la destruction physique du câble par surchauffe.
- Pour les transformateurs, leurs enroulements sont généralement immergés dans un bain d'huile qui joue le rôle d'isolant électrique mais également de fluide caloporteur aérorefrigérant. En cas d'intensité trop élevée, l'huile ne peut plus évacuer assez la chaleur et les enroulements risquent de se détériorer par surchauffe.
- Pour les lignes électriques aériennes, les conducteurs, malgré l'absence de gaine isolante, s'échauffent par effet Joule. Cet échauffement entraîne un allongement par effet de dilatation thermique. La ligne électrique étant maintenue à chaque extrémité par un pylône, cet allongement va se matérialiser par une réduction de la hauteur entre la ligne et le sol, ce qui pourrait conduire à un amorçage (arc électrique créant un court circuit) au vu des tensions importantes utilisées dans ces réseaux. Heureusement des protections sont installées sur les lignes pour éviter de tels amorçages qui sont bien sûr extrêmement dangereux.

12.8. Prise en compte par Enedis des conséquences sur le réseau urbain des phénomènes de forte chaleur

C'est lors de la canicule du mois d'août 2003 que le gestionnaire du réseau électrique de distribution fut confronté pour la première fois à de multiples défaillances du réseau souterrain urbain. Il apparut rapidement que les risques se concentraient sur les réseaux HTA souterrains de technologie ancienne, à savoir les câbles à isolation papier (dits « CPI ») posés jusqu'à la fin des années 1970, ainsi que les accessoires de jonction correspondants.

La nécessité de renouveler progressivement ces ouvrages fut mentionnée dans le plan Aléa climatique présenté aux pouvoirs publics en juillet 2006, et un programme de renouvellement fut

lancé à partir de 2008 dans le cadre d'une croissance globale des investissements d'amélioration de la performance du réseau.

Dès l'origine, la mise en œuvre de ce programme s'est opérée dans une recherche de maximisation de la performance en cherchant à cibler les ouvrages potentiellement les plus fragiles. Les ouvrages en situation de surcharge par rapport aux transits admissibles en période d'été ont ainsi été traités en premier lieu, suivis désormais par ceux dont le critère probabiliste risque*impact apparaît comme le plus élevé au regard des diagnostics et de la topologie du réseau.

Le graphique 1, ci-dessous, illustre la décroissance annuelle des longueurs de câbles « CPI » depuis 2008 en regard des incidents survenus sur le réseau souterrain HTA pendant la même période.

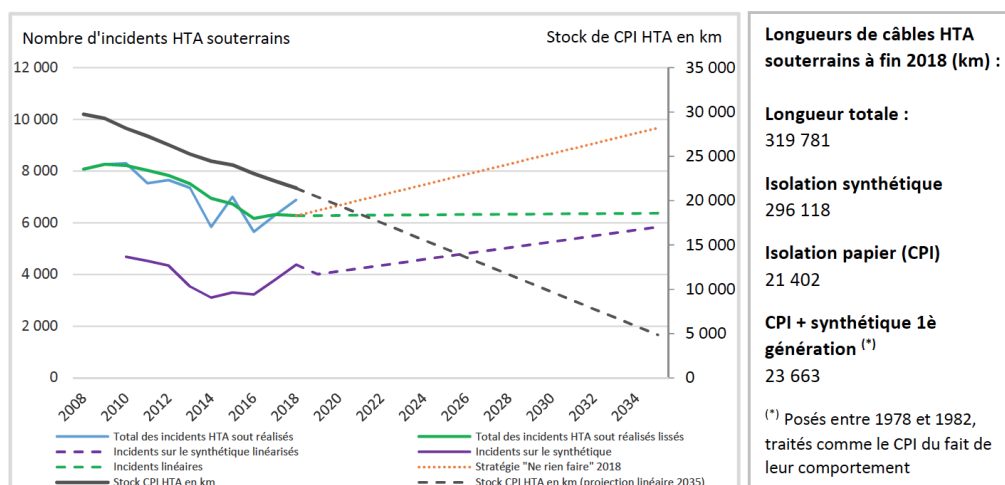


Figure 40 : Nombre d'incidents HTA souterrains vs stock de CPI (source Enedis).

12.9. Le critère B

Le critère B calcule un temps moyen de coupure par client basse tension (HTA) de la zone géographique considérée. Il s'agit d'un indicateur standard utilisé par les distributeurs au niveau mondial appelé aussi indice de durée moyenne d'interruption du système (SAIDI).

L'épisode de forte chaleur de 2015 reste le plus visible dans sa traduction sur l'indicateur du critère B (figure 45). L'épisode de juillet 2019 n'a pas eu d'impact significatif, ce qui tend à montrer que le volume d'incidents survenus lors de cette période ne s'est pas traduit par des difficultés particulières dans la gestion de la réalimentation.

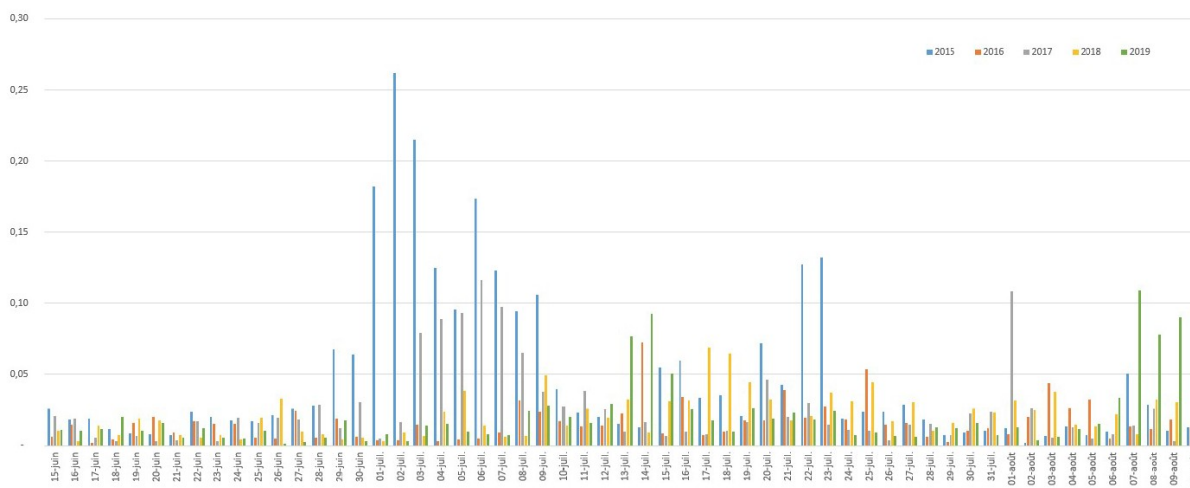


Figure 41 : critère B national journalier (en minutes) dû aux incidents souterrains CPI HTA pendant la période 15 juin - 10 août, de 2015 à 2019 (source Enedis).

