



---

**Commission économique pour l'Europe****Comité des transports intérieurs****Groupe de travail chargé d'examiner les tendances  
et l'économie des transports****Groupe d'experts de l'évaluation des effets des changements climatiques  
sur les transports intérieurs et de l'adaptation à ces changements****Vingt-sixième session**

Genève, 7 et 8 mars 2024

Point 5 de l'ordre du jour provisoire

**Base de données sur les mesures d'adaptation****Considérations sur les parcours d'adaptation  
dans le secteur des transports****Révision**

Note du secrétariat

**I. Contexte**

1. À sa vingt-quatrième session, le Groupe d'experts de l'évaluation des effets des changements climatiques sur les transports intérieurs et de l'adaptation à ces changements (GE.3) a examiné et commenté le projet d'orientations sur les parcours d'adaptation dans le secteur des transports établi par un groupe de volontaires qui avaient participé aux travaux intersessions en vue d'élaborer ces orientations.
2. Pour donner suite aux observations reçues, deux documents ont été établis pour examen par le Groupe d'experts. Le présent document, qui est le premier des deux, propose des considérations sur les parcours d'adaptation dans le secteur des transports.
3. L'auteur principal du présent document est S.A. Hashmi, de l'Université de Birmingham. Des contributions de fond ont été apportées par E. Ferranti et A. Quinn (Université de Birmingham) ainsi que par T. Popescu (Direction générale des infrastructures, des transports et des mobilités (France), vice-président du Groupe d'experts), C. Evans (Association mondiale de la route), R. Burbidge (Eurocontrol) et L. Wyrowski (secrétariat de la Commission économique pour l'Europe (CEE)).
4. Le Groupe d'experts est invité à examiner le présent document.



## II. Domaine d'application

5. On sait que les changements climatiques contribuent à accroître la fréquence et l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, notamment les inondations, les vagues de chaleur, les tempêtes et autres. Ces phénomènes peuvent entraîner des répercussions importantes sur les infrastructures de transport, les services et les usagers. Les propriétaires et les exploitants d'infrastructures de transport doivent s'adapter à toute une gamme de risques liés aux changements climatiques. On peut décrire les parcours d'adaptation comme une suite de mesures interdépendantes et souples qui peuvent être appliquées de manière progressive, en fonction de la dynamique future et de l'évolution des risques. Les mesures précoces doivent contribuer à l'adaptation globale aux changements climatiques sans compromettre les mesures ultérieures. L'utilisation des parcours d'adaptation peut aider les propriétaires et les exploitants d'infrastructures de transport à adapter leurs actifs afin de maintenir l'efficacité fonctionnelle de ceux-ci dans les conditions climatiques futures, qui ne sont peut-être pas connues. Le présent guide a pour objectif d'aider les propriétaires, les exploitants et les gestionnaires d'infrastructures de transport à comprendre et élaborer des parcours d'adaptation pour leurs propres actifs. Ce cadre pour les parcours d'adaptation peut aider les professionnels des infrastructures de transport à structurer la planification de la préparation aux changements climatiques à court, moyen et long termes.

## III. Considérations sur les parcours d'adaptation dans le secteur des transports

### Contexte et analyse de la documentation scientifique sur les parcours d'adaptation

#### 1. Introduction

6. Au cours des prochaines décennies, on s'attend à ce que le réchauffement de la planète et les changements climatiques qui en découlent accroissent encore la fréquence, l'intensité, l'étendue spatiale, la durée et les périodes de survenue des phénomènes météorologiques extrêmes, par exemple les fortes précipitations, et ils pourraient provoquer des extrêmes sans précédent. Dans de nombreuses régions du globe, la fréquence et l'intensité des fortes précipitations ou la proportion des précipitations totales provenant de fortes pluies sont susceptibles d'augmenter avec la poursuite du réchauffement au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. L'élévation du niveau moyen de la mer devrait contribuer à l'augmentation des niveaux extrêmes des hautes eaux côtières et les changements prévus en matière de précipitations et de températures impliquent des changements possibles des inondations [1, 2].

7. Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent endommager et perturber les infrastructures de transport de multiples façons. Par exemple, de fortes précipitations peuvent provoquer des inondations ou des glissements de terrain qui entraînent des fermetures de routes et de voies ferrées ou augmentent l'encombrement des routes et la fréquence des accidents. Les fermetures de routes peuvent également entraîner l'évacuation des zones et entraver l'accès des services d'urgence aux endroits touchés. Les températures élevées peuvent entraîner divers problèmes pour les infrastructures ferroviaires, tels que la défaillance des équipements électriques ou la déformation des voies, ce qui peut provoquer des interruptions de service. Dans l'ensemble, l'augmentation des températures et du niveau des mers ainsi que l'intensité et la fréquence croissantes des phénomènes météorologiques extrêmes (notamment les fortes pluies et les vagues de chaleur) risquent de compromettre les services et les infrastructures de transport en Europe. Ces répercussions sur le secteur des transports peuvent entraîner des conséquences destructrices. Les exploitants et propriétaires d'infrastructures de transport doivent donc renforcer leur préparation en s'adaptant à une série de risques associés aux changements climatiques afin de réduire les interruptions de service liées aux conditions météorologiques et les coûts financiers qui en découlent. Étant donné que la durée de vie des infrastructures de transport est de plusieurs décennies (notamment pour les tunnels, les voies ferrées et les ponts), les scénarios climatiques futurs

doivent être pris en compte lors de la construction de toute nouvelle infrastructure afin d'éviter que celle-ci soit précaire ou nécessite des travaux de modernisation coûteux. En ce qui concerne les installations et réseaux existants, il peut être nécessaire de les adapter pour qu'ils soient plus robustes face à l'aggravation des risques climatiques afin de continuer à pouvoir fournir et à maintenir des services ou d'éviter l'augmentation des coûts due aux conséquences des conditions météorologiques extrêmes [3]. Dans l'ensemble, dans le cadre du processus d'adaptation aux changements climatiques et de l'amélioration intrinsèque de la résilience, les exploitants et les propriétaires d'infrastructures de transport doivent tenir compte des incertitudes climatiques qui pourraient entraîner à l'avenir des situations socioéconomiques imprévisibles pour des éléments cruciaux des infrastructures de transport, touchant par exemple la conception, la réparation et la gestion des actifs, l'exploitation commerciale et la continuité du service, la réaction aux situations d'urgence et la gestion de la chaîne d'approvisionnement [4]. Toutefois, on s'attend qu'avec des outils tels que les évaluations des effets et des risques climatiques, ainsi que les cadres pour la simulation de crise [5], il soit possible d'acquérir des connaissances et de comprendre les incidences potentielles des changements climatiques sur les infrastructures de transport. Grâce à ces évaluations, les propriétaires et les exploitants d'infrastructures pourront recenser et évaluer les risques et vulnérabilités liés au climat auxquels leurs infrastructures sont susceptibles d'être confrontées.

8. Il existe actuellement une multitude de guides sectoriels de la planification de l'adaptation aux changements climatiques, qui visent à permettre aux collectivités de faire face aux incidences, aux risques et aux possibilités que présentent ces changements, en les aidant à formuler des plans d'adaptation locaux ou à en exécuter certaines étapes. Ces guides fournissent des orientations complètes sur chaque étape du processus de planification de l'adaptation, qui comprend l'étape majeure consistant à déterminer et évaluer les choix d'adaptation possibles. Ils offrent un appui précieux pour ce qui est de comprendre les étapes importantes du processus de planification, en particulier pour les non-spécialistes et les débutants dans le domaine des changements climatiques. Toutefois, il semble que l'étape consistant à déterminer et évaluer les choix d'adaptation nécessite des explications plus détaillées, car elle conduit à élaborer des parcours (c'est-à-dire à étudier une série d'options plutôt qu'à adopter d'une solution unique une fois pour toutes).

