

Concertation nationale sur l'énergie et le climat

CAHIER D'ACTEUR

N°



Bentley[®]
Advancing Infrastructure

Bentley Systems est un éditeur de logiciels spécialisé dans les infrastructures, offrant des solutions de jumeaux numériques pour améliorer la conception, la construction, et la gestion des infrastructures. Actif dans les transports, les services urbains, l'énergie, et la gestion de l'eau, Bentley contribue à la décarbonation et à la résilience des infrastructures. Bentley est présent mondialement avec plus de 5 200 collaborateurs dans 194 pays.

Contact : Pauline Aymonier
Pauline.aymonier@bentley.com

Le point de vue de Bentley Systems sur le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC)

EN BREF

Les infrastructures sont au cœur des cinq axes stratégiques du PNACC. La modernisation des infrastructures françaises – d'énergie, de transports mais aussi d'industries de tous les secteurs d'activités – sont essentielles pour adapter les territoires aux conséquences climatiques de la trajectoire +4°C proposée par le PNACC.

L'adaptation et la modernisation des infrastructures - grâce notamment aux technologies numériques avancées comme le BIM (Building Information Modeling), le jumeau numérique et l'intelligence artificielle - permet d'optimiser l'impact environnemental des infrastructures et de renforcer leur résilience au changement climatique – deuxième axe stratégique du PNACC. La mesure n°50 du plan souligne d'ailleurs l'importance des technologies à base d'intelligence artificielle comme les jumeaux numériques pour relever les défis liés à l'adaptation aux changements climatiques. Cette contribution explore la manière dont ces outils numériques peuvent accélérer la transformation des infrastructures – de leur conception à leur maintenance – pour contribuer à atteindre les objectifs d'adaptation de la France.

Qu'est-ce que le jumeau numérique ?

Les jumeaux numériques améliorent la planification, la construction, la maintenance et la gestion des infrastructures en simulant les conditions réelles, en anticipant les risques, et en optimisant les ressources grâce aux données, à l'intelligence artificielle et la modélisation 3D. Ils permettent une surveillance transparente des infrastructures, favorisent la maintenance prédictive, et facilitent la collaboration entre acteurs, notamment dans les projets complexes.

Les jumeaux numériques, outils de mise en œuvre des politiques publiques d'adaptation à horizon +4°C

Renforcer la résilience des infrastructures face au changement climatique

Face à l'urgence climatique, il devient impératif de garantir la résilience des infrastructures françaises, notamment dans les secteurs des transports, de l'énergie et de l'eau. L'état de nombreuses infrastructures critiques, comme les ponts, témoigne de cette nécessité : entre 30 000 et 35 000 ponts sont en mauvais état structurel. Le changement climatique, avec ses événements extrêmes de plus en plus fréquents, accentue cette vulnérabilité.

Les technologies avancées, telles que le jumeau numérique, l'intelligence artificielle et la modélisation de la réalité, renforcent la résilience des infrastructures en offrant des solutions pour anticiper les défaillances et les risques. Grâce à l'exploitation de données climatiques, environnementales et opérationnelles, les technologies permettent une gestion proactive, optimisant la maintenance prédictive, prolongeant la durée de vie des infrastructures, réduisant les coûts d'entretien et anticipant les effets du changement climatique. Les gestionnaires d'infrastructures peuvent désormais intégrer des stratégies d'adaptation et de maintenance dès la phase de conception des infrastructures, réduisant ainsi la dépendance à une gestion réactive, souvent plus coûteuse et moins efficace.

Réhabilitation du pont Robert Street grâce au jumeau numérique et à l'intelligence artificielle

Le pont Robert Street en béton armé de 435 mètres situé à St. Paul, Minnesota, est inscrit au Registre national des lieux historiques. Sa modélisation par jumeau numérique a permis sa rénovation : les ingénieurs ont pu le pré-inspecter virtuellement et documenter les défauts avant intervention, augmentant ainsi l'efficacité des inspections. L'utilisation de ces technologies a réduit le temps passé sur le terrain d'au moins 20 %, permis des économies de plus de 90 000 dollars et réduit de 10 % des matériaux utilisés pendant les travaux. Le partage des informations via le jumeau numérique devrait générer jusqu'à 15 millions de dollars d'économies dans le futur.