Ces valeurs de critère B générées par les incidents souterrains HTA en période d'été sont à mettre en regard des totaux annuels générés par l'ensemble des incidents sur le réseau Enedis (figure 42) :

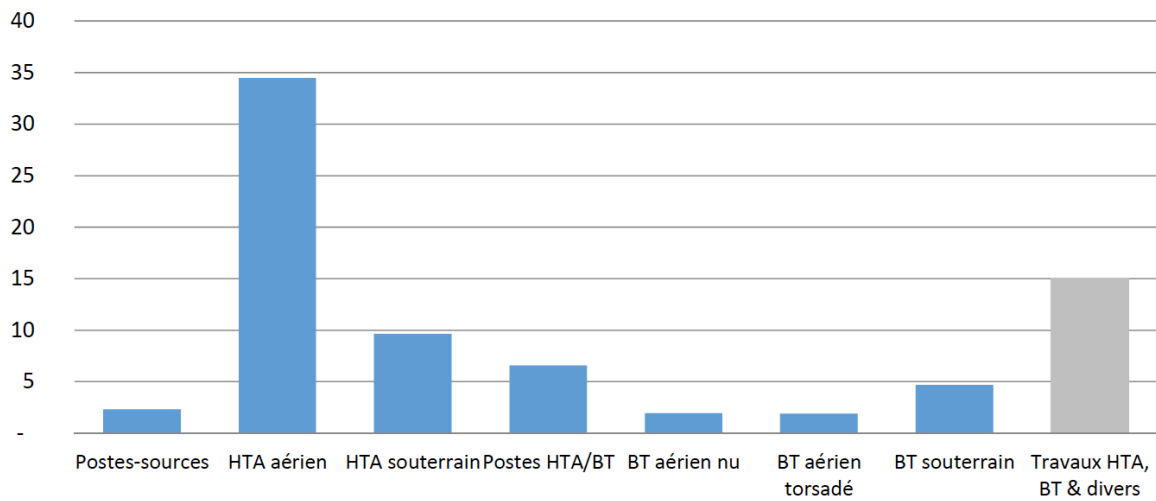
	Total B incidents période été		B incidents total annuel Enedis Tous sièges et causes confondus (*)
	Total souterrain	dont câbles CPI	
2015	5,1	3,4	51
2016	2,8	1,4	50
2017	3,7	2,0	76
2018	4,3	2,2	64
2019	3,5	1,5	77 (provisoire)

(*) y compris les aléas climatiques qualifiés exceptionnels (tempêtes, orages, neige collante)

Figure 42 : Temps moyen de coupure par client en minute en période d'été vs total annuel (source Enedis).

À titre d'exemple, le critère B 2018 se décompose de la manière suivante (figure 43) :

- composants travaux : ces coupures correspondent aux interruptions programmées qui sont contractuellement limitées à 2 coupures de 4 heures par an pour un client particulier ; cette possibilité est utilisée quand la nature des travaux à réaliser ne permet pas d'intervenir sous tension ou d'alimenter les clients par des moyens mobiles (groupes électrogènes).
- composants incidents : les impacts sont suivis pour chaque catégorie d'ouvrages, telles que les lignes HTA aériennes (qui génèrent l'essentiel des coupures) ou souterraines, les lignes basse tension (BT) aériennes ou souterraines avec un focus sur les anciens réseaux aériens en fils nus (antérieurs à 1975) ou les postes de transformation.



• *Figure 43 : décomposition du critère B (en minutes) par grande catégorie d'ouvrages en 2018 (source Enedis)*

13. Impact sur la production industrielle : retour de l'enquête auprès des DREAL

Région	Impact sur la production industrielle	Observations
Bourgogne-Franche-Comté	À l'échelle du bassin de l'Allan, réduction des prélèvements par les ICPE de 70 %	Région beaucoup touchée avec des périodes de sécheresse de plus en plus longues (de mai à novembre) et un caractère de plus en plus prononcé
Bretagne	A priori pas d'impact sur la production industrielle	Les gros consommateurs d'eau sont les industries agroalimentaires avec des matières premières périssables (végétaux, lait) dont la transformation ne peut être ralentie ou reportée sans mettre en difficulté l'ensemble de la filière. Même avec des arrêtés sécheresse durant l'été 2019 (dont un de crise), il a été difficile de mettre des arrêtés de restriction
Hauts-de-France	Pas de réel impact sur la production industrielle	2019 marque une rupture, surtout dans le Nord avec 9 arrêtés de restriction signés entre le 9 avril et le 31 décembre avec un niveau d'alerte pour la majorité des bassins dès le 9 avril et un passage en alerte renforcée du 25 septembre au 31 décembre (passage à simple alerte jusqu'au 15 avril 2020) : d'habitude un ou deux arrêtés de restriction par an. Dans le Pas-de-Calais : vigilance dès avril, alerte le 12 juillet jusqu'au 31 décembre. Dans les autres départements, certains bassins étaient en crise d'autres sans aucune restriction
Île-de-France	Pas d'impact	La plupart des bassins étaient en alerte (mesures limitées : report de maintenance, lavage...) mais aucun en alerte renforcée
Normandie	Pas d'impact quantifiable	Pas d'arrêtés de restrictions/prélèvements de rejets d'eau
Nouvelle-Aquitaine	Pas de restriction d'eau avec impact sur la production industrielle	Les arrêtés cadre sécheresse ne prévoient pas de restriction pour les ICPE, au mieux ils prévoient des restrictions « en fonction des dispositions prévues dans les arrêtés individuels »
Pays-de-la-Loire	Réduction de 33 % de traitement des lixiviats d'une installation de déchets non dangereux, ce qui pourrait la gêner avant la fin de l'hiver. Le groupe Lactalis dit avoir été fortement impacté en 2019 sur la totalité des sites en France de plus de 100 000m ³ , et en dehors du Nord où il n'y a pas eu réduction de la consommation pour cause d'hygiène, certains sites ont eu des baisses de production (avec chômage partiel)	Au 15 octobre 2019 : 45 arrêtés de restriction d'eau depuis mi-juin. Envoi d'un courrier DDPP et DREAL demandant à une centaine d'établissements les plus consommateurs de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour réduire leur consommation avec enquête sur leurs pratiques (voir ci-dessous retour des mesures prises par les industriels de Pays de la Loire pour diminuer leur prélèvement d'eau)

Par ailleurs, suite à l'enquête de la DREAL Pays de la Loire, la synthèse partielle des retours des industriels sur leurs mesures de diminution de la consommation d'eau est la suivante :

13.1. Parmi les mesures relatives à des économies d'eau de manière pérenne, ont notamment été citées :

- Mise en place d'indicateurs mensuels de suivi de la consommation
- Rationalisation des flux de production
- Étude de solutions de recyclage des eaux de processus
- Blanchisserie : mise en place d'un tunnel de lavage

Spécifiquement, dans le secteur de la transformation du lait

- Modernisation des équipements de production
- Mise en place d'une centrale de nettoyage avec buse de lavage haute pression
- Optimisation des rinçages et nettoyages en production
- Optimisation du planning des fabrications
- Lavage des citernes de collecte uniquement par les eaux de récupération des concentrateurs
- Utilisation des eaux de concentrateurs pour la chaufferie en remplacement de l'eau de ville

13.2. Spécifiquement en période de sécheresse, ont été relevées les mesures suivantes :

Secteur de la transformation du lait

- Réduction de la fréquence de nettoyage et des appoints de tours aéroréfrigérantes (TAR)
- Forcer le taux de concentration des TAR (réduction de 20 m³/semaine)
- Suppression des essais de production afin de limiter le nombre de nettoyages spécifiques (hors production)
- Report de lavages spécifiques dont les risques sanitaires sont limités
- Arrêt du nettoyage externe des cuves : chiffrage d'une réduction de la consommation en eau possible à hauteur de 20 m³/j
- Arrêt du nettoyage externe des citernes routières
- Restriction de nettoyage des véhicules (réduction de 4 m³/j)
- Réduction des phases de lavage des sols

À noter que pour ce secteur la consommation d'eau découle principalement des obligations réglementaires en matière d'hygiène et de sécurité alimentaire. Par ailleurs, sur certains sites autorisés, les eaux traitées sont réutilisées en irrigation agricole.