9. Les plans et stratégies d'adaptation aux changements climatiques doivent tenir compte des changements de l'ampleur et de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes et des changements climatiques à long terme, et anticiper les changements socioéconomiques susceptibles d'affecter la démographie, la technologie ou la gouvernance [3, 6]. Diverses stratégies de planification de l'adaptation, qui sont axées sur une analyse coûts-avantages des interventions locales, peuvent ne pas convenir à toutes les applications en raison de la nature lente des changements climatiques, en particulier lorsqu'il s'agit de systèmes complexes composés d'éléments à très longue durée de vie (par exemple les ponts) et d'éléments à courte durée de vie (par exemple les systèmes informatiques) [3]. Le développement durable s'articule autour des changements climatiques et de conditions futures incertaines. Compte tenu de la complexité et de la nature incertaine des problèmes socioenvironnementaux, les méthodes de planification qui favorisent l'adaptabilité doivent tenir compte de l'évolution des conditions au fil du temps.

10. Il existe actuellement plusieurs méthodes qui mettent l'accent sur l'adaptabilité des plans pour aider les décideurs à tenir compte des incertitudes lorsqu'ils prennent des décisions à long terme. En voici quelques exemples :

- Les parcours d'adaptation éclairent l'enchaînement des mesures dans le temps, les blocages potentiels et les relations de dépendance [7] ;
- La méthode adaptative d'élaboration des politiques propose une approche étape par étape consistant à élaborer un plan de base ainsi qu'un plan de gestion des imprévus qui permet d'adapter le plan de base à de nouvelles informations au fil du temps [7] ;
- La planification par scénarios est une technique pratique utilisée pour éclairer la prise de décisions en cas d'incertitude, au moyen de l'étude d'une série d'états futurs et de l'examen de plusieurs choix de réaction [8] ;

- La prise de décision robuste permet de comprendre les conditions dans lesquelles les problèmes surgissent et de rendre les arbitrages transparents [9].

11. Ces méthodes permettent de choisir des mesures à court terme tout en conservant la possibilité de modifier, d'étendre ou d'altérer les plans en fonction de changements futurs. Parmi toutes ces méthodes, il a été observé à plusieurs reprises que celle des parcours d'adaptation présente plusieurs avantages : il s'agit d'une méthode analytique, à la différence de la méthode adaptative d'élaboration des politiques, laquelle est davantage une méthode qualitative ; elle n'exige pas beaucoup de données, à la différence de la prise de décisions robuste ; et elle peut prendre moins de temps que la planification par scénarios, qui nécessite de prendre en considération un grand nombre de scénarios pour être solide [7, 10].

## 2. Les parcours d'adaptation

12. Un parcours d'adaptation peut être décrit de manière générale comme une séquence de mesures interdépendantes et souples susceptibles d'être prises de manière progressive en fonction de la dynamique future et de l'évolution des risques, grâce à des mesures précoces qui contribuent à l'adaptation globale aux changements climatiques sans compromettre les mesures futures. Cette séquence de choix combine des plans d'adaptation à long terme valables pour une série de scénarios climatiques avec des objectifs et des mesures à court terme [3, 4, 11, 12]. Par conséquent, la méthode des parcours d'adaptation doit être au cœur de la production et de l'analyse des choix d'adaptation. Il convient de noter qu'à ce stade, les premières étapes de la définition des objectifs, de l'examen des données antérieures et des scénarios climatiques futurs, ainsi que de l'évaluation des vulnérabilités et des risques à l'aide d'une méthodologie appropriée, doivent déjà avoir été franchies.

13. La méthode des parcours d'adaptation permet de saisir l'enchaînement des mesures dans le temps, car elle prend en compte un large ensemble de scénarios provisoires pour une grande variété d'incertitudes concernant les évolutions futures qui pèsent sur le processus de planification. Elle inclut les tendances et les changements systémiques ainsi que l'incertitude due aux variabilités naturelles. Elle utilise un modèle simple et rapide qui permet d'étudier plusieurs parcours complets, lesquels peuvent ensuite être utilisés pour élaborer des cartes des parcours d'adaptation [7]. Une carte des parcours d'adaptation est une illustration visuelle de plusieurs trajectoires ou parcours potentiels d'adaptation aux changements climatiques au fil du temps. Elle permet de comprendre et de planifier des mesures d'adaptation en fonction de différents scénarios et des conditions futures. Des éléments tels que l'horizon temporel, les scénarios, les points de décision, les choix d'adaptation, les arbitrages, les incertitudes et la participation des parties prenantes font généralement partie de ces cartes. Les cartes des parcours d'adaptation peuvent varier, allant de simples calendriers assortis de points de décision et de choix à des diagrammes plus complexes illustrant des scénarios multiples et des parcours interconnectés. La conception de la carte peut donc être adaptée au contexte et aux besoins particuliers du processus de planification de l'adaptation afin de faire comprendre efficacement l'éventail des parcours d'adaptation possibles.

14. Les parcours d'adaptation sont une méthode prometteuse axée sur la prise de décisions, qui intègre la souplesse dans la prise des décisions compte tenu des incertitudes futures et d'un suivi continu des changements climatiques et de leurs effets. En intégrant un suivi régulier, les décideurs peuvent surveiller la vitesse et l'ampleur des changements climatiques et évaluer l'efficacité des mesures d'adaptation mises en place. Ce suivi fournit des informations cruciales sur l'évolution des conditions climatiques et des effets connexes, ce qui permet d'intervenir en temps utile et d'ajuster les stratégies d'adaptation. Ce processus itératif garantit que les parcours d'adaptation réagissent aux nouvelles informations et permet aux décideurs de déterminer le moment approprié pour intervenir en fonction des changements climatiques observés et de leurs effets. En intégrant les aspects liés à ce suivi, les parcours d'adaptation renforcent la capacité d'adaptation des systèmes et facilitent la prise de décisions éclairées pour faire face à l'évolution des conditions climatiques. L'élaboration de parcours d'adaptation et leur mise en application par les exploitants et propriétaires d'infrastructures peuvent contribuer à adapter leurs installations et réseaux existants afin de maintenir ou d'améliorer les niveaux de service et l'efficacité fonctionnelle souhaitée dans les conditions climatiques futures. Dans un plan d'adaptation type, les parcours décrivent le processus de mise en application en énonçant les mesures à envisager immédiatement et

celles à appliquer lorsque certaines conditions (souvent définies par des seuils des variables climatiques) seront réunies ou dans un délai donné dans lequel on peut prédire avec certitude que ces conditions seront réunies.

15. La méthode des parcours d'adaptation permet de procéder à l'adaptation par étapes ou phases, dont chacune peut être planifiée et conçue de manière à réduire le risque global à un niveau acceptable en fonction de l'évolution des conditions climatiques. En outre, à la différence des méthodes de gestion de projet classiques, dans lesquelles chaque étape est planifiée pour être lancée à un moment fixé à l'avance, les phases d'un parcours d'adaptation peuvent être modifiées et exécutées lorsque le risque global atteint un seuil prédéterminé [3].

16. En appliquant la méthode des parcours d'adaptation à la planification de l'adaptation, il est possible de créer un réseau ou un ensemble interconnecté de mesures qui rendent possible le maintien durable de la fourniture de services efficaces alors que les risques climatiques évoluent [13]. En d'autres termes, lorsqu'une mesure connue a atteint sa limite d'efficacité, une autre mesure peut la remplacer pour maintenir la fourniture des services tout en réduisant les perturbations ou les dommages physiques causés à l'infrastructure. Ces seuils prédéterminés sont généralement fixés sur la base de facteurs critiques tels que les inspections d'entretien, le suivi de l'état de l'infrastructure, les prévisions météorologiques à moyen et long terme, les prévisions climatiques décennales et les projections climatiques, et ils sont généralement définis dans le cadre de réévaluations régulières des risques [3]. Toutefois, il est essentiel de tenir compte du délai nécessaire pour l'application des mesures, en particulier pour garantir qu'aucun aspect de la sécurité ne soit compromis. La connaissance de ce délai permet aux planificateurs de prévoir combien de temps avant qu'un seuil soit atteint ils doivent commencer à préparer la mise en application d'une nouvelle mesure. Cela est rendu possible grâce au recours à des systèmes de surveillance et indicateurs climatiques adéquats (par exemple la fréquence des inondations). Par conséquent, le recours à la méthode des parcours d'adaptation aide à déterminer le moment auquel de nouvelles mesures sont nécessaires et celui auquel on doit commencer à préparer leur mise en application. Cette tactique rend très probable qu'au moment de lancer les mesures, on connaîtra mieux le moment auquel le seuil sera atteint, ce qui permet de lancer les mesures appropriées. En outre, la planification sous forme de parcours d'adaptation permet au processus d'adaptation d'évoluer au même rythme que le climat, sans qu'il soit nécessaire de connaître à l'avance le rythme ou le niveau de cette évolution [13].

