



Résilience au changement climatique : Enjeux, définition(s) et stratégies

Fabien PALHOL

Directeur de la recherche et de l'innovation – Cerema ITM
Réfèrent résilience

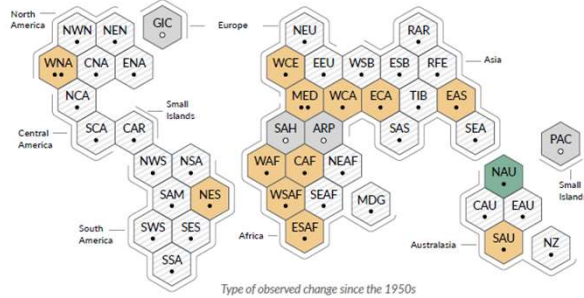
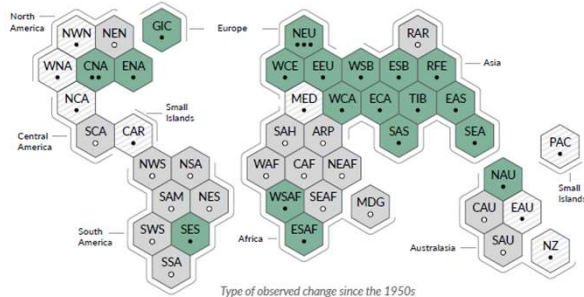
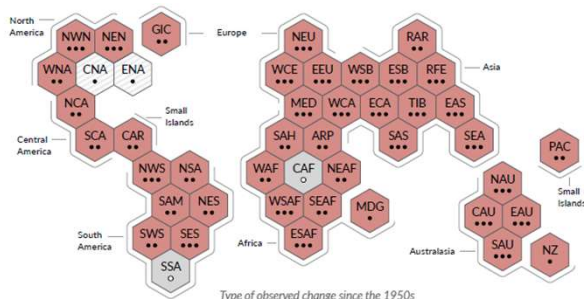
VIABILITÉ HIVERNALE & RÉSILIENCE DES ROUTES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Chambéry, 26 et 27 septembre 2022



Enjeux de la résilience au changement climatique

Des évolutions des aléas et des conditions climatiques de fond déjà présentes et différentes selon les territoires



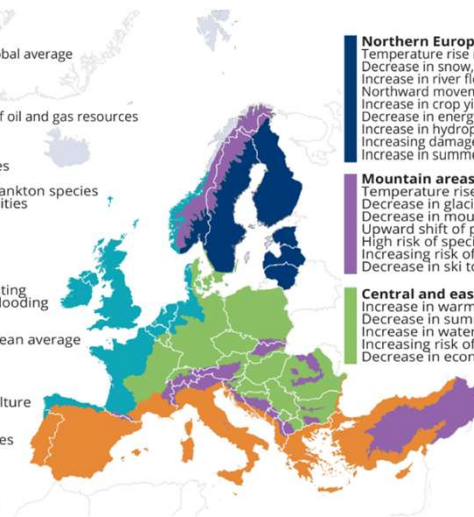
Augmentation des extrêmes chauds

Augmentation des fortes précipitations

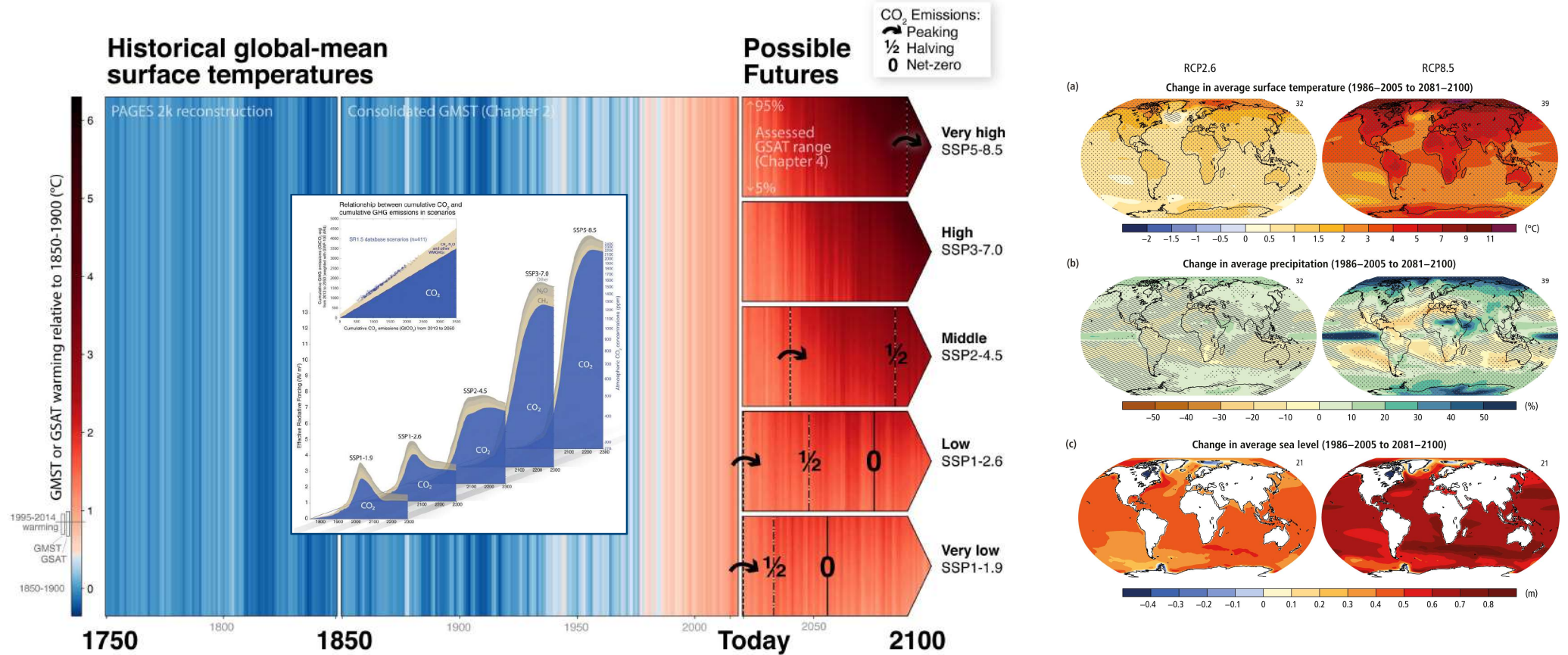
Augmentation des sécheresses

- Arctic**
 - Temperature rise much larger than global average
 - Decrease in Arctic sea ice coverage
 - Decrease in Greenland ice sheet
 - Decrease in permafrost areas
 - Increasing risk of biodiversity loss
 - Intensified shipping and exploitation of oil and gas resources
- Coastal zones and regional seas**
 - Sea-level rise
 - Increase in sea surface temperatures
 - Increase in ocean acidity
 - Northward expansion of fish and plankton species
 - Changes in phytoplankton communities
 - Increasing risk for fish stocks
- North-western Europe**
 - Increase in winter precipitation
 - Increase in river flow
 - Northward movement of species
 - Decrease in energy demand for heating
 - Increasing risk of river and coastal flooding
- Mediterranean region**
 - Temperature rise larger than European average
 - Decrease in annual precipitation
 - Decrease in annual river flow
 - Increasing risk of biodiversity loss
 - Increasing risk of desertification
 - Increasing water demand for agriculture
 - Decrease in crop yields
 - Increasing risk of forest fire
 - Increase in mortality from heat waves
 - Expansion of habitats for southern disease vectors
 - Decrease in hydropower potential
 - Decrease in summer tourism and potential increase in other seasons