Secteur du déchet :

Une installation dans le secteur du stockage de déchets a respecté à la lettre les prescriptions spécifiques en cas de sécheresse édictées dans son arrêté d'autorisation qui prévoit que, à partir de l'alerte renforcée, « *les équipements consommant de la vapeur perdue sont arrêtés* ». Cette restriction a particulièrement concerné l'installation de traitement des lixiviats des installations de stockage de déchets non-dangereux par l'évapo-concentrateur de l'établissement. La capacité de traitement des lixiviats de l'établissement a ainsi été réduite de l'ordre de 33 %. Malgré la sécheresse, l'exploitant n'a donc pas pu réduire son stock de lixiviats comme à l'accoutumée, ce qui pourrait le gêner avant la fin de l'hiver (le stock de lixiviats est censé augmenter jusqu'à la fin du mois de mars en fonction de la pluviométrie).

Besoins en eau de refroidissement

Un exploitant a signalé à l'inspection ses difficultés de refroidissement durant la période de fortes chaleurs de juin 2019, l'ayant contraint à alimenter le refroidissement des installations en eau perdue engendrant une augmentation des consommations habituelles. L'eau de refroidissement est en principe restituée au milieu en intégralité. Il indique que l'arrêt des TAR engendre des économies d'eau peu substantielles avec des conséquences financières lourdes.

Raffinerie :

- Renforcement du suivi
- Recyclage des condensats vers la production de vapeur
- Réutilisation de l'eau de process pour le lavage des TAR
- Report des exercices d'incendie consommateurs d'eau
- Arrêt du lavage systématique des véhicules et des remises et garages
- Réduction du taux de dessalage (économie de 120 m³/j)
- Maximisation du retour des condensats (économie de 480 m³/j)

- Minimisation de l'utilisation des hydroéjecteurs (économie de 720 m³/j)

Autre

Le groupe Lactalis précisait avoir été fortement impacté en 2019 avec des arrêtés sécheresse ou de restrictions de consommation d'eau. Cela concerne la totalité des sites consommant plus de 100 000 m³d'eau. Le phénomène a débuté dès le mois de février pour le Nord de la France. Cependant, compte-tenu de leur activité, liée à des contraintes d'hygiène, ils n'ont pas réduit leur consommation et de ce fait n'ont pas enregistré de baisse de production en lien avec la sécheresse. Certains sites ont évalué les conséquences s'il y avait eu réduction de consommation et donc baisse de production, ce qui n'a pas été le cas : cela aurait généré des impacts sur l'emploi (chômage partiel), sur le chiffre d'affaires, sur les marques, sur les producteurs de lait (arrêt de la collecte).

14. Gestion forestière : les conséquences de la sécheresse

Les conséquences plus ou moins directes et différées des sécheresses ont pu être appréciées, à l'issue de l'été climatiquement exceptionnel de 2003, par une étude du CEMAGREF (devenu l'institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture - IRSTEA-), publiée en 2008. Celle-ci montre un impact négatif fort sur la croissance et l'état de santé des deux principaux résineux de la forêt méditerranéenne (pins d'Alep et sylvestres), ainsi que sur d'autres essences (pin maritime et la plupart des feuillus) et espèces arbustives de sous-bois et garrigues. Les conifères ont perdu leurs aiguilles (30 à 60 %), ce qui s'est traduit par un houppier très clair, un fort déficit pluriannuel de leur photosynthèse et un cerne 2003 de croissance étroite (bois final exceptionnellement mince et léger, traduisant un stress hydrique violent). Les feuillus ont perdu quant à eux leurs feuilles avec 2 à 3 mois d'avance. À cet impact direct, se sont ajoutées des séquelles pluriannuelles liées à l'affaiblissement des végétaux, accentuées et prolongées par une série ininterrompue de sécheresses printanières de 2004 à 2007. Il en est résulté une dégradation générale de l'état sanitaire de la forêt, des mortalités massives du pin sylvestre (dans l'arrière-pays varois) et du sapin (dans les Alpes-Maritimes), et enfin une croissance en hauteur et une élongation des branches stagnant à des niveaux très faibles. In fine, certains effets de 2003 étaient encore perceptibles 7 à 8 années plus tard...

La prolifération des scolytes dans l'est de la France dont la cause principale est le réchauffement climatique, y a démarré avec la tempête Friederike (janvier 2018), suivie d'autres épisodes anormaux (sécheresses des étés 2018 et 2019, hiver doux entre temps). Les scolytes donnaient auparavant naissance à une, voire deux générations, en une année ; les hivers moins rigoureux ne tuant plus les scolytes en hibernation, elles sortent plus tôt de leur sommeil et peuvent alors engendrer jusqu'à quatre générations. Dans ce contexte, l'Allemagne a annoncé en octobre dernier un vaste plan de reboisement de 800 000 millions d'euros, dont les contours et modalités de financement n'ont toutefois pas encore été précisés.

Le pronostic est aujourd'hui sombre pour l'épicéa commun des Vosges, des Alpes et d'Europe centrale, aux limites de son aire naturelle, sauf s'il se produit des effets de rétroaction (développement de parasites naturels du scolyte). L'effet de relargage de carbone suite à ces futures mortalités pourrait être majeur en cas de crise aggravée (si l'épicéa était amené à ne subsister qu'en haute montagne et dans les régions boréales), de même que les impacts sur l'économie, les paysages ou même la stabilité de certains sols en pente.

Les interlocuteurs auditionnés par la mission ont fait part de points de vue convergents, consécutifs à 2019 et relatifs à l'avenir de la gestion forestière :

- Les phénomènes extrêmes ont ébranlé les esprits en 2019 ; outre le fait qu'ils ont causé des accidents graves (mortalités liées à la chute de branches mortes), ils influent sur les habitudes, règles et techniques courantes : raccourcissement des périodes propices aux plantations, réduction de la taille des chantiers, modification de la densité à l'hectare des plants, recherche d'associations végétales plus résilientes (mais dont la valorisation sera ultérieurement plus compliquée que dans un système simplifié de monoculture...), perte de débouchés, difficulté à bâtir des prévisionnels d'activité et des plannings, perturbations du marché des graines et des plants (celui-ci subissant aussi les effets des aléas climatiques), remise en question des stratégies, de l'organisation et du maillage des entreprises, etc.
- Ces mêmes phénomènes sont un facteur de tensions au sein de la filière, dès lors que les pertes consécutives aux plantations (qui grimpent parfois jusqu'à 90 %, au bout des cinq mois d'engagements contractuels imposés par les donneurs d'ordre), activent les garanties de reprise par les entreprises de reboisement (sans que celles-ci puissent imputer ces pertes à un cas de force majeure).

- Enfin, les événements climatiques interpellent les propriétaires forestiers sur la valeur et la pérennité de leur capital (investissements différés). Leur attentisme est en outre favorisé par l'indécision des réponses aux questions qui les taraudent. Faut-il privilégier des essences à rotation courte, afin de passer entre les gouttes des catastrophes ? Les crises sont-elles dues au climat ou à d'autres facteurs (la mono-spécificité se traduisant par une moindre résilience, comme l'attestent quelques exemples historiques : hécatombe des eucalyptus du Sud-Ouest lors de l'hiver 1984, chancre du platane le long du Canal du Midi...) ? Faut-il faire confiance aux capacités adaptatives du local (importer du matériel pouvant se révéler encore plus aléatoire) ? Ne faut-il pas substituer aux « modèles espèces » de sélection (exemple des peuplements forestiers classés) des « modèles écosystèmes » (plus complexes mais correspondant mieux à la réalité ; exemple de l'arbre remarquable dans un certain contexte géographique mais inadapté ailleurs) ?