17. La méthode des parcours d'adaptation permet d'améliorer la planification à long terme de l'adaptation aux changements climatiques dans un contexte d'incertitude, mais les applications locales sont importantes pour permettre aux propriétaires d'infrastructures et aux planificateurs de comprendre l'utilité de la méthode. De temps à autre, il peut arriver que les niveaux de danger présentés par les changements climatiques parviennent à un point auquel les objectifs actuels ne peuvent plus être atteints. Par exemple, il peut être déterminé qu'au-delà d'un certain niveau d'élévation du niveau de la mer, aucune défense n'est plus possible ou abordable dans telle ou telle zone et que, par conséquent, la poursuite des services de transport n'y est plus viable. Dans ce cas, l'application de changements progressifs n'est pas réalisable et un changement transformateur est donc nécessaire, par exemple le détournement des itinéraires de transport. Dans de tels moments, une compréhension préalable des seuils est inestimable, car elle peut aider à planifier de façon à éviter toute dégradation ultérieure dans les zones vulnérables et de mettre en place des choix efficaces et peu coûteux pour atteindre de nouveaux objectifs [13].

18. Dans l'ensemble, les parcours d'adaptation sont extrêmement prometteurs pour ce qui est de renforcer la résilience et de faire face aux effets des changements climatiques sur les systèmes et les infrastructures de transport. Toutefois, il est essentiel de reconnaître et de traiter les problèmes qui peuvent être associés à cette méthode. Il peut s'agir de difficultés à déterminer les points de décision critiques, d'incertitudes quant à la responsabilité financière et juridique pour les décisions et les effets associés, pour les coûts et pour l'atténuation des risques, ou de difficultés à encourager la participation des parties prenantes ou plus largement de la société. On trouvera à la section 5 du présent document un examen plus détaillé de ces difficultés. Pour exploiter pleinement le potentiel des parcours d'adaptation et obtenir des résultats durables et résistants à l'évolution du climat, il sera essentiel de comprendre et régler ces difficultés.

### 3. Résumé des expressions couramment utilisées dans les parcours d'adaptation

19. Plusieurs groupes d'universitaires et de praticiens ont apporté une importante masse de connaissances et élaboré des notions relatives aux parcours d'adaptation. On trouvera dans le tableau ci-dessous une liste de quelques expressions couramment utilisées et leur pertinence pour décrire la méthode des parcours d'adaptation, sur la base des points de vue de plusieurs groupes de chercheurs et de praticiens. Les professionnels du transport pourront mettre à profit ces expressions et les explications qui les accompagnent pour mieux comprendre les orientations fournies dans le présent document.

#### Expressions couramment utilisées et leur pertinence pour l'examen des parcours d'adaptation

<i>Expression</i>	<i>Explication</i>
Adaptation	Dans le contexte des changements climatiques, l'adaptation fait référence aux mesures qui réduisent les effets négatifs d'un changement du climat, tout en tirant profit d'éventuelles nouvelles possibilités. Il peut s'agir d'apporter des ajustements aux systèmes économiques, sociaux ou écologiques en réaction aux stimuli climatiques actuels ou anticipés et à leurs effets [14].
Mesure d'adaptation	Mesure appliquée en vue de réduire les effets des changements climatiques ou d'accroître la capacité d'adaptation [14].
Choix d'adaptation ( <i>Adaptation option</i> )	Ensemble de mesures visant à réduire les effets des changements climatiques ou à accroître la capacité d'adaptation [14].
Parcours d'adaptation ( <i>Adaptation pathways</i> )	Séquence de mesures (choix d'adaptation) et de points de décision interconnectés et souples qui peuvent être mis en place de manière progressive au fil du temps, pour faire face aux effets des changements climatiques en fonction de la dynamique future et de l'évolution des risques [4, 14, 15].
Carte d'un parcours d'adaptation ( <i>Adaptation pathways map</i> )	Représentation graphique d'un parcours d'adaptation.
Capacité d'adaptation ( <i>Adaptive capacity</i> )	Capacité des systèmes et des institutions à : – S'adapter à des dommages potentiels et à tirer parti de nouvelles possibilités, ou à – Réagir aux conséquences de la variabilité et des modifications de l'environnement, notamment en adaptant les comportements et les ressources et technologies [14].
Conception adaptative ( <i>Adaptive design</i> )	La conception adaptative au climat vise à préparer les infrastructures, dès leur conception, aux catastrophes naturelles. En matière de conception environnementale et écologique, elle cherche des solutions de haute et de basse technologie capables de rendre les infrastructures régénératives, résilientes et adaptables aux effets des changements climatiques.
Politiques adaptatives ( <i>Adaptive policies</i> )	Politiques qui prennent en compte les changements au fil du temps et prévoient explicitement des dispositions en vue de l'apprentissage [16].
Gestion adaptative ( <i>Adaptive management</i> )	Processus systématique visant à améliorer de manière répétée les politiques et les pratiques de gestion en tirant des enseignements des résultats de programmes concrets [17]. Les stratégies de gestion adaptative peuvent aider les planificateurs et les gestionnaires qui cherchent à surmonter les incertitudes inhérentes aux changements climatiques et à leurs effets et à déterminer les réactions appropriées [18].
Effets en cascade ( <i>Cascading impacts</i> )	Effets découlant de phénomènes météorologiques ou climatiques extrêmes entraînant dans les systèmes naturels et humains une série de phénomènes secondaires qui eux-mêmes entraînent des perturbations naturelles, sociales,