- Northern Europe**
 - Temperature rise much larger than global average
 - Decrease in snow, lake and river ice cover
 - Increase in river flows
 - Northward movement of species
 - Increase in crop yields
 - Decrease in energy demand for heating
 - Increase in hydropower potential
 - Increasing damage risk from winter storms
 - Increase in summer tourism
- Mountain areas**
 - Temperature rise larger than European average
 - Decrease in glacier extent and volume
 - Decrease in mountain permafrost areas
 - Upward shift of plant and animal species
 - High risk of species extinction in Alpine regions
 - Increasing risk of soil erosion
 - Decrease in ski tourism
- Central and eastern Europe**
 - Increase in warm temperature extremes
 - Decrease in summer precipitation
 - Increase in water temperature
 - Increasing risk of forest fire
 - Decrease in economic value of forests



Enjeux de la résilience au changement climatique



Source : IPCC

Enjeux de la résilience au changement climatique

Response of the climate system relative to 1850–1900

Many aspects of the climate system react quickly to temperature changes.
 At progressively higher levels of global warming there are greater consequences (min/max range shown).



Des événements...



... de plus grande intensité / amplitude



... plus fréquents



... sur des zones géographiques différentes

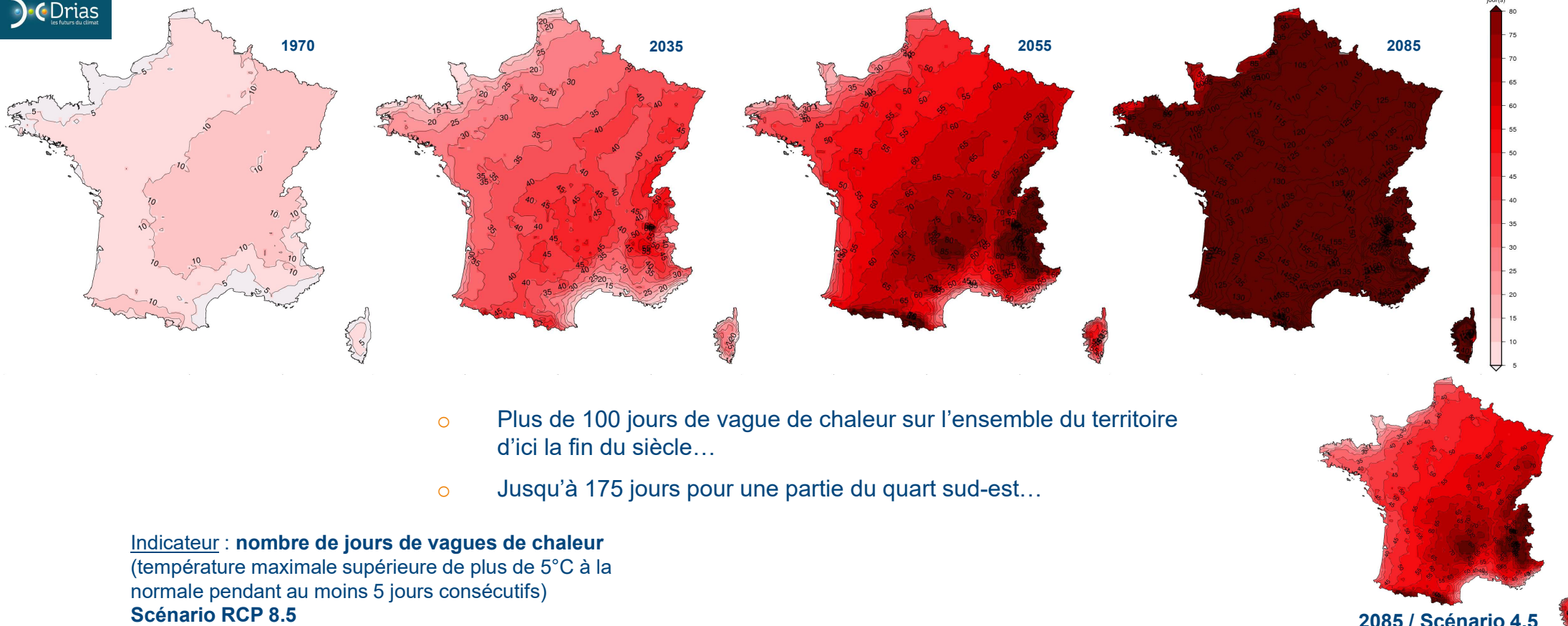


... sur des périodes de l'année qui évoluent



... aux évolutions multiples / composées

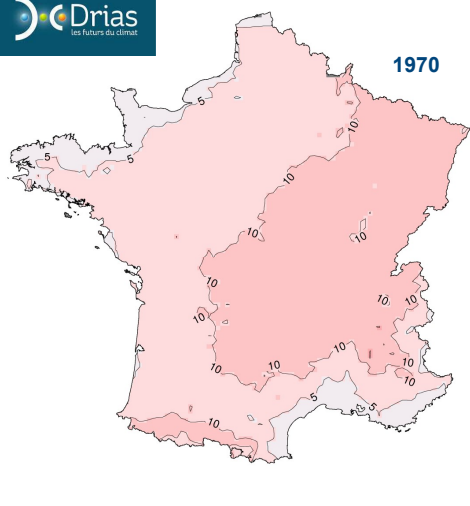
Enjeux de la résilience au changement climatique



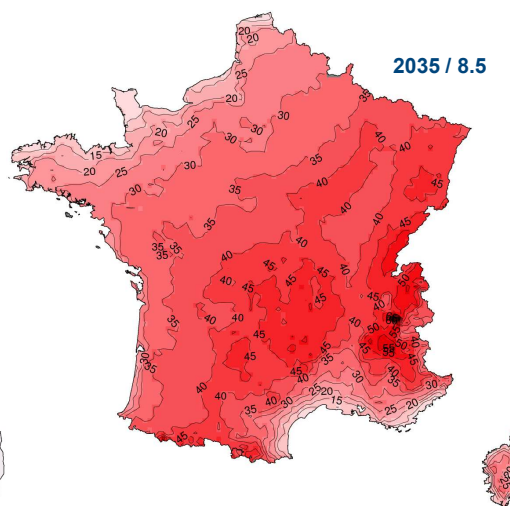
- Plus de 100 jours de vague de chaleur sur l'ensemble du territoire d'ici la fin du siècle...
- Jusqu'à 175 jours pour une partie du quart sud-est...