15. Feux de forêts

15.1. Méga-feu : le cas de la France

La notion de « méga-feu » est un concept émergent, il n'y a pas de consensus scientifique sur une définition stable. Le concept a été initialement proposé dans l'ouest des États-Unis, confronté à des **incendies de plus en plus vastes** (plus de 40 000 ha), en milieu naturel. Ces incendies géants se rapprochant ensuite petit-à-petit des interfaces, ils ont provoqué de plus en plus de dégâts, et le concept a évolué. Celui-ci mélange aujourd'hui des caractéristiques **physiques** du feu (surface parcourue, durée, intensité) et des caractéristiques **sociales** (impacts socio-économique, humain, politique) avec des définitions variées suivant les pays, et parfois contradictoires.

Les incendies géants des dernières années aux États-Unis et en Australie parcourent de très vastes espaces naturels, la plupart du temps non boisés (plus de 50 % des surfaces brûlées sont des prairies ou des formations rases), très peu peuplés (densité de population 30 fois moindre que dans nos régions) et très peu desservis. Les feux peuvent donc s'y développer facilement.

En Europe, **nos paysages sont très différents**. Ils sont caractérisés par : (i) des zones d'afflux de population dans des secteurs touristiques où elles sont logées dans des constructions mitoyennes ou mélangées à des formations combustibles ou, au contraire, (ii) des zones de désertification rurale, caractérisées par une réduction de la population active et une fermeture des milieux jusqu'au contact des villages. Le Portugal et certaines régions espagnoles sont dans cette deuxième situation, et nous commençons en France à avoir des secteurs qui s'en rapprochent dans l'arrière-pays méditerranéen, et qui pourraient devenir dangereux sous l'effet d'une montée du risque d'incendie avec le changement climatique.

Nos **méthodes constructives** nous différencient également fortement : la plupart de nos maisons sont construites avec des matériaux relativement bien résistants au feu, et de ce fait il est rare qu'un incendie se propage à une construction, et surtout exceptionnel qu'il passe ensuite d'une maison à l'autre. En Australie et aux États-Unis, les constructions sont le plus souvent légères et "ajourées". Cela les rend sensibles aux projections de brandons enflammés, conduisant à des feux urbains se propageant de maison à maison. Il est frappant sur les images aériennes de voir des villes dévastées, alors que les arbres entre les constructions ont survécu et restent verts.

En conclusion, **les situations ne sont pas comparables**, nous ne sommes et ne serons pas dans les décennies à venir confrontés à des situations du type de celles constatées ces dernières années aux USA ou en Australie.

Mais il faut rester réaliste : les bilans actuels en termes de surfaces brûlées et dégâts ne pourront être tenus avec les effets du changement global en France. Ces effets vont tous dans le sens d'une **aggravation du risque** :

- changement climatique conduisant à une multiplication des conditions météorologiques propices au feu (combinaison de températures élevées, d'une humidité de l'air faible) et à une extension des zones menacées ;
- urbanisation croissante des interfaces homme-nature ;
- modification/abandon de pratiques agricoles conduisant à la fermeture du milieu donnant une continuité des massifs arborés et boisés.

Sans parler de méga-feux, des événements **exceptionnels/extrêmes**, c'est-à-dire hors de nos références habituelles en termes d'intensité, de vitesse de propagation, ou d'importance et de longueurs des sautes de feu, sont donc appelés à se multiplier dans les années qui viennent.

L'extension des zones soumises à l'aléa conduisant à une **dispersion des moyens de secours** (surtout aériens), nous pourrions avoir plus de feux totalement "libres" sans protection possible de milieux habités. L'intrication forêt-habitat rend l'évacuation délicate dans certains cas, en particulier les campings ou certains villages isolés comme en Corse. Les exemples récents du Portugal en 2017 (109 morts), mais surtout celui de la Grèce, plus comparable au pourtour méditerranéen français, en 2018 (feu de Mati, 92 morts pour un feu de quelques milliers d'ha) nous rappellent que la France devra peut-être faire face à des situations similaires prochainement.

Enfin, des effets **dominos avec d'autres aléas**, comme les tempêtes ou les ravageurs, pourraient conduire à rendre très sensibles dans un même temps de très vastes surfaces. Une nouvelle tempête dans les Landes (ou une attaque massive du nématode) dans quelques décennies pourrait avoir des conséquences beaucoup plus fortes que la précédente et favoriser des feux beaucoup plus vastes (probablement plusieurs milliers d'hectares, voire dizaines de milliers, mais sans jamais atteindre les millions d'hectares de ces dernières années dans certaines parties du globe).

15.2. Retour sur la canicule de 2019

15.2.1.1. Nature des impacts constatés

Concernant les feux de forêts, les épisodes de canicule de cet été ont eu pour effet de rendre facilement inflammables les végétations fines et mortes (herbacées, friches, chaumes...) permettant le développement de nombreux feux se propageant rapidement dans ces espaces. Pour exemple, citons la journée du 28 juin avec plus de 50 incendies dans le seul département du Gard, dont 5 de plus de 30 ha chacun.

De plus, l'ONF a constaté sur image satellite des dessèchements immédiats sur plus de 5 300 ha de garrigues en région méditerranéenne au moment des pics de température historiques de fin juin 2019, rendant ces zones extrêmement inflammables (et ce pour les deux ou trois ans à venir). Une grande partie des zones touchées se situait dans le Gard.

15.2.1.2. Certitudes et incertitudes quant à l'attribution des impacts à la canicule

Concernant les incendies de forêts, les canicules ont un effet aggravant, mais ne sont pas responsables à elles seules du nombre d'incendies ou des surfaces parcourues. Le développement d'incendies de forêts requiert en effet la combinaison de températures élevées, de vents forts et d'une végétation en stress hydrique.

Les canicules sont rarement accompagnées de vents forts du fait de la stagnation des masses d'air caractéristique de ce type de phénomène météorologique (situation de blocage).

15.2.1.3. Dispositif mis en place

Concernant les incendies de forêts, le dispositif mis en œuvre était celui déjà activé dans les départements habituellement confrontés au risque (départements méditerranéens).

15.2.1.4. Difficultés de gouvernance et estimation générale du niveau de préparation

Concernant les incendies de forêt, il est apparu que les indices de prévision du danger d'incendie (produits par Météo-France) n'ont pas permis d'avoir une vision homogène du danger à l'échelle nationale, en particulier dans les zones historiquement peu confrontées au risque.

15.2.1.5. Dispositifs de gestion de crise

Concernant les feux de forêts, il est nécessaire d'harmoniser et déployer un outil national unique de prévision du danger météorologique d'incendie, permettant de prévoir des mesures types de prévention pour chaque niveau de danger (réglementation de l'usage du feu, fermeture des routes forestières, patrouilles d'intervention de l'ONF).

15.2.1.6. Besoins de formation, d'études prospectives et de recherche et développement

Concernant le risque incendie, le niveau d'exposition des territoires est en train de changer. Il convient donc de revoir la cartographie des zones sensibles au danger d'incendie sous l'effet du changement climatique, pour mieux préparer les territoires face à des épisodes de canicule appelés à devenir de plus en plus intenses et fréquents. Il convient aussi de renforcer les travaux de R&D sur la régénération des peuplements incendiés dans les régions nouvellement concernées par ce risque.