<i>Expression</i>	<i>Explication</i>
	physiques ou économiques dont les conséquences sont plus importantes que l'effet initial [14].
Indicateurs climatiques / Déclencheurs / Signaux / Seuils ( <i>Climate Indicators / Triggers / Signposts / Thresholds</i> )	<p>Souvent appelés seuils, points de basculement de l'adaptation ou déclencheurs (voir ci-dessous les définitions de ces expressions), ils sont intégrés dans les parcours élaborés pour symboliser le moment où une mesure d'adaptation ou une stratégie de gestion n'est plus viable et où une stratégie d'adaptation différente doit être appliquée [4, 11].</p> <p>Les seuils sont des points à partir desquels un système commence à fonctionner d'une manière sensiblement différente. Les seuils peuvent être physiques, environnementaux, économiques ou sociaux [14].</p> <p>Un seuil critique est un seuil au-delà duquel un système peut commencer à présenter de graves défaillances ou à fonctionner de manière inacceptable ou intenable.</p>
Incertitude profonde ( <i>Deep Uncertainty</i> )	Type d'incertitude dans lequel les parties prenantes et les décideurs ne savent pas ou ont du mal à se mettre d'accord sur la probabilité respective de différents scénarios d'avenir [19].
Point de décision ( <i>Decision point</i> )	Survenant souvent avant un seuil ou une date limite d'utilisation, il s'agit de moments où il est nécessaire de faire le point sur les progrès accomplis et de choisir parmi plusieurs solutions [14]. À des moments déterminés du processus de planification de l'adaptation, les décideurs politiques et les parties prenantes évaluent les informations disponibles, apprécient l'efficacité des mesures appliquées jusque-là et prennent en compte les nouvelles données et projections. Ils décident alors de poursuivre la stratégie en cours, de l'adapter ou de choisir un parcours entièrement différent.
Interdépendance ( <i>Interdependencies</i> )	<p>Les interdépendances liées aux changements climatiques font référence aux interconnexions entre les différents risques climatiques (tels que l'augmentation de la température et la réduction des précipitations, qui auront un effet sur la disponibilité et la qualité de ressources critiques), qui ont ensuite une influence sur différents secteurs (par exemple l'énergie).</p> <p>En outre, les systèmes modernes d'infrastructure urbaine sont très interdépendants, constitués de connexions multiples, de boucles de rétroaction et de renforcement aux ramifications complexes. Cela implique que la défaillance d'un système peut avoir des répercussions en cascade sur d'autres systèmes (par exemple, une panne d'électricité peut avoir une influence sur les exploitations ferroviaires) [20].</p>
Niveau de risque (acceptable ou inacceptable)	Les parcours d'adaptation sont conçus en fonction de niveaux de risque acceptables ou inacceptables. Un changement de parcours est nécessaire lorsque le niveau de risque, tel qu'estimé d'après les indicateurs appropriés, n'est plus considéré comme acceptable. En général, le niveau de risque acceptable est déterminé par le point de vue des parties prenantes ou par la survenue d'un phénomène météorologique extrême [4, 21, 22].
Maladaptation	Mesure ou réaction à un changement climatique qui peut entraîner une adaptation à court terme dans un domaine important de la prise de décisions, mais qui entraîne à plus long terme des conséquences préjudiciables dans d'autres domaines, voire dans le même domaine [14]. Une décision ou stratégie maladaptative peut contribuer à immobiliser des actifs ou aggraver leur immobilisation.
Analyse multicritères ou méthode de prise de décisions multicritères ( <i>Multi-criteria analysis (MCA) or</i>	Outil de prise de décisions efficace et pratique qui permet de répondre aux besoins d'un large éventail de secteurs en combinant les coûts et avantages avec d'autres choix qualitatifs [23].

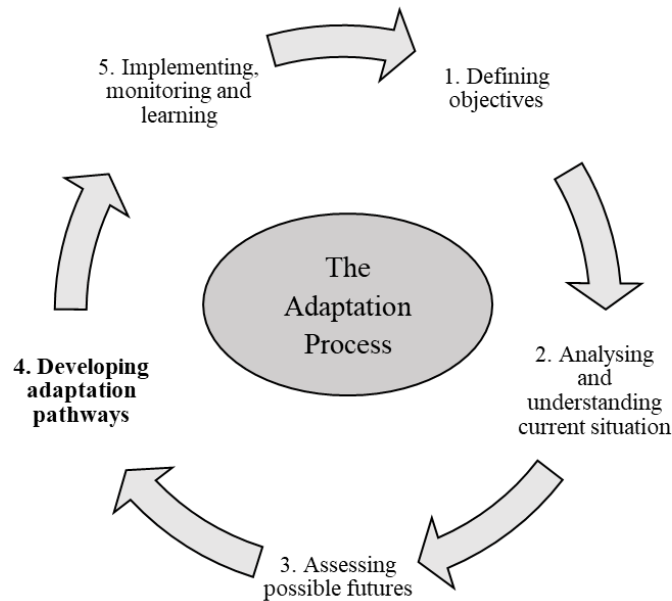
<i>Expression</i>	<i>Explication</i>
<i>Multi-criteria Decision Making Method (MCDM)</i>	
Options sans regret, à faible regret et gagnant-gagnant ( <i>No-regret, low-regret and win-win options</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les mesures sans regret sont généralement des mesures d'adaptation rentables applicables aux conditions climatiques existantes et compatibles avec la prise en compte des risques liés aux changements climatiques. Ces mesures n'impliquent pas d'arbitrages difficiles avec d'autres objectifs politiques.</li> <li>• Les mesures d'adaptation à faible regret sont relativement peu coûteuses et offrent des avantages relativement importants pour les climats futurs prévus.</li> <li>• Les mesures d'adaptation gagnant-gagnant contribuent à l'adaptation tout en présentant d'autres avantages environnementaux, économiques et sociaux [24].</li> </ul>
Résilience (des actifs de transport)	Capacité des infrastructures, systèmes et réseaux de transport à résister à des événements perturbateurs, des stress et des conditions changeantes et à s'en remettre, tout en continuant de fonctionner et de fournir des services essentiels aux usagers [14].
Point de basculement ( <i>Tipping point</i> )	Seuil critique (niveau de changement) au-delà duquel un système se réorganise, souvent brusquement, et ne revient pas à son état initial (c'est-à-dire que les changements sont irréversibles) même si par la suite les facteurs du changement sont atténués [14].
Point de déclenchement ( <i>Trigger point</i> )	Seuil ou indicateur prédéfini qui agit comme signal pour déclencher des mesures ou des réactions déterminées face à l'évolution des conditions climatiques ou de leurs effets. Les points de déclenchement aident les décideurs à définir le moment où il est nécessaire de prendre des mesures d'adaptation ou d'ajuster les stratégies existantes pour faire face à l'évolution des risques.
Tournant ( <i>Turning point</i> )	Situation dans laquelle la méthode de gestion des effets des changements climatiques subit des modifications importantes. Cela peut être dû à des changements du climat ou dépendre de valeurs et intérêts sociaux ou d'objectifs politiques [25].

#### 4. Conditions préalables à l'élaboration de parcours d'adaptation

20. Le présent guide vise à aider les propriétaires, exploitants et gestionnaires d'actifs de transport à élaborer des parcours d'adaptation, mais un certain niveau de connaissances est nécessaire pour le comprendre pleinement et ensuite le mettre en application. Pour l'essentiel, l'élaboration d'un parcours d'adaptation fait partie d'un processus simple de planification de l'adaptation en cinq étapes, comme le montre la figure ci-dessous.



### Les cinq étapes simplifiées d'un processus typique de planification des parcours d'adaptation (adapté de [26])



21. La première étape du processus de planification de l'adaptation consiste à définir les objectifs et les cibles ainsi que les principaux indicateurs susceptibles d'être utilisés pour évaluer le succès (c'est-à-dire pour déterminer si un objectif a été atteint). Cette première étape exige des propriétaires et des gestionnaires d'infrastructures de transport qu'ils déterminent ce qu'ils veulent atteindre en fin de compte. Il s'agit donc d'une étape initiale cruciale, car une mauvaise définition ou une définition incorrecte des objectifs peut souvent influencer sur toutes les étapes de planification ultérieures, et donc sur les parcours d'adaptation produits. Les objectifs doivent donc être spécifiques, mesurables et programmés dans le temps, tout en étant liés à un but général. Ils peuvent être révisés, modifiés ou même abandonnés au fil du temps. Le cadre décrit dans le document ECE/TRANS/WP.5/GE.3/2023/2 prévoit que les propriétaires et les gestionnaires d'infrastructures de transport concernés qui souhaiteraient élaborer un parcours d'adaptation pour leurs actifs ont déjà franchi cette étape [26].

22. Pour permettre une application efficace du cadre pour les parcours d'adaptation, les objectifs doivent être définis par rapport à un niveau de risque, étant donné que l'objectif d'adaptation est susceptible de différer en fonction de ce niveau [27]. Dans la première phase de définition des objectifs, avant d'entrer dans le cadre proprement dit et de définir plus précisément les niveaux de risque, il peut être suffisant de définir ceux-ci de manière qualitative, par exemple en les classant en risques faibles, moyens et élevés. Un gestionnaire d'infrastructure ferroviaire peut ainsi définir des niveaux de service progressifs pour maintenir son infrastructure ferroviaire en fonction du niveau de risque, de manière que, à un niveau de risque faible, tous les trains puissent circuler, alors que seules les liaisons ferroviaires les plus importantes pourraient devoir circuler au niveau de risque le plus élevé. De même, un temps de trajet plus long peut être accepté sur la même infrastructure pour les niveaux de risque les plus élevés. D'une manière générale, l'accord sur les niveaux de risque acceptables, la réalisation d'évaluations de la vulnérabilité et des risques ainsi que l'utilisation de cadres pour les tests de résistance et leur application à des infrastructures et des actifs déterminés sont des étapes qui sont traitées avec beaucoup plus de détails (nécessaires) dans les orientations propres à leur secteur auxquelles les professionnels des transports peuvent se référer. On trouvera plus loin dans la présente section une discussion plus approfondie sur ces ressources précieuses dans ce contexte.