Indicateur : nombre de jours de vagues de chaleur
(température maximale supérieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs)
Scénario RCP 8.5

Enjeux de la résilience au changement climatique

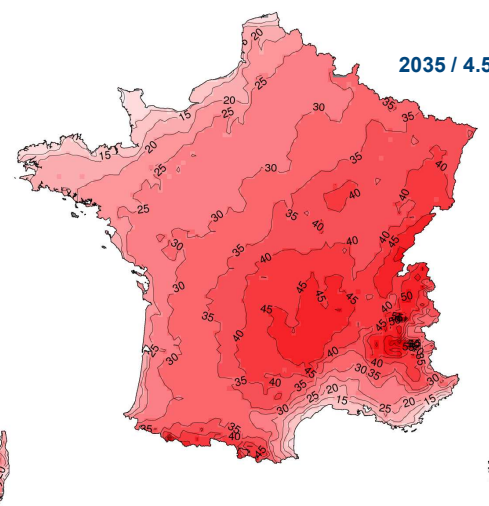


Référence



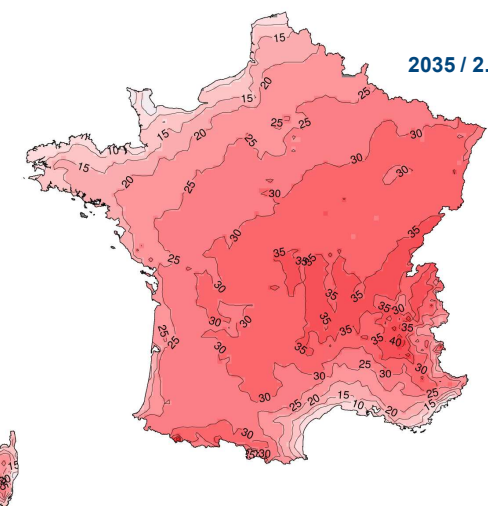
Scénario sans politique climatique

x4
sur la majeure partie du territoire
et jusque **x6** par endroits



Scénario avec une politique
climatique visant à **stabiliser** les
concentrations en CO₂

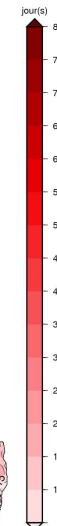
x4
sur la majeure partie du territoire
et jusque **x6** par endroits



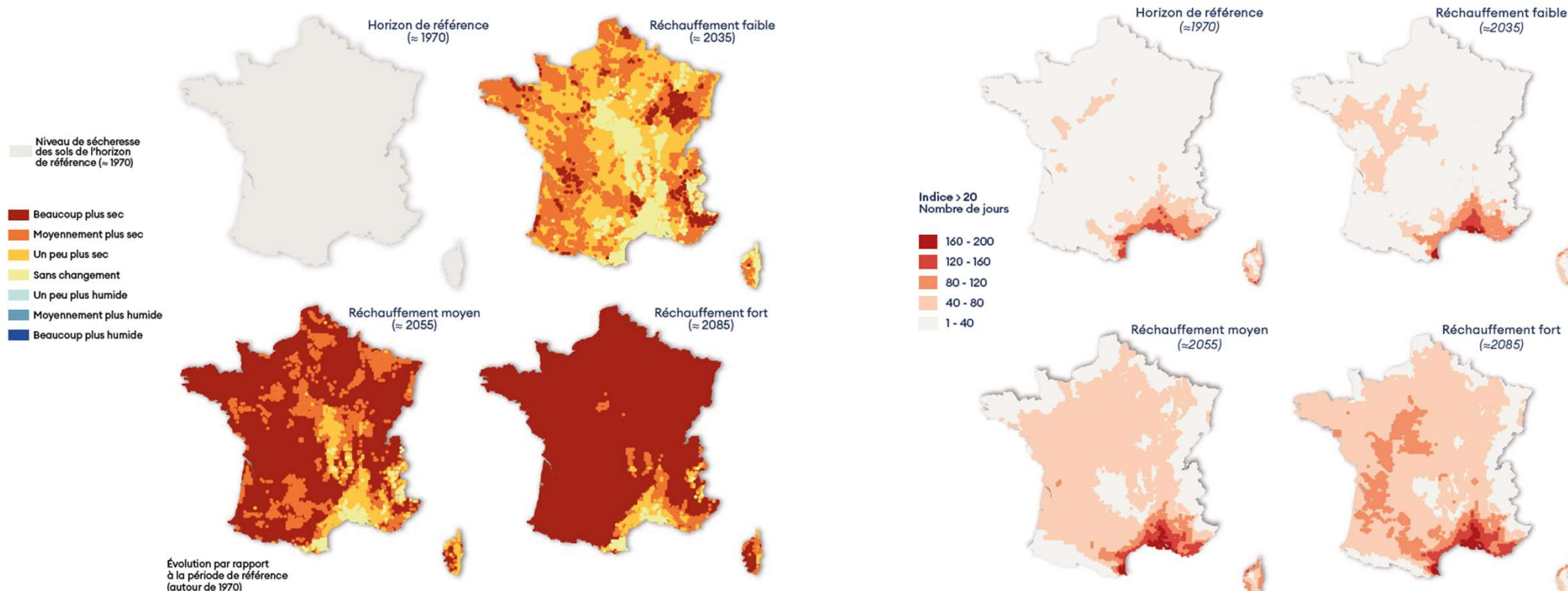
Scénario avec une politique
climatique visant à faire **baisser** les
concentrations en CO₂

x3
sur la majeure partie du territoire
et jusque **x5** par endroits

Indicateur : nombre de jours de vagues de chaleur
(température maximale supérieure de plus de 5°C à la
normale pendant au moins 5 jours consécutifs)



Enjeux de la résilience au changement climatique



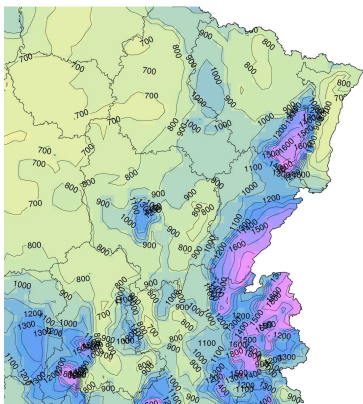
Sécheresse des sols

1,5°C – 2°C – 3°C

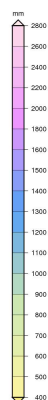
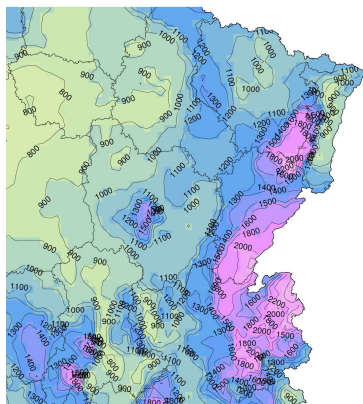
Conditions propices aux feux de forêts

Enjeux de la résilience au changement climatique

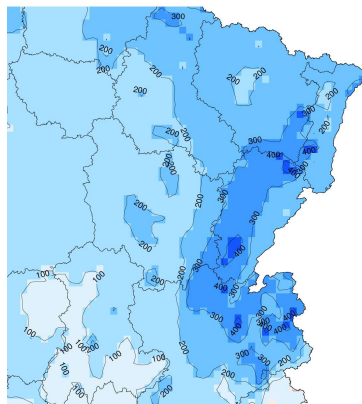
Référence



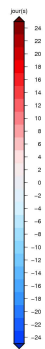
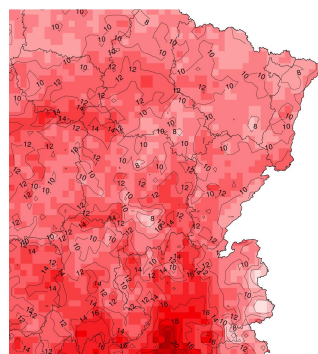
2085