(Source de cet article : Bureau gestion durable de la forêt et du bois - DGPE, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation)

16. Les bocages, des paysages résilients et multifonctionnels

Par Sophie Morin, cheffe d'équipe du Pôle bocage de l'OFB

Les activités humaines ont un impact majeur sur l'environnement et la biodiversité. Les sources de perturbations peuvent être directes et locales (dégradation des habitats) ou indirectes et globales (changements climatiques). Il est important de considérer les interactions possibles. Les changements climatiques actuels sont étroitement liés au développement des activités humaines (IPCC 2014). Les modifications climatiques ont des répercussions multiples à l'échelle des populations humaines, de l'économie et des écosystèmes. L'évolution de la température a attiré une attention considérable avec une élévation progressive et une augmentation de fréquences des épisodes extrêmes (canicules). L'Europe de l'Ouest est particulièrement exposée à des phénomènes de sécheresse régionaux et dont la fréquence devrait augmenter dans les années à venir (Fleig et al. 2011). En parallèle avec les changements climatiques, les activités humaines grandissantes ont également des implications très fortes sur les paysages et l'usage des sols (Foley et al. 2005 ; Fahrig et al. 2011). On observe une altération de la qualité des milieux (Benton et al. 2003). Ainsi dans les paysages agricoles, on assiste à une simplification de la composition et de la configuration des paysages du fait de l'intensification des activités humaines et de leur emprise (drainages, arrachage de haies, remblaiements).

16.1. Rôle tampon des microhabitats

La structure des paysages et des habitats présente également un rôle fonctionnel à prendre en compte pour atténuer les effets changements climatiques sur la biodiversité (Varner & Dearing 2014). En effet, il est important d'aborder ces perturbations globales à une échelle spatiale locale. Des épisodes de sécheresse ou de canicule n'auront pas les mêmes effets selon l'état structurel du milieu. Ainsi, un milieu hétérogène (diversité de micro-habitats) aura un pouvoir « tampon » important du fait de la disponibilité de différentes strates végétales et de leur influence sur les conditions hydriques (maintien de l'humidité) et thermiques (protection des températures trop élevées). En comparaison dans un milieu dégradé (structure végétale simplifiée et homogène) les conditions thermiques et hydriques seront également homogènes et fortement dépendantes des conditions globales. Les êtres vivants subsistants auront donc peu de possibilités pour s'affranchir des perturbations ou de limiter les effets.

À l'heure actuelle, la plupart des modèles prédictifs sur l'effet des changements climatiques sont élaborés à des échelles spatiales largement supérieures à celle des milieux de vie effectivement occupés par les êtres vivants (Potter et al. 2013). Pourtant, une littérature émergente souligne à quel point des micro-habitats diversifiés peuvent jouer un rôle important et immédiat face au réchauffement climatique et aux épisodes de sécheresse (Woods et al. 2015 ; Scheffers et al. 2014). Certains milieux naturels (reliquats tourbeux, marais) ou d'autres liés aux activités humaines (bocages, forêts) peuvent offrir des rôles tampons importants du fait d'une lame d'eau présente en surface et/ou de la structuration végétale permettant d'assurer un rôle de protection face aux contraintes climatiques (sécheresse). Ainsi certaines espèces reliques glaciaires peuvent persister sur des périodes prolongées en dehors de leur aire principale de distribution dans des lentilles subsistantes d'habitats favorables.

16.2. Les bocages

Les bocages sont des paysages résultant d'une agriculture de type polyculture-élevage. Ils se caractérisent par des champs entourés de haies vives connectées les unes aux autres en formant un maillage. Au sein de ces paysages, les parcelles sont de taille variable avec une diversité d'occupation des sols, l'eau y est généralement omniprésente en surface. Ce complexe paysager représente alors

pour la faune sauvage une mosaïque d'habitats variés, tels que des prairies, des fourrés, des bosquets, des mares, des zones humides ou des ripisylves. L'imbrication de ces éléments permet d'accueillir dans les bocages une grande diversité d'espèces animales et végétales allant des espèces de plaine cultivée à des espèces plus forestières. À l'échelle nationale, dans le cadre de la politique trame verte et bleue, les bocages ont été considérés au sein des schémas régionaux de cohérence écologique tantôt comme des « réservoirs de biodiversité » tantôt en tant que « corridors écologiques ».

Les paysages bocagers conservés sont reconnus aujourd'hui comme assurant de nombreux services écosystémiques tels que la protection par les haies des animaux d'élevage (ombre, abri) et des cultures (effet microclimatique, limitation de la dessiccation due au vent, augmentation des rendements), le stockage du carbone, l'épuration de l'eau, l'écrêtage des crues de moindre intensité, le maintien de l'eau dans les parcelles par les haies (barrières capillaires), la production de ressources en bois, la protection des sols, un cadre de vie apprécié. Lors d'épisodes de sécheresse intenses, il est arrivé que des éleveurs recourent aux feuilles des arbres des haies en tant que fourrage pour le bétail (cf. Casdar Arbelle).

16.3. Les reptiles, amphibiens, oiseaux : des groupes indicateurs de l'état de l'écosystème bocager

La majorité des êtres vivants sont des animaux à température variable ou ectothermes (invertébrés, poissons, amphibiens et reptiles) qui jouent un rôle clé dans les écosystèmes (Angilletta 2009). Ces organismes ne possèdent pas de possibilité de production de chaleur et leur température varie selon les conditions thermiques du milieu. Les conditions de l'environnement qui vont avoir une influence directe sur leur température corporelle, leur physiologie mais également leur comportement (Lourdais et al. 2013).

Les reptiles et amphibiens sont particulièrement vulnérables face aux perturbations thermiques. Ils sont exposés en « première ligne » aux effets du réchauffement climatique mais aussi de la dégradation des habitats (Araújo et al. 2006 ; Huey et al. 2012). Par exemple, des phénomènes de déclin à l'échelle planétaire ont été constatés à la fois chez les amphibiens, les lézards, et plus récemment les serpents (Alford & Richards 1999 ; Gibbons et al. 2009). Le réchauffement actuel impose une menace supplémentaire sur la persistance de nombreuses espèces (Le Galliard et al. 2012). Une étude récente menée à l'échelle de la planète indique que 4 % des populations de lézards se sont éteintes depuis 1975 en relation avec des expositions fréquentes à des épisodes de canicules et de stress thermique (Sinervo et al. 2010). Ces travaux suggèrent que les changements climatiques constituent une menace majeure pour de nombreux ectothermes terrestres.

Ces influences globales sur les ectothermes doivent cependant être considérées à une échelle locale et en prenant en compte les micro-habitats. En effet, les ectothermes ont des capacités de déplacement limitées et cet aspect va conditionner la persistance d'une espèce vivant dans un milieu dégradé. Suite à une perturbation de l'habitat, il sera impossible aux individus de se déplacer sur de longues distances afin de trouver de nouveaux milieux d'accueil. Cette mobilité réduite s'explique par des contraintes morphologiques (capacité locomotion) et physiologiques (pertes hydriques, balances thermiques) associées aux déplacements sur de longues distances.

Chez les vertébrés, les oiseaux sont des animaux mobiles relativement bien connus et bien suivis, ils sont considérés comme de bons indicateurs de l'état des écosystèmes dont ils peuvent refléter l'hétérogénéité structurale, et celle des haies notamment (Amy et al., 2013).

16.4. Observations en 2019

En 2019, dans le cadre des projets du pôle bocage de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS), nous ne disposons pas d'indicateurs de suivi permettant de mettre en évidence scientifiquement un impact des canicules et de la sécheresse sur des espèces faunistiques ou floristiques des milieux bocagers.

Néanmoins, des remontées de terrain indiquent qu'au sein des bocages, au cours des périodes de sécheresse de 2019, des prairies humides de fonds de vallées ont constitué des zones d'alimentation complémentaires pour des cheptels bovins en Deux-Sèvres, notamment au niveau de la réserve naturelle régionale bocagère des Antonins. Ainsi les éleveurs disposant de prairies humides n'ont pas eu de dépenses liées à l'achat de fourrages quand les prairies les plus élevées du point de vue topographique étaient sèches.