23. L'étape suivante de la méthode de la planification de l'adaptation consiste à analyser et comprendre la situation existante. Bien entendu, chaque actif ou élément d'infrastructure est unique par ses caractéristiques et les services qu'il fournit. Ainsi, en savoir le plus possible sur ses actifs et infrastructures peut constituer une bonne base pour l'analyse des situations

futures potentielles et, en fin de compte, pour l'élaboration des parcours d'adaptation pertinents. Il est recommandé d'évaluer la situation existante, en gardant à l'esprit les objectifs ultimes, afin de fixer des niveaux de référence environnementaux, sociaux et économiques. Ce point de départ permettra d'évaluer les résultats d'un scénario sans changement et d'envisager les futurs possibles [26]. Il est donc important que les propriétaires et les gestionnaires d'actifs de transport réalisent cette étape avec la diligence requise, éventuellement en procédant à des consultations approfondies au sein de leur organisation afin d'acquiescer toutes les connaissances nécessaires à propos de chacun de leurs actifs. Pour ce faire, ils peuvent analyser les informations historiques et les facteurs qui ont conduit à la situation existante et évaluer la manière dont les actifs ont été gérés ou les mesures qui ont été prises pour résoudre les problèmes actuels. Ces informations seront utilisées pour concevoir et éventuellement élaborer de nouvelles mesures de gestion pour l'avenir. Cependant, il est important de noter que les informations historiques ne sont pas toujours suffisantes.

24. Les planificateurs et les exploitants du secteur des transports prennent généralement en compte les effets des phénomènes météorologiques extrêmes passés. Des travaux récents menés en Europe ont montré que plusieurs méthodes normalisées visant à prendre en compte les paramètres météorologiques extrêmes dans la conception des infrastructures de transport utilisaient encore des données météorologiques historiques déjà dépassées. Au cours des deux dernières décennies, le climat a fortement évolué et les données météorologiques historiques ne peuvent donc plus refléter pleinement le risque climatique existant, et encore moins la manière dont les risques climatiques évolueront au cours de la durée de vie utile d'un système de transport. Certaines infrastructures de transport essentielles, telles que les ponts, ont une longue durée de vie et il est donc désormais recommandé de prendre en compte le cycle de vie complet des actifs dans le cadre de l'adaptation au climat. Il est essentiel que les scénarios de changements climatiques et leurs implications en ce qui concerne les précipitations et les températures moyennes et extrêmes, ainsi que la fréquence probable des phénomènes extrêmes à l'avenir, soient pris en compte de façon concrète à tous les stades de la conception et de l'exécution [13].

25. La troisième étape de la méthode de planification de l'adaptation consiste à élaborer, analyser et évaluer les scénarios futurs possibles. Cette étape s'appuie sur l'étape précédente et sur les projections climatiques pour prévoir l'état futur des facteurs environnementaux, sociaux et économiques. Les scénarios projetés peuvent ensuite être soumis à des essais par rapport à différents choix d'adaptation afin de vérifier si ces choix sont souhaitables ou non. Le cadre pour les tests de résistance [5] peut également être utilisé à ce stade, car il est conçu pour permettre l'étude de plusieurs scénarios possibles. Cette étape comprend également l'évaluation des risques associés aux futurs possibles, afin de comprendre où se situent les risques (inacceptables) qui pourraient nécessiter une mesure. Dans l'ensemble, cette étape peut être très utile pour élaborer diverses réactions en matière de gestion et prendre ainsi en compte d'autres facteurs qui influencent ces réactions, par exemple les valeurs commerciales et sociales ou les politiques futures. Quoi qu'il en soit, il convient de noter que l'avenir sera toujours incertain, mais l'élaboration d'une série de scénarios permet de tester plusieurs choix et de déterminer si ceux-ci sont flexibles, robustes, ou les deux [26].

26. Les quatrième et cinquième étapes de la méthode de la planification de l'adaptation consistent à élaborer les parcours et à les mettre en application, à en assurer le suivi et à en tirer des enseignements. Ces étapes sont examinées en détail dans le document ECE/TRANS/WP.5/GE.3/2023/2. Il est cependant nécessaire que les propriétaires d'infrastructures et les gestionnaires d'actifs du secteur des transports aient bien compris les trois premières étapes pour pouvoir apprécier et exécuter les étapes suivantes. Bien sûr, la première étape peut être une tâche difficile en soi et il est donc recommandé que les propriétaires d'infrastructures et les gestionnaires d'actifs du secteur des transports encouragent les parties prenantes à participer et à apporter leur expérience et leurs connaissances tacites pour s'assurer que l'ensemble des connaissances et compétences acquises s'intègrent bien avec la méthode de gestion existante, le contexte et le portefeuille d'actifs [4]. Il faut également garder à l'esprit que les mesures de protection contre les changements climatiques ou d'adaptation au climat peuvent varier en complexité et en facilité d'application selon les exploitations, les actifs et les systèmes. Alors que dans certains cas il ne faut que des mesures relativement simples et immédiates, dans d'autres il peut s'avérer

très utile d'adopter une méthode fondée sur les parcours d'adaptation. Des orientations ciblées sont essentielles dans les situations où il existe une incertitude ou dans laquelle la justification des investissements n'intervient qu'après un délai. Dans les situations où il existe une grande incertitude quant aux conditions climatiques futures, à leurs effets ou à l'efficacité de mesures d'adaptation particulières, une méthode fondée sur les parcours d'adaptation est très utile. Cette méthode permet aux décideurs d'évaluer une série de scénarios futurs possibles, d'envisager de multiples choix d'adaptation et d'ajuster les stratégies au fur et à mesure que de nouvelles informations deviennent disponibles. De même, dans certains cas, l'application à grande échelle de mesures d'adaptation peut ne pas se justifier immédiatement en raison de divers facteurs, tels que les contraintes budgétaires ou l'ampleur perçue des risques climatiques. Dans ce cas, une méthode fondée sur les parcours d'adaptation peut aider à déterminer des mesures progressives et souples qui peuvent être mises en place au fil du temps, ce qui permet une gestion adaptative et une protection progressive contre les changements climatiques à mesure que la justification de l'investissement devient plus évidente [28].

27. Il ne faut pas oublier que les systèmes de transport sont des systèmes interconnectés et complexes qui peuvent différer en termes de propriété, de contrôle opérationnel, d'utilisation, d'âge et de durée de vie des actifs, ainsi que de capacité d'être modifiés et développés au fil du temps. Par conséquent, plusieurs types d'interventions et de méthodes peuvent être nécessaires pour évaluer l'efficacité et la programmation dans le temps d'une gestion adaptative des réseaux de transport. L'idée d'une méthode circulaire fondée sur le risque, dans laquelle les interventions sont planifiées, exécutées, suivies et évaluées en tant que phase initiale de la planification de nouvelles mesures, est de plus en plus acceptée. À cet égard, certaines autorités nationales de transport telles que Trafikverket, en Suède, et plusieurs organismes internationaux tels que l'Association mondiale pour des infrastructures de transport maritimes et fluviales (AIPCN) ont récemment commencé à faire évoluer leurs stratégies d'adaptation [3]. En outre, le cadre pour l'adaptation aux changements climatiques publié en 2015 par l'Association mondiale de la route (PIARC) est actuellement mis à jour de façon à intégrer les parcours d'adaptation en tant que méthode d'évaluation des incertitudes profondes et en tant que processus continu d'évaluation et de mise en application de mesures d'adaptation à mesure que de nouvelles informations et de nouvelles circonstances apparaissent [29].