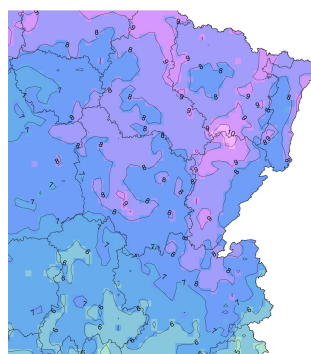
Ecart



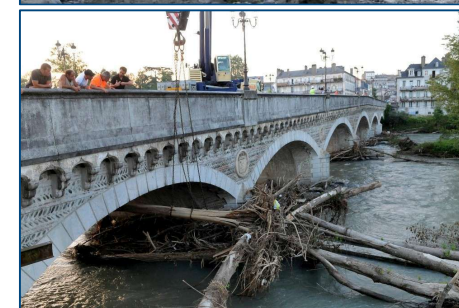
Augmentation du cumul de précipitation annuel :
+ 25 %



Augmentation du nombre de jours secs consécutifs :
+ 50 à 75 %



Augmentation du nombre de jours de précipitations extrêmes :
+ 100 à 150 %



Enjeux de la résilience au changement climatique

☀️🌡️ *Augmentation des moyennes, augmentation des extrêmes*

🔥 *Augmentation des risques de départ de feu*

Quelques impacts sur...

Les réseaux routiers

- Déformation des couches de surface : orniérage, ressuage
- Problématiques liées aux joints de chaussée
- Problématiques d'exploitation en cas de pics de pollution ou de fumées



Les réseaux ferroviaires

- Dilatation des rails
- Dilatation des câbles d'alimentation électriques



Sources : Cerema, DIR Méditerranée, SNCF Réseau

Les réseaux portuaires

- Dilatation des rails de portiques

Enjeux de la résilience au changement climatique

Renforcement des extrêmes selon les territoires

Quelques impacts sur...

Les réseaux routiers

- Dégradation des chaussées liées au ruissellement et à l'infiltration

Les réseaux portuaires

- Gêne pour la circulation fluviale en cas d'embâcles
- Inondation des formes de radoub

Les réseaux routiers, ferroviaires et portuaires

- Poussées sur les OA insuffisamment drainés
- Glissement des talus argileux
- Dépassement de capacité des réseaux



Sources : Cerema, autre

Enjeux de la résilience au changement climatique



Définir la résilience



Définir la résilience



PIARC, 2015 : Une capacité à **anticiper** les menaces, à s'y **préparer**, à y **répondre** et à **se rétablir** avec un minimum de dommages pour le bien-être social, l'économie et l'environnement.

PIARC, 2019 : La capacité de se **préparer** et de **planifier**, d'**absorber**, de **recupérer** ou de **s'adapter** avec plus de succès à des événements négatifs réels ou potentiels.

UNISDR, 2009 : La capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposée à des aléas à **résister**, **absorber**, **s'adapter** et **se remettre** des effets d'un aléa de manière rapide et efficace, y compris par la préservation et la restauration de ses structures et fonctions de base essentielles.

UNDRR, 2017 : La capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposée à des aléas à **résister**, **absorber**, **s'accommoder**, **s'adapter**, **se transformer** et **se remettre** des effets d'un aléa de manière opportune et efficace, y compris par la préservation et la restauration de ses structures et fonctions de base essentielles grâce à la gestion des risques.

Définir la résilience



Point de vue de l'ingénieur

- Approche « classique »
- Rebondir/revenir à l'état d'équilibre initial
- Met l'accent sur le maintien de la fonction et la récupération
- Plus adapté (??) aux systèmes techniques



Point de vue écologique

- Approche « contemporaine »
- Vers un nouvel état d'équilibre
- Met l'accent sur l'adaptation, la transformation, l'apprentissage
- Plus adapté (??) aux systèmes à forte composante sociale

Définir la résilience



DG-ECHO, 2021 : La résilience est la capacité d'un individu, d'une communauté ou d'un pays à faire face, à **s'adapter** et à **se remettre** rapidement de l'impact d'une catastrophe, d'une violence ou d'un conflit. La résilience couvre toutes les étapes de la catastrophe, de la prévention (lorsque cela est possible) à **l'adaptation** (lorsque cela est nécessaire), et **comprend une transformation positive** qui renforce la capacité des générations actuelles et futures à répondre à leurs besoins et à résister aux crises.

Sécurité publique Canada, 2017 : La résilience est la capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société à **s'adapter** aux perturbations résultant des aléas en persévérant, en récupérant ou **en changeant** pour atteindre et maintenir un niveau acceptable de fonctionnement.

Australian Institute for Disaster Resilience, 2020 : Une communauté résiliente a la possibilité, la capacité et l'aptitude à identifier et à atténuer les dangers et les risques, à absorber les effets des événements perturbateurs, à **s'adapter** ou à **se transformer** en prévision ou en réponse aux événements perturbateurs et à **revenir à un état de fonctionnement**.

Définir la résilience



La nature adaptative, transformative et apprenante de la résilience au niveau social/communautaire/système est désormais une des caractéristiques fondamentales de la résilience.

Définir la résilience



The diagram is a dense network of red lines connecting various nodes. It is divided into three main sections: 'COMPONENTS' on the left, 'ACTORS & PROCESSES' in the middle, and 'ECO SYSTEM SERVICES' on the right. Key terms include 'AIR TREATMENT', 'WATER TREATMENT', 'SOCIO-ECONOMIC RESILIENCE', 'IMPROVED OUTDOOR CLIMATE', and 'IMPROVED ECONOMIC'. It also lists various 'ACTORS' like 'Government', 'Business', and 'Citizens'.

La nature adaptative, transformative et apprenante de la résilience au niveau social/communautaire/système est désormais une des caractéristiques fondamentales de la résilience.

• Il n'y a pas de définition commune et reconnue de la résilience d'un système, d'une communauté, d'un territoire...

• L'objectif principal est d'**identifier** et de **hiérarchiser** les fonctions principales/critiques du système, ses interactions avec d'autres systèmes, et de qualifier les niveaux d'acceptabilité (de rupture, de limitation, de baisse du niveau de service...)

• Il est nécessaire pour toutes parties prenantes de la résilience d'être **explicites** quant aux éléments particuliers de la résilience sur lesquels ils font porter leurs travaux ou leurs interventions !