Sur le même site témoin, les arbres têtards et leur faune associée ont été inventoriés en 2019 et il a été remarqué qu'une diversité d'espèces d'amphibiens (tritons marbrés, salamandres, grenouilles rousses) trouvent refuge dans le terreau des vieux arbres taillés « en têtards » car les animaux y recherchent la fraîcheur.

Les bocages où persistent de nombreuses zones humides et des haies anciennes ont probablement pu jouer un rôle atténuateur vis-à-vis des épisodes caniculaires et de la sécheresse connus en 2019 à l'égard de la faune domestique et de la faune sauvage¹.

16.5. Le dispositif national de suivi des bocages

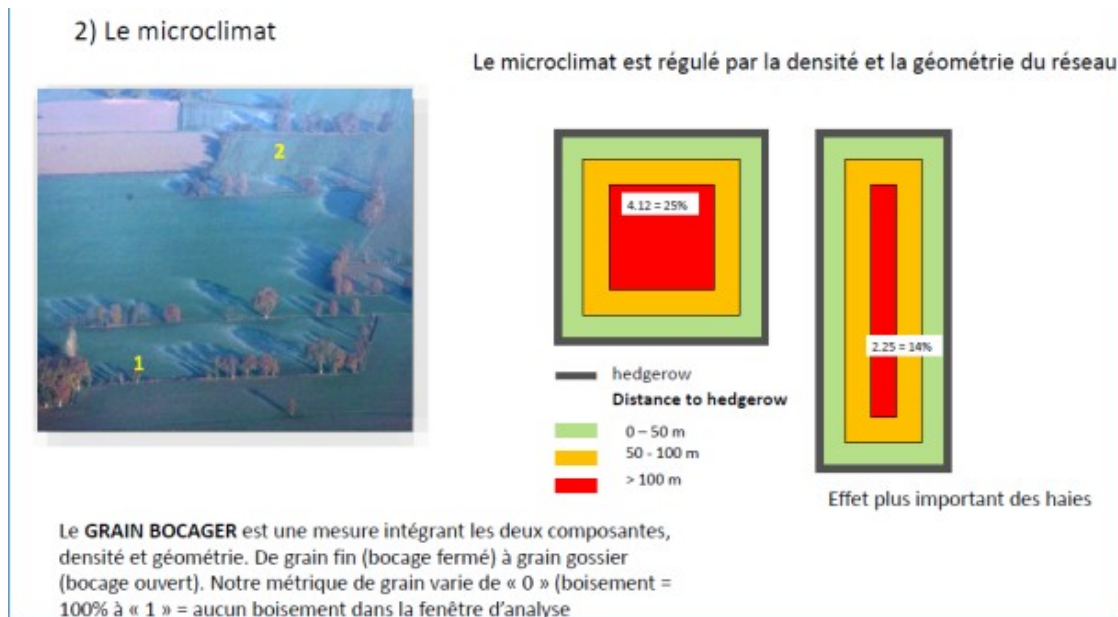
Le dispositif national de suivi des bocages (DNSB) débuté en 2017 est co-porté par le pôle bocage de l'OFB et par l'IGN sur la base de financements initiaux du MTES et du ministère de l'agriculture et de l'alimentation - MAA - (étape 1) dans le cadre de la politique nationale trame verte et bleue (TVB) et du plan national de développement pour l'agroforesterie. Il compte un comité des utilisateurs (Afac-agroforesteries...) et un groupe d'experts scientifiques : CNRS, Institut national de recherche agronomique et environnement (INRAE), universités).

Pour pouvoir étudier les bocages, conduire des actions (police, mobilisation) et les évaluer à plus ou moins long terme, il est nécessaire de se doter d'un diagnostic initial actualisé de l'état des bocages de France.

16.6. Les étapes

Il s'agit, dans un premier temps, de réaliser une **cartographie nationale des haies** (donnée ouverte sous licence Etalab) en réunissant les haies issues de deux bases de données nationales homogènes (BD Topo IGN® et haies cartographiées pour la politique agricole commune PAC). Au printemps 2020, un travail de **cartographie des bocages de France métropolitaine** sera conduit.

Une deuxième étape consistera à **caractériser les différents bocages** au-delà de l'analyse de leur maillage de haies, en s'appuyant sur les données géographiques disponibles (occupation du sol, densité de mares...) et sur un questionnaire de terrain (présence de formes d'arbres typiques, toponymie...). Pour cela, des financements ont été prévus à l'OFB (60 000 €) et au MAA (20 000 €) afin d'établir une cartographie plus qualitative des bocages, intégrant par exemple des analyses représentant le « grain bocager » selon une approche méthodologique développée par l'institut de recherche agronomique -INRA- et le CNRS de Rennes.



Présentation aux journées scientifiques du bocage, Niort mars 2019

Source : Jacques Baudry INRA UMR BAGAP, Françoise Burel CNRS UMR Ecobio

La troisième étape du projet consistera à **mettre en place un monitoring des écosystèmes bocagers** sur la base d'un échantillonnage stratifié (maillage de 1 km² X 1 km²). Des protocoles d'inventaire de terrain sont en cours de réflexion. L'objectif est de suivre l'évolution des bocages en qualité afin de savoir si ceux-ci se dégradent (ressenti des agents OFB présents sur le terrain).

16.7. Suivre l'impact des canicules sur les écosystèmes et la biodiversité au sein de milieux bocagers contrastés

Suivre simultanément sur des sites témoins, l'herpétofaune et les oiseaux de manière protocolée permettrait d'étudier l'évolution d'espèces indicatrices sortes de « sentinelles », en lien avec la dégradation potentielle de leurs habitats et de leurs caractéristiques abiotiques (température, humidité au niveau des haies, des prairies, zones humides...).

La création de ce type de suivi demandera la construction d'une base de données permettant une saisie en ligne et idéalement un suivi des données renseignées presque en temps réel.

Cela nécessitera la **coordination d'un réseau d'observateurs formés et réactifs dans les départements** issus de l'OFB ou d'autres grands réseaux selon les données à collecter agroforesterie, naturalistes, collectivités, chasseurs, agriculteurs...

La question de faire contribuer les citoyens ou des lycées agricoles à la collecte de certaines informations se pose (observatoire du paysage, relevés de haies...). Cela permettrait une sensibilisation et la récolte de données complémentaires.

. **Financements** : pas encore chiffré. Orienter des outils de financement existants (ecocontribution, agences de l'eau, OFB...), à renforcer les partenariats avec les scientifiques sur le projet.

Les travaux du DNSB devraient permettre d'identifier sur les territoires les zones de bocages conservés et les zones où les bocages sont dégradés.

16.8. Préserver les bocages déjà multifonctionnels et résilients

Quelques pistes :

- Soutenir l'élevage dans les secteurs de bocage préservé (dans le cadre de la politique agricole commune -PAC-).
- Mettre en place des plans de gestion des infrastructures agro-écologiques (IAE) à l'échelle des exploitations agricoles (dans le cadre de la PAC).
- Mobiliser les outils juridiques permettant de préserver les haies et bocages lorsque c'est nécessaire.
- Installer des parcs nationaux régionaux bocagers.
- Développer les labels liés à une qualité de paysage.

16.9. Restaurer les bocages dégradés

Quelques pistes :

- Mettre en place, dans le cadre de la PAC, des plans de gestion des infrastructures agro-écologiques sur les exploitations agricoles dans les zones de bocages dégradés en y prévoyant un volet plantation.
- Inciter les élus communaux à mettre en place des plans de gestion intégrant l'implantation de haies bocagères

16.10. « Embocager » les territoires

Répondant à une diversité d'enjeux, un embocagement massif sur les territoires pourrait être considéré en tant que « solution fondée sur la nature ». Il s'agirait de créer ou recréer des paysages bocagers mais de manière ciblée en fonction des diagnostics paysagers existants (atlas de paysages, écopaysages, DNSB, TVB) pour leur intérêt micro-climatique (homme, animaux domestiques, faune sauvage), pour stocker du carbone et restaurer la biodiversité.