28. En outre, comme indiqué précédemment, les propriétaires et les gestionnaires d'infrastructures de transport qui souhaitent mettre au point des parcours d'adaptation doivent posséder une compréhension détaillée des vulnérabilités de chacun de leurs actifs et doivent avoir effectué les évaluations des risques appropriées. Pour ce faire, ils peuvent utiliser les cadres pour l'évaluation des risques et les orientations déjà élaborés et recommandés par des organisations telles que l'AIPCN [30], la PIARC et autres, ou même les cadres nationaux pour l'évaluation des risques ainsi que le cadre pour les tests de résistance [5]. En outre, en 2019, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) a introduit ses toutes premières normes internationales visant à gérer les effets des changements climatiques. Il s'agit de la norme ISO 14090, intitulée « Adaptation au changement climatique – Principes, exigences et lignes directrices » et de la norme ISO 14091, intitulée « Adaptation au changement climatique – Lignes directrices sur la vulnérabilité, les impacts et l'évaluation des risques ». Ces deux normes offrent aux organisations des orientations pour ce qui est de recenser et traiter efficacement les risques et les nouvelles possibilités associés aux changements climatiques. Elles facilitent la formulation et l'application des mesures et sont alignées sur l'objectif de développement durable de l'ONU relatif à l'action pour le climat (ODD 13). Les informations et connaissances spéciales fournies par ces ressources peuvent être utilisées dans le cadre des étapes 1 à 3 décrites ci-dessus. Les professionnels des transports doivent comprendre les risques et les nouvelles possibilités liés au climat actuel dans le cadre de l'étape 2, et, en ce qui concerne le climat futur, envisager éventuellement plusieurs scénarios d'avenir dans le cadre de l'étape 3. Il s'agit notamment de comprendre les facteurs environnementaux qui affectent les systèmes actuels et de recenser les problèmes les plus critiques. Les propriétaires et les gestionnaires d'infrastructures de transport devront ensuite examiner les décisions qui affectent ces risques et nouvelles possibilités sur lesquels ils ont ou n'ont pas de contrôle. Il s'agira également pour eux de comprendre les scénarios climatiques à forte et faible probabilité. Il convient d'évaluer et de comprendre les implications localisées et systémiques, ainsi que ce qui pourrait faire obstacle

(vulnérabilités et points de défaillance potentiels d'un système ou d'une infrastructure) à tel ou tel scénario [4].

29. Dans le cadre de l'évaluation des risques, la détermination des aléas climatiques actuels, des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation est essentielle si l'on veut planifier l'adaptation avec efficacité. Cela peut se faire en examinant et en analysant le niveau et la nature de l'évolution des aléas climatiques et la vulnérabilité qui devront être gérés pendant la durée de vie utile du système ou de l'actif considéré. Pour déterminer les choix d'adaptation appropriés, il est crucial de comprendre la nature fondamentale d'un risque et ses causes profondes. Pour l'analyse des vulnérabilités, les types d'effets du climat sur les transports peuvent être distingués comme suit :

- a) Effets sur les infrastructures de transport et le matériel roulant ;
- b) Effets sur les opérations et les niveaux de service fournis, y compris les effets sur les chaînes d'approvisionnement ;
- c) Effets sur les comportements, les modèles et la demande de mobilité ;
- d) Effets sur la santé et le bien-être des passagers et du personnel.

30. Afin d'appréhender pleinement les vulnérabilités globales, les professionnels des transports doivent bien comprendre les éléments environnementaux, physiques, sociaux et organisationnels qui permettent d'assurer la mobilité des personnes et des biens. En outre, il est nécessaire d'examiner les vulnérabilités pour plusieurs niveaux d'effets des changements climatiques afin de trouver le moyen d'y réagir le plus efficacement possible. Il s'agit notamment de déterminer la mesure dans laquelle un système est sensible aux effets négatifs des changements climatiques ou incapable d'y faire face, y compris les variables et les extrêmes climatiques. Selon la PIARC [29], la vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme du changement et des variations climatiques auxquels un système est exposé (actuellement et à l'avenir) et de la mesure dans laquelle l'infrastructure est affectée, de manière négative ou bénéfique, par les stimuli liés au climat. Le cadre de la PIARC indique aussi qu'une évaluation de la vulnérabilité est exprimée en fonction de trois facteurs qui peuvent être combinés de diverses manières, à savoir l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation (ou la capacité du système à réagir aux changements climatiques), en fonction des informations disponibles (par exemple, l'utilisation d'outils d'information quantitatifs, semi-quantitatifs et qualitatifs) [29]. La vulnérabilité est donc un point où un danger climatique peut avoir un effet, et l'évaluation du niveau de risque tolérable fait partie de l'évaluation globale de la vulnérabilité. Il est donc essentiel de prendre en compte à la fois les vulnérabilités liées aux effets directs sur les systèmes de transport et les effets en cascade qui en découlent, tels que les effets ultérieurs sur les services ou les infrastructures dont dépend le système. À titre d'exemple, on peut citer l'approvisionnement en énergie (électricité) pour les véhicules électriques et les chaînes d'approvisionnement rendant possible leur fabrication. Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité, il convient d'accorder une attention particulière au choix des scénarios de changements climatiques, à la définition des niveaux de risque et à la détermination des seuils d'effets au-delà desquels le niveau de vulnérabilité est affecté. Les interdépendances entre les actifs de transport ou entre les effets des changements climatiques doivent également être examinées avec soin [13].

31. Le cadre de la CEE pour les tests de résistance [5] offre des conseils pratiques pour l'application d'un ou plusieurs tests de résistance aux systèmes de transport. Ce cadre souligne l'importance des conséquences sociales qui peuvent survenir par suite des pertes de service dues à des événements perturbateurs (par exemple, les risques naturels tels que les inondations ou les chutes de neige abondantes). Il y est donc suggéré que les infrastructures de transport soient gérées de façon efficace pour réduire au minimum les conséquences des phénomènes extrêmes, tout en tenant compte des ressources disponibles et du retour sur investissement potentiel. Les tests de résistance peuvent donc être appliqués pour évaluer si un programme d'intervention est nécessaire pour maintenir les services des infrastructures de transport à un niveau adéquat en cas d'aléas liés aux changements climatiques. Les tests de résistance sont particulièrement utiles pour mesurer la résilience d'un système de transport dans des scénarios particuliers, et pour évaluer son efficacité et sa capacité à maintenir le niveau de service pour lequel il a été conçu. L'intégration des tests de résistance dans un plan d'adaptation peut offrir des informations essentielles permettant de faire face aux différents

effets susceptibles d'affecter un système de transport. Ces tests peuvent contribuer en amont à l'élaboration d'un plan d'adaptation, mais aussi à la formulation d'une stratégie plus globale. Certains éléments du test de résistance peuvent faire appel à des techniques telles que l'évaluation des risques, l'analyse de la vulnérabilité ou l'analyse par seuils.

32. En outre, l'analyse du système et de son fonctionnement lors de phénomènes météorologiques extrêmes passés peut aider à comprendre les vulnérabilités potentielles futures. Cette analyse peut être effectuée sur la base de rapports d'accidents de la circulation, de dossiers d'entretien, de rapports après mesure, de formulaires de remboursement d'urgence et d'entretiens interservices [31]. D'une manière générale, il est important que les professionnels des transports utilisent cette étape pour recenser les moyens de remédier aux facteurs de vulnérabilité des infrastructures de transport et des infrastructures connexes dans les conditions existantes. Il a été suggéré à plusieurs reprises dans le passé que l'adaptation était plus efficace lorsque les causes profondes et les symptômes des vulnérabilités étaient traités, en particulier dans les situations où les pratiques et les objectifs doivent être modifiés parce qu'ils ne sont plus adaptés ou nécessaires dans le contexte des changements climatiques, et où une adaptation transformatrice est donc nécessaire [32].

## 5. Difficultés liées à la méthode des parcours d'adaptation

33. Même si la méthode des parcours d'adaptation présente de nombreux avantages, il convient de noter certaines difficultés liées à son utilisation.