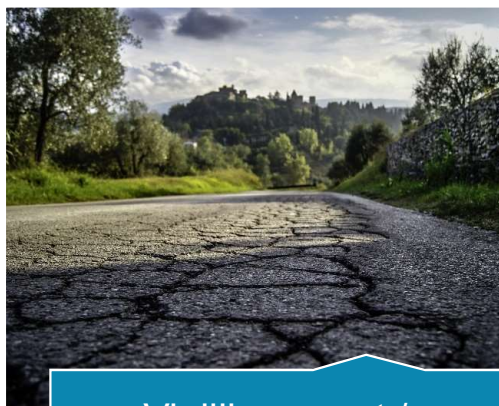
Définir la résilience

“ Capacité d’un système social, économique ou écologique à faire face à une **perturbation**, une **tendance** ou un **évènement** perturbateur, en réagissant ou en se réorganisant de manière à conserver sa fonction essentielle, son identité et sa structure tout en gardant ses facultés d'adaptation, d'apprentissage et/ou de transformation. ”

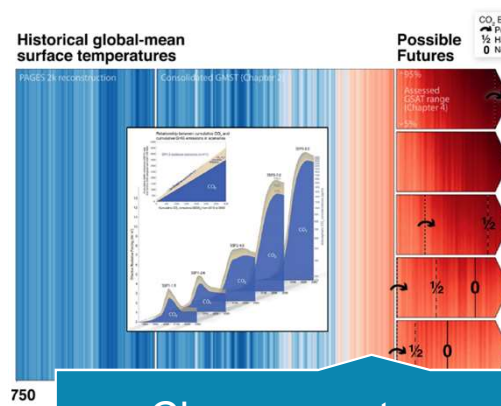
Source : IPCC



Crise / Catastrophe



Viellissement /
Dégradation chronique

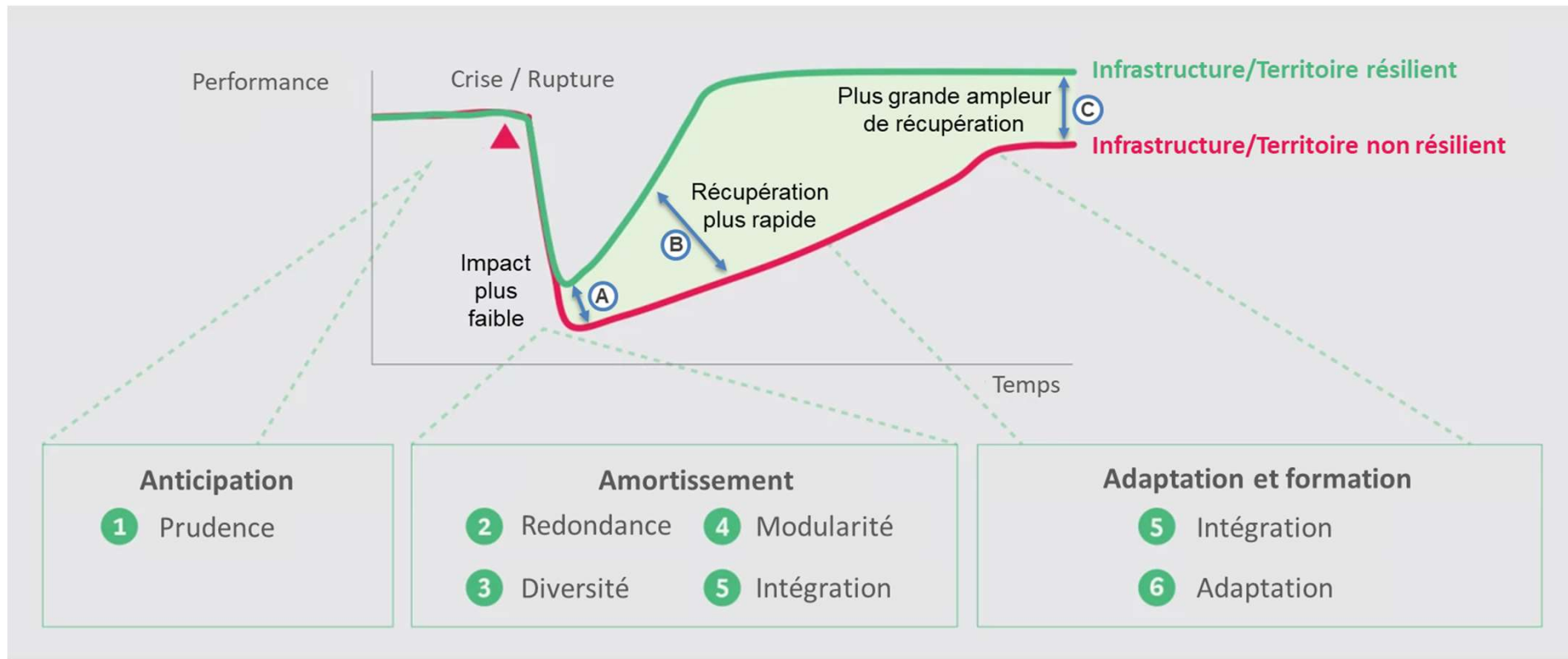


Changements
climatiques

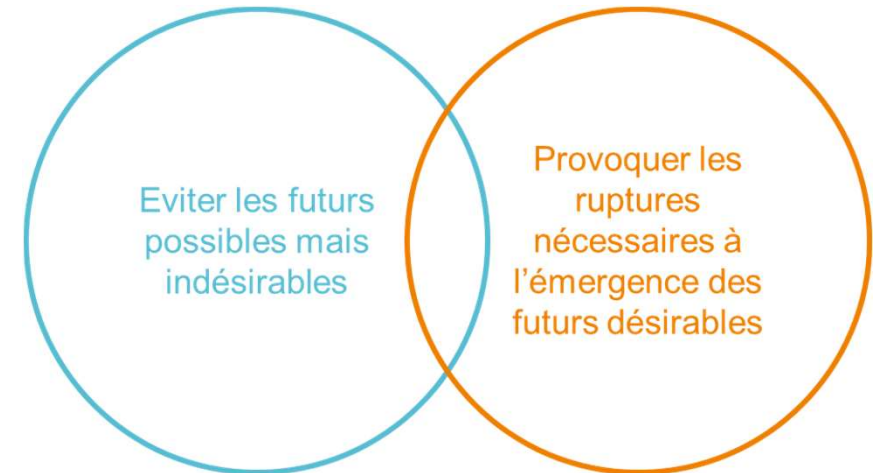
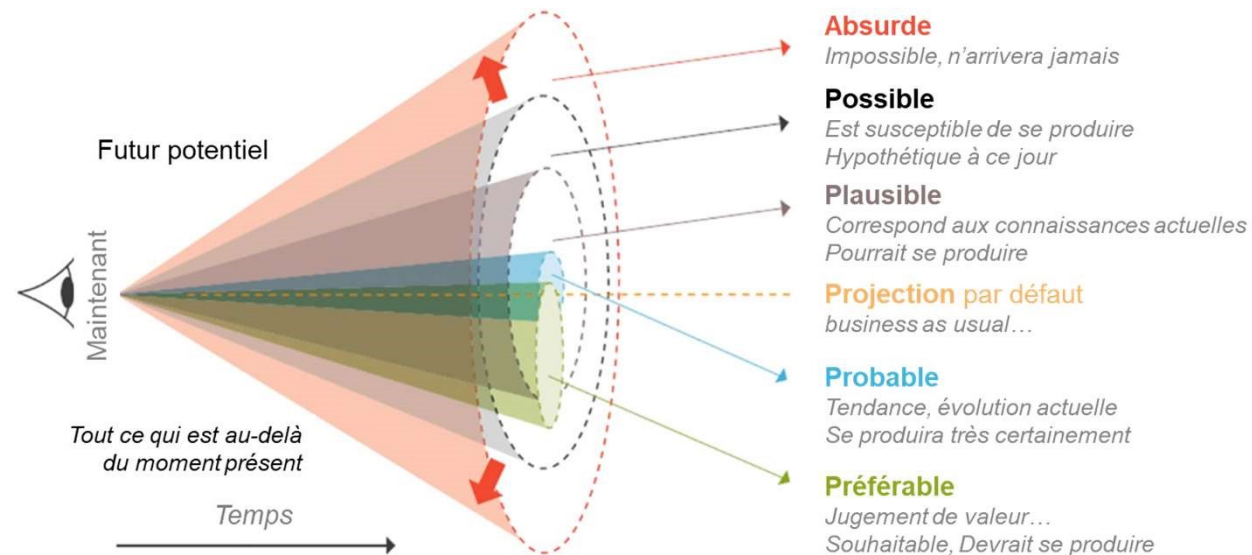


Évolutions techniques,
sociétales, d'usage...

Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure



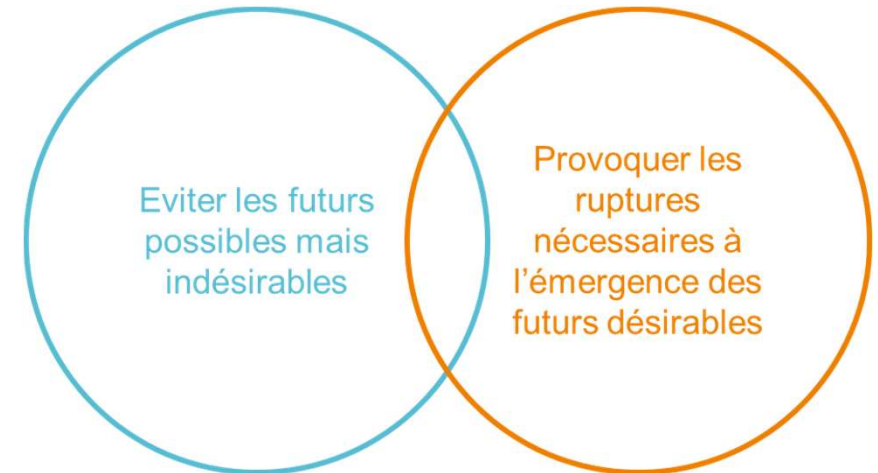
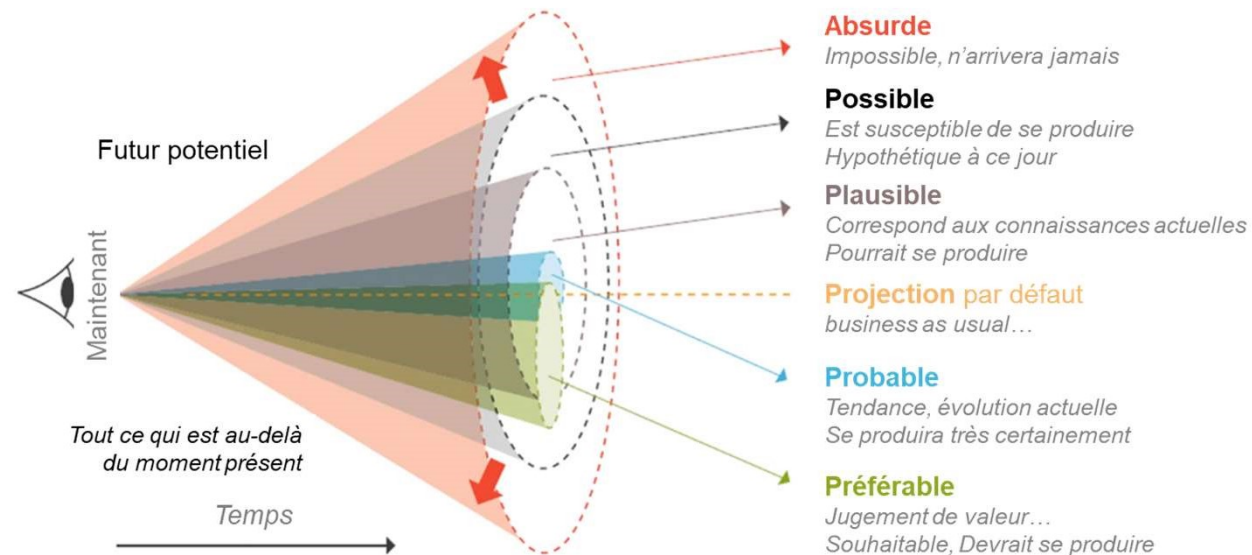
Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure



- ❖ Plans de continuité d'activité
- ❖ Prévention des risques stratégiques
- ❖ Stress tests financiers

- ❖ Vision stratégique
- ❖ Innovation
- ❖ Conduite du changement

Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure



- ❖ Plans de continuité d'activité
- ❖ Prévention des risques stratégiques
- ❖ Stress tests financiers
- ❖ Vision stratégique
- ❖ Innovation
- ❖ Conduite du changement

Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible...

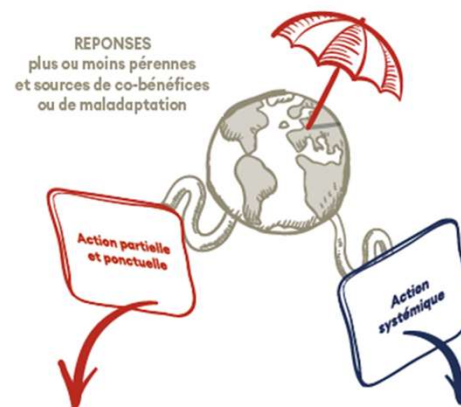
Antoine de Saint-Exupéry

Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure

Atténuation
Eviter l'ingérable



Adaptation
Gérer l'inévitable



Ajustement réactif

Ajustement anticipatif

réponse sur la base d'une transformation ponctuelle face à une perturbation donnée.

Transformation incrémentale

mesure qui préserve l'intégrité d'un système ou d'un processus à une échelle donnée

Transformation structurelle

modification des attributs fondamentaux d'un système par une action sur les causes structurelles des impacts, de l'exposition et de la vulnérabilité.