Une diversité de partenaires (associations d'agroforesterie, fédérations des chasseurs, chambres d'agriculture, entreprises privées...) accompagne déjà des agriculteurs ou des collectivités territoriales pour monter des projets participatifs de plantations de haies, il s'agirait d'animer une dynamique en mobilisant davantage les acteurs et les financements existants. Il est nécessaire dans les futurs projets de plantations de prévoir une diversité d'essences arbustives et arborées, avec l'intégration d'essences plutôt méridionales.

Enfin, une piste importante pour recréer des bocages serait de relocaliser des activités d'élevage sur l'ensemble des territoires.

17. Liste des personnes rencontrées

Organisme	Nom	Prénom	Fonction
AQST	Savant	Alain	Directeur
	Barbusse	Alexandre	Ingénieur Trafic
ASN	Quintin	Christophe	Inspecteur en chef, membre du Comex
	Cazalet	Cécile	Chargée d'affaires à la direction des centrales nucléaires (BREIT)
	Mora	Lucie	Chargée d'affaires en charge agression grand chaud au bureau agressions réexamens de sûreté à la direction des centrales nucléaires
	Fremaux	Bertrand	Chef du pôle REP et adjoint de la division de Bordeaux
Bordeaux Métropole	Mabillon	Karine	Adjointe et intérimaire du DGA en charge des mobilités
BRGM	Bault	Violaine	Hydrogéologue, unité et valorisation des informations sur l'eau de la direction Eau, environnement, procédés et analyses
Cerema	Palhol	Fabien	Directeur recherche innovation développement au Cerema ITM
Cetu	Deffayet	Michel	Directeur
Cistude Nature	Coic	Christophe	Directeur
	Maillard	Fanny	Coordinatrice du programme « Les sentinelles du climat » : changement climatique et biodiversité, Membre associé UMR PASSAGES CNRS
Conseil régional nouvelle Aquitaine	Pariès	Laurence	Directrice des transports ferroviaires de voyageurs
Conseil régional Centre-Val de Loire	Saint-Blancard	Patrice	Directeur des Transports et Mobilités Durables
Conseil général du Cher	Bliaut	Alain	Responsable du domaine chaussées à la direction des routes
CSRPN de Normandie	Lecomte	Thierry	Président
Conservatoire botanique des Pyrénées	Largier	Gérard	Directeur
COSAP	Lamalle	Michel	Président
	Jolly	François	SNCF Réseau, Secrétaire du COSAP
ENEDIS	Fleury	Marc	Chef de département relations avec les administrations
	Cochet	Pierre	Chef du département analyse des performances du patrimoine à la direction technique
	Boullanger	Frédéric	Chargé de la réflexion sur la politique du réseau HTA au département analyse et performance du patrimoine
Fédération des	Grizaud,	Alain	Président

Organisme	Nom	Prénom	Fonction
canalisateurs	Le Blainvaux	Alain	Conseiller technique
	Terrible	Clotilde	Secrétaire générale
	Wuilque	Stéphane	Président de la commission technique
Fédération nationale des entrepreneurs des territoires	Baron	Pierre	Entrepreneur de travaux forestiers
	Bazin,	Michel	Gérant de l'ARGEFO (Gironde)
	Dieudonné	Robert	Entrepreneur de travaux forestiers dans les Vosges
	Eñaut Helou	Tammouz	Chargé des services forestiers et ruraux
	Mutz	Frédéric	Entrepreneur de travaux forestiers en Champagne-Ardenne et Grand Est)
Fédération de pêche de l'Indre	Barbey	Bruno	Directeur
Fédération nationale de pêche	Oumoussa	Hamid	Directeur
Fédération professionnelle des entreprises de l'eau	Tristan	Mathieu	Délégué général
Fondation pour la biodiversité	Soubelet	Hélène	Directrice
FNAUT	Debrincat	Marc	Responsable du service juridique (Réponse écrite)
FNTV	Simon	Anne-Gaëlle	Déléguée générale adjointe (Réponse écrite)
France Nature Environnement	Abel	Jean-David	Vice-président
GIP Ecofor	Landmann	Guy	Directeur par intérim
	Peyron	Jean-Luc	Directeur
IDRRIM	Zambon	David	Directeur général
INRAE	Datry	Thibault	Chercheur au Département de l'eau (Lyon)
	Dreyer	Erwin	Directeur de recherche (Champenois)
	Loustau	Denis	Directeur de recherche programme ICOS (Villeneuve d'Ornon)
Ligue pour la protection des oiseaux	Verilhac	Yves	Directeur Général
Météo-France	Josse	Patrick	Directeur de la Climatologie et des Services Climatiques
	Etchevers	Pierre	Responsable du Département Analyse et Veille Hydroclimatique
	Soubeyroux	Jean-Michel	Directeur Adjoint scientifique de la DCSC
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation	Delport	Frédéric	Chef du département de la santé des forêts
	Fargeon	Hélène	Chargée de mission risques naturels en forêt

Organisme	Nom	Prénom	Fonction
	Réallon	Sylvain	Sous-directeur des filières forêt-bois, cheval et bioéconomie
	Van de Maele	Elisabeth	Cheffe du bureau de la gestion durable des forêts
Ministère de l'économie et des finances	Saint Marc	Philippe	Adjoint au chef de bureau du pilotage du réseau international stratégie, études et pilotage, Direction générale du trésor
Ministère de la Transition écologique et solidaire.			
Cabinet	Leforestier	Guillaume	Directeur de cabinet
	Clausset	Nicolas	Conseiller énergie
	Herment	Cédric	Conseiller risques santé environnement
CGDD	Lesueur	Thomas	Commissaire général
	Moulin	Lionel	Adjoint au chef de service en charge de la recherche
	Bergeot	Laurent	Chef du service recherche
	Ebner	Pascale	Chargée de mission Observation de la Terre, Environnement et Climat
DGAC	Borel	Marc	Directeur des transports aériens (DTA)
	Lefevre	Nicolas	Chargé de mission régulation économique des aéroports à la DTA
	Medioni	Frédéric	Directeur du service technique de l'aviation civile (STAC)
	Blanchard	Guilhem	Chef du département structures adhérence au STAC
DGALN	Alves	Hugo	Chargé de mission pour la gouvernance du Comité national de la biodiversité et du Conseil national de la protection de la nature
	Berel	Maud	Sous-direction ATAP
	Coantic	Amelie	Sous-direction EARM
	Clermont-Brouillet	Florence	Sous-directrice
	Guery	Bénédicte	
	Papouin	Matthieu	Sous-directeur des écosystèmes terrestres à la DEB
DGEC	Buffard	Loic	Sous directeur de l'efficacité énergétique et de la qualité de l'air
	Ruffenach	Coralie	Cheffe du bureau du système électrique, de la programmation et des réseaux
	Brun-Barrière	Éric	Secrétaire général de l'ONERC
	Voisin	Sarah	ONERC chargée de mission
DGITM	Patin	Nicolas	Sous directeur de la gestion du réseau routier non concédé et du trafic