34. Comme pour l'utilisation de tout autre type de plan d'adaptation, l'exécution d'un parcours d'adaptation peut pâtir d'un manque de clarté en ce qui concerne les implications juridiques, financières et institutionnelles des décisions et la question de savoir qui serait responsable des effets connexes, des coûts et de l'atténuation des risques. Il s'agit d'un problème courant dans les structures intergouvernementales de financement et de gestion des risques. Une étude centrée sur l'Australie et portant sur la résolution des problèmes liés à l'adaptation aux changements climatiques qui se posent à plusieurs niveaux aux collectivités locales a révélé que les conseils locaux avaient différentes manières de réagir aux changements climatiques et d'aborder la planification. En l'absence d'informations claires sur les responsabilités juridictionnelles connexes, les responsabilités juridiques restent floues. Cette difficulté pourrait être surmontée grâce à la formulation d'un mandat clair (incluant les responsabilités juridiques et politiques), ce qui améliorerait la coordination de la planification. La responsabilité de la planification de l'atténuation des effets des changements climatiques ou de l'analyse de l'étendue du problème doit être clairement assignée. En outre, la création d'un cadre cohérent pour l'analyse de rentabilité, utilisant des points d'analyse multicritères (tels que l'analyse coûts-avantages), peut contribuer à établir les éléments nécessaires pour attirer et obtenir l'appui politique nécessaire à la prise de décisions [52, 53].

35. Sur la base des différents scénarios climatologiques et socioéconomiques, il peut être difficile de déterminer les points de décision critiques, notamment les déclencheurs d'adaptation, les seuils et les points de basculement, en particulier pour ce qui concerne les risques affectés d'une importante variabilité naturelle (par exemple les sécheresses ou les tempêtes). La surveillance de ces risques est complexe, principalement en raison du manque d'observations concernant les phénomènes extrêmes. Par exemple, dans le cas des changements induits par les changements climatiques dans les pics de débit des cours d'eau, les données de suivi et les recherches ultérieures ont montré que la variabilité naturelle de ce débit était si élevée que, même en supposant un changement climatique rapide (mais toutefois pas extrême), il pouvait s'écouler trente à quarante ans avant que le signal des changements climatiques puisse réellement être filtré de manière statistiquement fiable à partir des données de suivi. En pratique, pour résoudre ce problème, des recherches sont nécessaires pour trouver des méthodes de substitution ainsi que des paramètres permettant de filtrer les signaux des changements climatiques à partir des mesures du débit des cours d'eau. Pour y parvenir, la détection basée sur les données des changements dans les phénomènes observés pourrait être combinée à l'étude des phénomènes futurs possibles au moyen de scénarios et de la modélisation. Par ailleurs, de vastes expériences climatiques multimodèles pourraient offrir une autre méthode permettant de mieux quantifier l'évolution de la probabilité de survenue de phénomènes extrêmes [54].

36. Il est difficile de faire en sorte que la société souscrive à des engagements de grande ampleur dans des situations peu prévisibles. Les parcours d'adaptation indiquent clairement les mesures à prendre à court terme et esquissent d'éventuelles mesures futures applicables à plus long terme. En ce qui concerne les mesures futures, la décision de les appliquer peut ne pas être prise tant que l'on n'a pas la certitude que les conditions physiques futures (telles que la survenue de phénomènes graves) se produiront. Cela implique que l'adoption anticipée de ces mesures par la société est entravée. Par exemple, l'approvisionnement en eau peut devenir limité à un moment donné dans l'avenir, mais la dépendance à l'égard de cette ressource limitée est imprévisible, ce qui peut entraîner soit une augmentation de la demande à court terme, soit une adoption plus lente de solutions et de technologies plus récentes. Globalement, le retard dans la prise de décisions finale d'appliquer la mesure peut être un avantage ou un inconvénient net en fonction de la nature de la mesure, des coûts et des avantages de l'anticipation de ladite mesure pour les différents acteurs, et de l'orientation de l'anticipation par rapport à l'orientation prévue par la mesure elle-même. Il est donc recommandé de tenir compte des arbitrages possibles lors de la planification du moment opportun pour prendre la décision finale concernant la mise en application effective de la mesure [54].

37. Les parcours d'adaptation risquent de n'avoir qu'une efficacité réduite si la participation des parties prenantes est limitée et qu'à cause de cela il n'est pas possible de tirer parti de toutes les potentialités de la méthode. Pour parvenir à une adaptation réussie et transformatrice, qui tienne compte des dynamiques écologiques et sociales et favorise l'apprentissage collaboratif entre les parties prenantes, il est essentiel que ces dernières participent largement et de manière inclusive. L'implication des parties prenantes doit donc être au premier plan lors du diagnostic des problèmes d'adaptation et de la définition des objectifs. Inclure diverses parties prenantes permet aux parcours d'adaptation de mieux saisir une gamme complète de perspectives et de solutions possibles, et de promouvoir une meilleure résilience et une plus grande durabilité face aux changements climatiques [53]. Toutefois, il est également essentiel de trouver un équilibre et d'éviter d'impliquer un trop grand nombre de parties prenantes, ce qui risquerait de créer des obstacles à la prise de décisions, de compliquer la coordination et la communication, et donc d'entraver les progrès. Avec un groupe de grande ampleur et peu maniable il peut être difficile d'obtenir un consensus, et cela peut entraîner des inefficacités et des retards dans le processus de planification. Il convient donc plutôt d'impliquer un groupe de parties prenantes soigneusement sélectionnées qui représentent les principaux intérêts et points de vue et rassemblent les connaissances les plus larges.

#### IV. Références

1. Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230.
2. Ara Begum, R., R. Lempert, E. Ali, T.A. Benjaminsen, T. Bernauer, W. Cramer, X. Cui, K. Mach, G. Nagy, N.C. Stenseth, R. Sukumar, and P. Wester. (2022). Point of Departure and Key Concepts. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 121–196, doi:10.1017/9781009325844.003.

3. Quinn, A. et al. (2018). "Adaptation becoming business as usual: A framework for climate-change-ready transport infrastructure," *Infrastructures*, 3(2), p. 10. Available at: <https://doi.org/10.3390/infrastructures3020010>.
4. Ferranti, E, Greenham, S & Wood, R. (2021). Adaptation pathways for infrastructure operators and policymakers.
5. UNECE. (2023). Guidelines for integrating climate change considerations in planning and operational processes. Stress test framework. Inland Transport Committee. United Nations Economic Commission for Europe. ECE/TRANS/WP.5/GE.3/2023/3.
6. Jaroszweski, D.; Chapman, L.; Petts, J. (2010). Assessing the potential impact of climate change on transportation: The need for an interdisciplinary approach. *J. Transp. Geogr.* 18, 331–335.
7. Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., Walker, W.E. and ter Maat, J., (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2), pp.485-498.
8. Star, J. et al. (2016). "Supporting adaptation decisions through scenario planning: Enabling the effective use of multiple methods," *Climate Risk Management*, 13, pp. 88–94. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2016.08.001>.
9. Kwakkel, J.H., Haasnoot, M. and Walker, W.E. (2016). "Comparing robust decision-making and dynamic adaptive policy pathways for model-based decision support under Deep uncertainty," *Environmental Modelling & Software*, 86, pp. 168–183. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.09.017>.
10. ADEME. (2021). ADEME comparative study, En entreprise, comment prendre des décisions pour s'adapter au changement climatique? Méthodes et études de cas en France et à l'international
11. Ranger, N., Reeder, T. and Lowe, J. (2013). Addressing 'deep' uncertainty over long-term climate in major infrastructure projects: four innovations of the Thames Estuary 2100 Project. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(3-4), pp.233-262.
12. Haasnoot, M., Warren, A. and Kwakkel, J.H. (2019). Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP). In *Decision Making under Deep Uncertainty* (pp. 71-92). Springer, Cham.
13. Black, Doogie and Pyatt, Nick. (2021). Adapting Urban Transport to Climate Change. Module 5f Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities. 2nd Edition.
14. IPCC. (2019): Annex I: Glossary [Weyer, N.M. (ed.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 677–702. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.010>.
15. Siebentritt, M.A. and Stafford Smith, M. (2016). A User's Guide to Applied Adaptation Pathways Version 1. Seed Consulting Services and CSIRO.
16. Walker, W.E., Rahman, S.A. and Cave, J. (2001). Adaptive policies, policy analysis, and policy-making. *European Journal of Operational Research*, 128(2), pp.282-289.
17. Chopra, K.R. (2005). Ecosystems and human well-being: Policy responses. Volume 3. Findings of the Responses Working Group. Washington. Island Press. Millennium Ecosystem Assessment.
18. Gregg, R.M., Kershner, J.M., & Hansen, L.J. (2013). Strategies for Climate Change Adaptation: A Synthesis. *Environmental Science*. DOI:10.1016/B978-0-12-409548-9.09365-9.
19. U.S. Climate Resilience Toolkit (nd). Decision Making Under Deep Uncertainty | U.S. Climate Resilience Toolkit. Available at: <https://toolkit.climate.gov/content/decision-making-under-deep-uncertainty> (Accessed: January 30, 2023).
20. C40 Cities. (2017). Infrastructure Interdependencies and Climate Risks. London: C40 Cities. Available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/report\\_c40\\_interdependencies\\_.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/report_c40_interdependencies_.pdf)