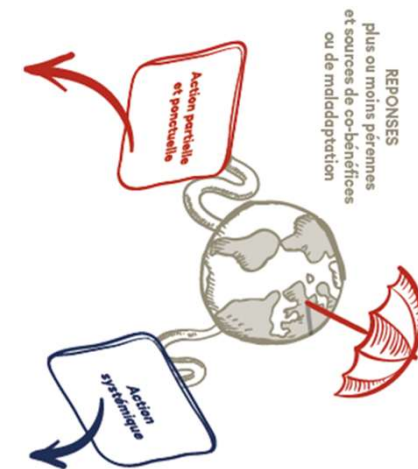


Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure

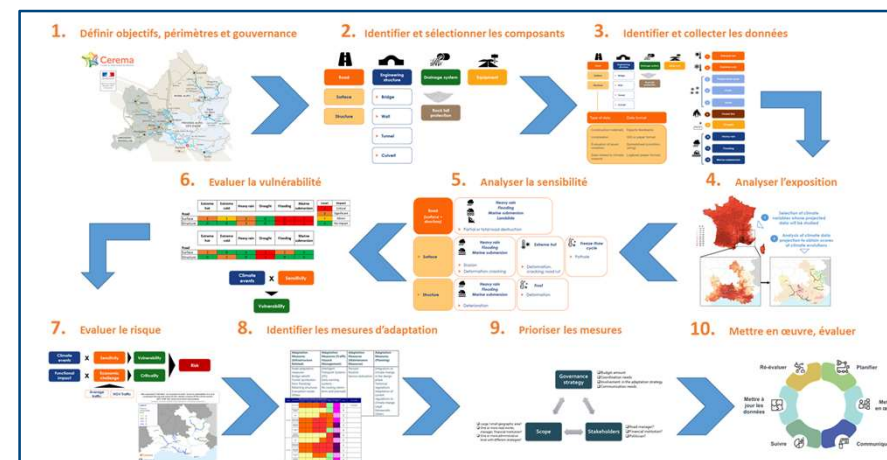
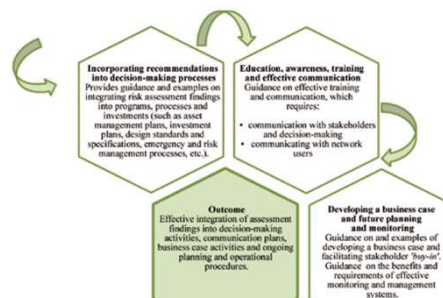
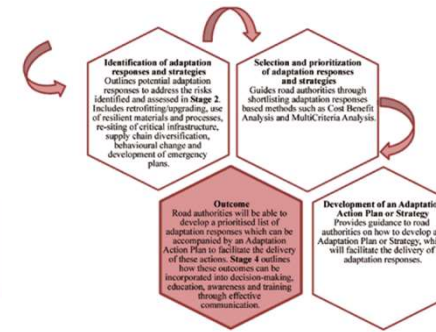
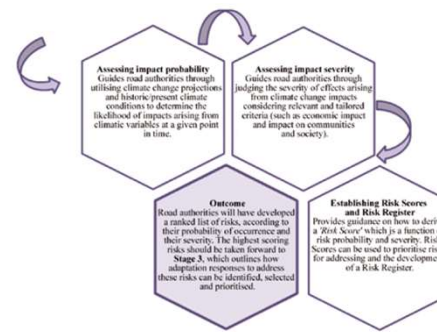
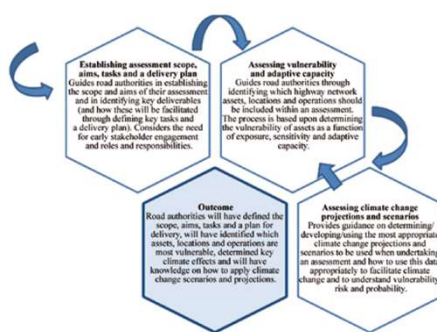
Exemple des inondations...



- *Résistance* : des digues, des murs ou des remblais pour empêcher les inondations
- *Récupération* : si les protections sont détruites, s'assurer d'être préparé (plan de gestion de crise, PCA...) et d'avoir les fonds et l'expertise nécessaires pour les réparer/remplacer
- *Compromis* : retrait planifié par le biais d'une relocalisation sélective des actifs clés. Nécessite d'avoir traité les sujets de redondance ou d'acceptation de la dégradation du niveau de service
- *Rebond* : ajustements de l'utilisation des terres pour incorporer des infrastructures naturelles afin d'augmenter l'absorption d'eau dans tout le système
- *Transformation* : intégration complète sur toutes les thématiques de l'aménagement du territoire et de la planification de la résilience dans les politiques de développement/investissement

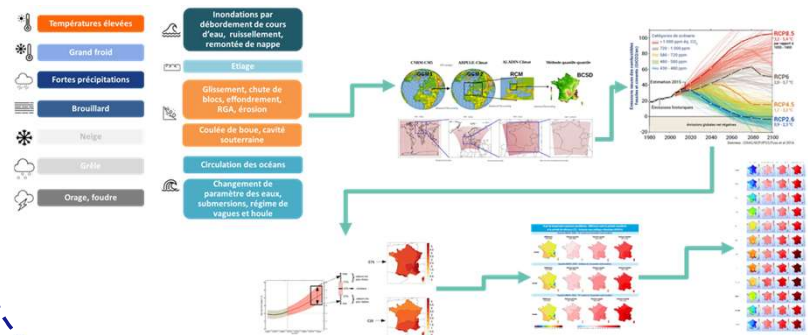


Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure

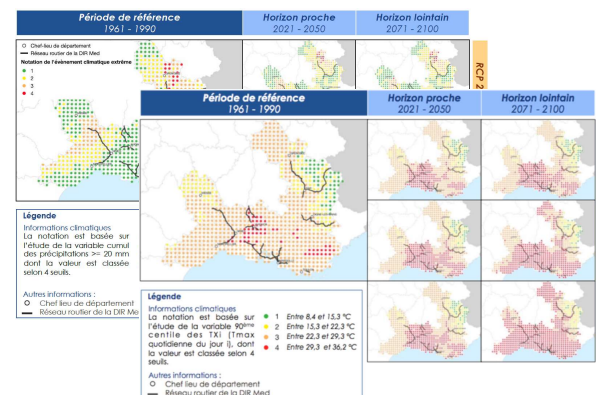


Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure

Identification des caractéristiques actuelles et futures des aléas



Analyse de l'évolution des vulnérabilités notamment dans un contexte de changement climatique

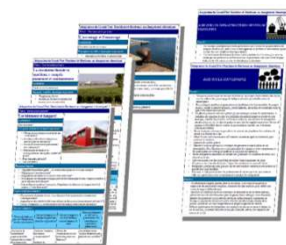


Identification de solutions d'adaptation les plus pertinentes

Prévalence climatique	Impact climatique sur l'infrastructure	Niveau de risque	Adaptation structurelle possible	Adaptation administrative possible	Adaptation organisationnelle possible
Prévalence climatique	Impact climatique sur l'infrastructure	Niveau de risque	Adaptation structurelle possible	Adaptation administrative possible	Adaptation organisationnelle possible

Type / Product / Name	Duration of Use	Notes	Picture
Sand Bags	Set before each flood event	Temporary - used only during storm conditions. For long term protection, possibility of leaving labor intensive, may require access to sort of structure. Fastening and set are not advised. Height of structure up to 50 inches. The width of a sandbag wall is 3 times its height.	
Self-expanding sandbags (e.g. FloodCubes or SOB Flood Bags)	Set before each flood event	Made of a light weight polymer material that expands when exposed to water, and for long term foundation, possibility of failure, labor intensive, does not require extensive storage area. Height of structure up to 36 inches. The width of a sandbag wall is 3 times its height.	
Water-cure™ Self-Rising Barrier	Seasonal use, re-usable over multiple years	Displays flat, rises by water pressure forces and creates a barrier, constructed from a high strength PVC fabric, and incorporates integrated sandbagging system on the front center flap. Height of structure is designed to retain water and is sold in sizes ranging from 6 to 60 inches.	
AquaFence	Seasonal use, re-usable over multiple years	Disposable flood protection structure, designed for rapid deployment, constructed of soft and hard materials, height of structure ranges from 48 to 96 inches.	
Portable Cylinder Flood Barriers	Seasonal use, re-usable over multiple years	Plastic sheets that form interlocking barriers are filled with water, height of structure is ranges from 60 to 84 inches.	