Organisme	Nom	Prénom	Fonction
	Dupas	Sophie	Cheffe du bureau de la construction et du patrimoine à la direction de la gestion et du contrôle du réseau autoroutier concédé
	Monteil	Alain	Directeur de la DIRIF
	Ferry Wilczek	Hubert	Directeur de la DIR Sud-Ouest
DGPR	Malgorn	Loic	Chef du bureau de la nomenclature, des émissions industrielles et des pollutions des eaux
	Tourjansky	Laure	Cheffe du service risques naturels et hydrauliques
CGEDD	Hubert	Louis	Membre permanent section MMR
Ministère de l'Intérieur Direction de la sécurité civile	Chassagne	Fabrice	Lieutenant-colonel et chargé de mission feux de forêts au Bureau d'analyse et de gestion des risques du Service de la planification et de la gestion des crises
	Bobin	Bernard	Chef du service de la planification et de la gestion de crise
	Toulliou	Oriane	Adjointe au chef de la mission catastrophe naturelle
	Salathe	Manuelle	Secrétaire générale de l'Observatoire National Interministériel de sécurité routière
Mission des sociétés d'assurance pour la connaissance et la prévention des risques naturels (MNR)	Nusbaum	Roland	Directeur
	Gerin	Sarah	Directrice adjointe
	Pugnet	Lilian	Ingénieur études et projet
	Petitpas	Éric	Conseiller et ex-directeur technique AXA
Office français de la biodiversité	Albertini	Camille	Cheffe du service inter-départemental de Corse
	Bluhm	Hervé	Directeur régional Occitanie
	Fréjefond	Étienne	Ex-directeur inter-régional AFB PACA-Corse
	Gauthiez	François	Directeur de l'appui aux stratégies pour la biodiversité
	Hissel	François	Directeur de la surveillance, de l'évaluation et des données
	Lalement	René	Directeur adjoint, Direction de l'appui aux stratégies pour la biodiversité
	Morin	Sophie	Cheffe de l'unité Pôle Bocage
	Saint-Olympe	Lionel	Ingénieur connaissance à la direction régionale Occitanie
Office national des forêts	Bonnet	François	Directeur adjoint
	Duché	Yvon	Responsable technique national Incendies de Forêts et directeur de l'agence DFCI Midi-Méditerranée.
RATP	Martin	Philippe	Directeur général adjoint opérations de transport et maintenance excellence

Organisme	Nom	Prénom	Fonction
			opérationnelle innovation ville durable
	Lefèvre	Jérôme	Direction des opérations
	Monvoisin	Kevin	Direction de l'infrastructure
	Maurice	Olivier	Délégué général au management des risques
	Scheller	Isabelle	Chargée de mission à la délégation au management des risques
RTE	Veyrenc	Thomas	Directeur de la stratégie et de la prospective
	Roubin	Jean-Paul	Directeur de l'exploitation
SETVF	Bommier	Mathilde	Déléguée générale
	Berthelot	Olivier	Eiffage rail : directeur opérationnel
	Derosais	Philippe	Entreprise TSO : directeur de projet référent technique voie et développement des projets sur RFN
	De Guibert	Thomas	Colas Rail : responsable voie, bureau d'études et ingénierie
SNCF Réseau	Joindot	Thomas	Directeur technique
	Sablir	Denis	Directeur des opérations à la direction technique Réseau
SNCF Voyageurs	Leman	Benoit	Directeur matériel à la direction des opérations de la direction générale TER SNCF Voyageurs
	Monnet	Jean Stéphane	Directeur de l'exploitation du Transilien en charge des incidents liées aux impacts climatiques sur l'exploitation
	Fort	Thierry	Directeur de l'ingénierie du matériel, département matériel à la direction du matériel
STRRES	Tridon	Christian	Président
UTP	Faucher	Claude	Délégué Général
	Lopez Azevedo	Stéphanie	Directrice des affaires économiques et techniques
UIC	Chavanel	Christian	Directeur du département système ferroviaire
	Villalmanzo Resusta	David	Responsable de l'infrastructure au département Rail system
VNF	Rouas	Guy	Directeur de l'infrastructure de l'eau et de l'environnement (DIEE)
	Bourbon	Christine	Responsable division gestion durable au sein de la DI

18. Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEP	Adduction d'eau potable
AQST	Autorité de la qualité de service dans les transports
ARS	Agence régionale de santé
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
APU	Auxiliaires de puissance
BDIFF	Base de données sur les incendies de forêt en France
BRGM	Bureau de recherche géologiques et minières
BSH	Bulletin de situation hydrologique
BSS	Banque du sous-sol
BTP	Bâtiment et travaux publics
CIBBTP	Caisse de congés intempéries du BTP
CCR	Caisse centrale de réassurance
CFF	Chemins de fer fédéraux suisses
CP	Comboios de Portugal
CRC	Contrôle du respect des règles de construction
CMVOA	Cellule ministérielle de veille opérationnelle et d'alerte du ministère
CETU	Centre d'études des tunnels
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CLI	Commissions locales d'information (auprès des centrales nucléaires)
CNIL	Commission nationale informatique et libertés
CNPN	Conseil national de la protection de la nature

Acronyme	Signification
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CPI	Câble à isolation papier
DSF	Réseau santé des forêts
DGALN	Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
DGITM	Direction générale des infrastructures des transports et de la mer
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé
DG Trésor	Direction générale du trésor
DIR	Direction interdépartementale des routes
DNSB	Dispositif national de suivi des bocages
DR	Durée de retour
DREAL	Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement
DFCI	Association de défense des forêts contre l'incendie
DSF	Réseau santé des forêts
DTU	Document technique unifié
EPFZ	École polytechnique fédérale de Zurich
FNTV	Fédération nationale des transports de voyageurs
FFA	Fédération française de l'assurance
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIP	Groupement d'intérêt public
IAE	Infrastructure agro-écologique
ICPE	Installations classées pour la protection de l'environnement
IDRRIM	Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité

Acronyme	Signification
IGN	Institut géographique national
IMAP	Intensité maximale admissible en permanence
IBM	Indicateurs Bio Météorologiques
INRAE	Institut national de la recherche agronomique et environnementale
IP	Infraestructuras de Portugal
IQRN	Image qualité du réseau routier national
IQA	Image de la qualité des ouvrages d'art
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
IRSTEA (ex CEMAGREF)	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, intégré à l'INRAE au 1/01/2020
LIFE	Instrument financier pour l'environnement
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
LOM	Loi d'orientation des mobilités
LRS	Long rail soudé
MAA	Ministère de l'Agriculture et de l'alimentation
MNHN	Muséum national d'histoire naturelle
MNR	Mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels
MTES	Ministère de la transition écologique et solidaire
OFB	Office français de la biodiversité
ONDE	Observatoire national des étiages
ONERC	Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique
ONF	Office national des forêts
OMM	Organisation météorologique mondiale
PAC	Politique agricole commune
PMV	Panneau à message variable
PNACC	Plan national d'adaptation au changement climatique
PNC	Plan national canicule

Acronyme	Signification
PNR	Parc national régional
RTE	Réseau de transport d'électricité
REX	Retour d'expérience
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
RFN	Réseau ferroviaire national
RRN-C	Réseau routier national concédé
RRN-NC	Réseau routier national non concédé
SDIS	Service départemental d'incendie et de secours
SFI	Standardized Flow Index
SISPEA	Système d'information sur les services publics d'eau et d'assainissement
SCA	Société concessionnaire d'autoroute
SFN	Solutions fondées sur la nature
SPF	Santé publique France
SPI	Standardized Precipitation Index
STOC	Suivi temporel des oiseaux communs
SWI	Soil Wetness Index
SYTRAL	Syndicat mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise
TAR	Tours de refroidissement aëroréfrigérante
TPG	Régie des transports publics genevois
TPL	Régie des transports publics lausannois
TVB	Trames vertes et bleues
UIC	International union of railways
UTP	Union des transports publics et ferroviaires
VNF	Voies navigables de France
VUL	Véhicules utilitaires légers