21. Barnett, J., Graham, S., Mortreux, C., Fincher, R., Waters, E. and Hurlimann, A. (2014). A local coastal adaptation pathway. *Nature Climate Change*, 4(12), pp.1103-1108.
22. Rosenzweig, C. and Solecki, W. (2014). Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: Lessons from a first-responder city. *Global Environmental Change*, 28, pp.395-408.
23. Aastha Lamichhane et al. (2022). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1016 012034.
24. Martin, S. (2012). Examples of ‘no-regret’, ‘low-regret’ and ‘win-win’ adaptation actions. *ClimateXChange*. RBGE.
25. Coulter, L. (2019). *Climate Change Adaptation Pathways Framework: Supporting Sustainable Local Food in B.C.* Prepared for the B.C. Ministry of Agriculture through the 2018-19 Mitacs Science Policy Fellowship. Victoria.
26. Serrao-Neumann, S., Cox, M., Schuch, G. and Low Choy, D. (2015). *Adaptation Pathways. Climate Change Adaptation for Natural Resource Management in East Coast Australia Project*, Griffith University.
27. ADEME. (2019). *Construire des trajectoires d'adaptation au changement climatique du territoire - Guide méthodologique*.
28. PIANC. (2022). *Managing Climate Change Uncertainties in Selecting, Designing and Evaluating Options for Resilient Navigation Infrastructure*. EnviCom PTGCC Technical Note 1. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. Available at: <https://www.pianc.org/publication/climate-change-adaptation-planning-for-ports-and-inland-waterways-2/>
29. The World Road Association (PIARC). (2015). *International Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure*. Available at: <https://www.piarc.org/ressources/publications/8/23557,SpecialProject-ClimateChange-EN.pdf>.
30. PIANC. (2020). *Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways*. EnviCom WG 178. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. Available at: <https://www.pianc.org/publication/envicom-ptgcc-technical-note-1/>
31. Asam, S., Bhat, C., Dix, B., Bauer, J. and Gopalakrishna, D. (2015). *Climate Change Adaptation Guide for Transportation Systems Management, Operations, and Maintenance*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
32. Werners, S.E. et al. (2021). “Adaptation pathways: A review of approaches and a learning framework,” *Environmental Science & Policy*, 116, pp. 266–275. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.003>.
33. Zandvoort, M. et al. (2017) “Adaptation Pathways in planning for uncertain climate change: Applications in Portugal, the Czech Republic and the Netherlands,” *Environmental Science & Policy*, 78, pp. 18–26. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.017>.
34. Siebentritt, M., Halsey, N. and Stafford-Smith, M. (2014). *Regional Climate Change Adaptation Plan for the Eyre Peninsula*. Prepared for the Eyre Peninsula Integrated Climate Change Agreement Committee. Available at: <https://cdn.environment.sa.gov.au/environment/docs/ep-regional-climate-change-adaptation-plan.pdf>.
35. Buijs, F., Simm, J., Wallis, M. & Sayers, P. (2007). *EA and DEFRA Performance and Reliability of Flood and Coastal Defences: R&D Technical Report FD2318/TR1*, Environment Agency.
36. Werners, S. E., J. v. Loon, and A. Oost. (2015). *Method selection in adaptation research: the case of the Delta Programme for the Dutch Wadden region*. *Regional Environmental Change (Special Issue “Approaches to Problem-Oriented Adaptation Research”)*. In press. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-015-0799-9>.
37. Werners, S. E., E. van Slobbe, T. Bölscher, A. Oost, S. Pfenninger, G. Trombi, M. Bindi, and M. Moriondo. (2015). *Turning points in climate change adaptation*. *Ecology and Society* 20(4):3. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07403-200403>



38. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
39. WEATHER. 2022. *Weather-project.eu*. [online]. Available at: <https://weather-project.eu/weather/index.php>. Accessed 06 March 2023.
40. CORDIS. 2022a. *Cordis.europa.eu*. [online]. Available at: <https://cordis.europa.eu/project/id/233919>. Accessed 06 March 2023.
41. CORDIS. 2022b. *Cordis.europa.eu*. [online]. Available at: <https://cordis.europa.eu/project/id/314506/reporting>. Accessed 06 March 2023.
42. SIRMA. 2022. *sirma-project.eu*. [online]. Available at: <https://sirma-project.eu/>. Accessed 06 March 2023.
43. Copernicus. 2022. *Copernicus.eu*. [online]. Available at: <https://www.copernicus.eu/en>. Accessed 06 March 2023.
44. Climate ADAPT. 2022. [online]. Available at: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>. Accessed 06 March 2023.
45. World Road Association, PIARC. (2019). *Adaptation methodologies and strategies to increase the resilience of roads to climate change – Case Study Approach*.
46. Abel, N. et al. (2016). “Building Resilient Pathways to transformation when ‘no one is in charge’: Insights from Australia’s Murray-Darling Basin,” *Ecology and Society*, 21(2). Available at: <https://doi.org/10.5751/es-08422-210223>.
47. Lempert, R.J. and Groves, D.G. (2010) “Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American West,” *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), pp. 960–974. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.007>.
48. Wise, R.M. et al. (2014) “Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response,” *Global Environmental Change*, 28, pp. 325–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002>.
49. Kingsborough, A., Borgomeo, E. and Hall, J.W. (2016) “Adaptation Pathways in practice: Mapping Options and trade-offs for London’s Water Resources,” *Sustainable Cities and Society*, 27, pp. 386–397. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.013>.
50. Hermans, L.M. et al. (2017) “Designing monitoring arrangements for collaborative learning about adaptation pathways,” *Environmental Science & Policy*, 69, pp. 29–38. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.005>.
51. Murti, R, Mathez-Stiefel, S-L, Rist, S. (2019). A methodological orientation for social learning based adaptation planning: Lessons from pilot interventions in rural communities of Burkina Faso, Chile and Senegal. *Systemic Practice and Action Research*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11213-019-09495-8>.
52. Mukheibir, P., Kuruppu, N., Gero, A. et al. (2013). Overcoming cross-scale challenges to climate change adaptation for local government: a focus on Australia. *Climatic Change* 121, 271–283. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0880-7>
53. Lin, B.B., Capon, T., Langston, A., Taylor, B., Wise, R., Williams, R. and Lazarow, N. (2017). Adaptation pathways in coastal case studies: lessons learned and future directions. *Coastal Management*, 45(5), pp.384-405.
54. Bloemen, P., Reeder, T., Zevenbergen, C. et al. (2018). Lessons learned from applying adaptation pathways in flood risk management and challenges for the further development of this approach. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 23, 1083–1108. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9773-9>