Définition d'une stratégie de résilience avec priorisation des solutions d'adaptation



Stratégie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stratégie 10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Stratégie de résilience ? Des solutions sur mesure

“

La gestion intégrée de patrimoine d'infrastructure (GIPI) est un processus visant à créer et maintenir les actifs afin de répondre aux besoins actuels et futurs des utilisateurs de la manière la plus efficace, efficiente et responsable possible. ”

Elle vise à :



Concilier les enjeux de court et de long terme



Dépasser l'approche par actif pour une vision réseau et la coupler à une approche territoriale



Proposer une approche intégrée, multidisciplinaire



Mettre en place une démarche adaptée à chaque gestionnaire et réseau d'infrastructure

Elle permet de :



Améliorer l'état du patrimoine et sa durée de vie et donc la sécurité publique



Augmenter la résilience du réseau



Mieux répondre aux attentes des usagers et de la société

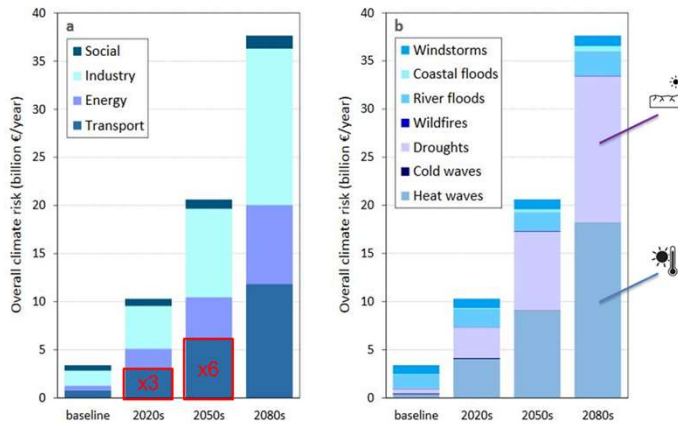


Avoir une meilleure performance par euro dépensé

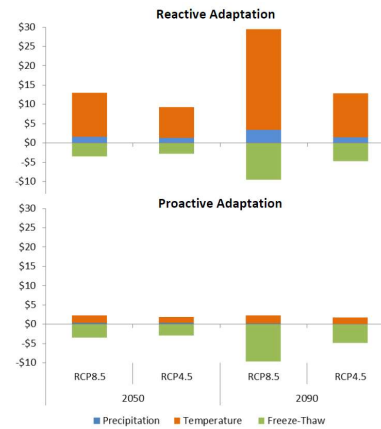


Conclusions et perspectives

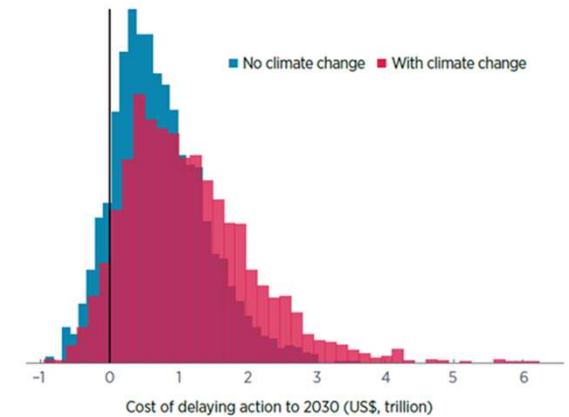
Le coût des dommages liés aux aléas climatiques va augmenter de manière significative au cours des prochaines décennies.



Le coût de l'inaction est plus élevé que celui de l'adaptation



Il est rentable d'accroître la résilience des futurs investissements dans les infrastructures, et le coût de l'inaction augmente rapidement



x3
 Augmentation du coût des dommages liés aux événements climatiques au cours de la décennie actuelle (par rapport à 2010)

7 à 10 milliards de dollars
 Montant économisé chaque année aux États-Unis d'ici 2050 en cas d'adaptation proactive des routes.

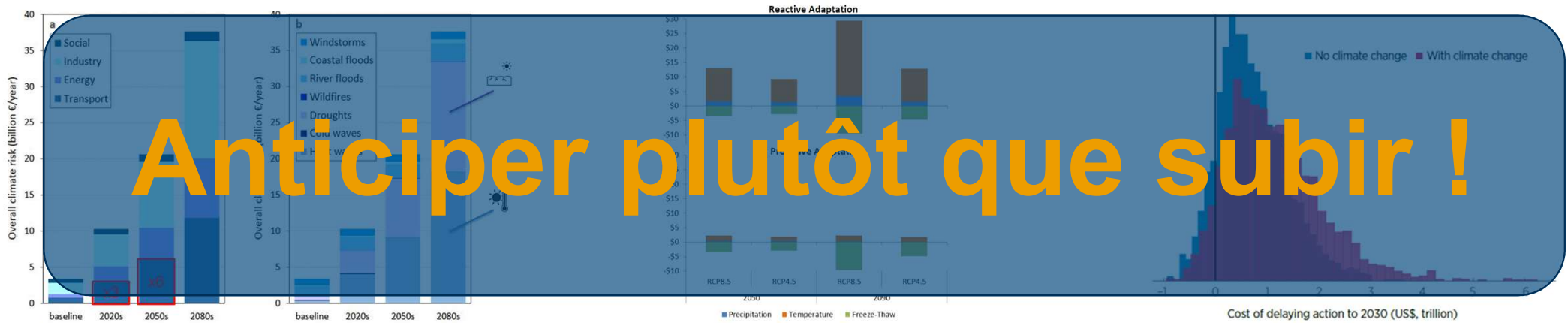
~2000 milliards de dollars
 Coût supplémentaire médian à l'échelle mondiale d'un report à 2030 des actions en faveur de la résilience des infrastructures.

Conclusions et perspectives

Le coût des dommages liés aux aléas climatiques va augmenter de manière significative au cours des prochaines décennies.

Le coût de l'inaction est plus élevé que celui de l'adaptation

Il est rentable d'accroître la **résilience** des futurs investissements dans les infrastructures, et le coût de l'inaction augmente rapidement



x3
 Augmentation du coût des dommages liés aux événements climatiques au cours de la décennie actuelle (par rapport à 2010)

7 à 10 milliards de dollars
 Montant économisé chaque année aux États-Unis d'ici 2050 en cas d'adaptation proactive des routes.

~2000 milliards de dollars
 Coût supplémentaire médian à l'échelle mondiale d'un report à 2030 des actions en faveur de la résilience des infrastructures.

Conclusions et perspectives

- Si la météo et le climat ont toujours été un défi pour la mobilité, le changement climatique intensifie les risques, expose les vulnérabilités mais offre également des **opportunités** pour des réponses adaptatives qui renforcent la résilience, à la fois dans le présent et dans le cadre du changement climatique.
- La résilience implique la mise en œuvre de différents processus ; l'accent est mis de plus en plus sur la résilience "rebond" et la notion de **transformation** qui est nécessaire si nous voulons disposer de systèmes de transport adaptés au climat.
- Le climat évolue rapidement, mais il n'est pas le seul facteur de changement. Cela nécessite des types d'engagement et de réponse **différents** de ce que nous avons fait dans le passé.
- La recherche de solutions techniques pertinentes ne doit pas occulter le besoin de mettre en place une **approche systémique** de la résilience des infrastructures au service des territoires !





Fabien PALHOL

Directeur de la recherche et de l'innovation / Référent résilience
Cerema

fabien.palhol@cerema.fr

World Road Association (PIARC)
Grande Arche – Paroi Sud – 5^e étage
92055 – La Défense Cedex – France



@PIARC_Roads



World Road
Association PIARC



World Road
Association PIARC



World Road
Association PIARC

www.piarc.org