Ces technologies permettent de modéliser la résilience de nos infrastructures face aux perturbations climatiques, afin d'anticiper et de mieux s'adapter à ces défis. Par exemple, **dans le secteur des transports, en simulant les impacts d'une inondation sur un réseau routier ou ferroviaire, les autorités peuvent adapter les infrastructures en conséquence, planifier des itinéraires alternatifs et garantir une continuité des services essentiels (mesure 30).**

L'entretien des routes en zones vulnérables et insulaires à Hawaï

Hawaï a lancé un projet d'entretien pour accroître la sécurité et la durabilité de ses infrastructures routières, en raison d'une hausse de 35 % des accidents mortels de 2021 à 2022. Le HDOT a collaboré avec Bentley Systems pour automatiser la maintenance de son réseau routier en utilisant des technologies de vision par ordinateur, d'intelligence artificielle et machine learning. Plus de 1 600 km de routes ont été examinées, permettant d'identifier et de prioriser les besoins de maintenance. Cette approche a réduit les inspections manuelles de 95 %, économisant environ 800 000 euros et réduisant l'empreinte carbone des opérations d'entretien.

De la même manière, dans le domaine énergétique (mesure 31), les jumeaux numériques peuvent identifier les vulnérabilités des réseaux face aux pics de demande ou aux défaillances climatiques, contribuant à assurer une alimentation en énergie stable et résiliente.

Prolongation de la durée de vie d'une station hydroélectrique

Située sur la rivière Ohio, la station hydroélectrique d'Ohio Falls comprend deux tours construites dans les années 1920 qui soutiennent une ligne de transmission traversant la rivière. Pour évaluer leur intégrité structurelle, elle a fait appel à Exo pour les inspecter. Face à un accès restreint au site et à l'absence de plans existants, le jumeau numérique des tours et de la ligne électrique a permis d'évaluer leur intégrité structurelle et leur niveau de corrosion dans le but de leur réutilisation. Cette solution a permis d'estimer précisément la prolongation de la durée de vie des tours et d'éviter jusqu'à 10 ans de retard de maintenance et 80 millions de dollars de dépenses pour construire une nouvelle traversée.

Les jumeaux numériques sont également un levier de mise en œuvre du plan eau qui vise notamment à lutter contre les fuites, à moderniser les réseaux et à mettre en œuvre plus de 1 000 projets locaux de réutilisation des eaux usées. **Les outils de modélisation peuvent permettre une meilleure gestion des infrastructures de l'eau mais aussi des usages en modélisant les consommations et les adaptations nécessaires du réseau aux changements climatiques dans toutes les nouvelles installations (mesure 21).**

Améliorer l'efficacité et la gestion des réseaux d'eau à Porto grâce au jumeau numérique

Águas do Porto (AdP), l'entreprise responsable de la gestion de l'eau à Porto, au Portugal, a développé le jumeau numérique du réseau d'eau de la ville, pour optimiser l'utilisation des ressources existantes. La plateforme numérique H2PORTO, qui intègre la vidéosurveillance de plus de 22 infrastructures de gestion de l'eau et des outils de modélisation, permet une surveillance en temps réel et la mise en place d'alertes automatiques en cas de problème sur une infrastructure du réseau. L'accès en temps réel aux informations a permis des gains opérationnels de 23 % et la fiabilité des données de 99%, tandis que les défaillances de l'approvisionnement en eau ont diminué de 22,9%, améliorant ainsi la prise de décision.

Renforcer la résilience des territoires et adapter leur aménagement aux changements climatiques grâce au jumeau numérique

Les jumeaux numériques, véritables répliques virtuelles d'infrastructures, de territoires ou de réseaux, sont des outils puissants pour accompagner les autorités publiques dans la protection des populations face aux effets croissants du changement climatique. **En permettant de cartographier précisément l'exposition aux risques naturels tels que les vagues de chaleur, les inondations ou les mouvements de terrain (mesures 3 et 7 du PNACC), ces technologies permettent d'identifier les territoires les plus vulnérables et de prioriser les interventions.**

Renforcer la gestion proactive des risques d'inondation à Lisbonne

La municipalité de Lisbonne a initié un projet ambitieux de renforcement de la gestion proactive des inondations, en s'appuyant sur des logiciels de

modélisation avancés. Le plan directeur de drainage élaboré - d'une valeur de 170 millions d'euros - prévoit la construction de tunnels destinés à rediriger les eaux vers l'estuaire du Tage, évitant ainsi l'installation de réservoirs souterrains dans le centre historique. Grâce à l'utilisation de modélisation numérique avancée, 20 grandes inondations au cours des 100 prochaines années devraient être évitées, ce qui représenteraient plusieurs centaines de millions d'euros tout en augmentant significativement la capacité de drainage de la ville.

Ces technologies offrent également des opportunités inédites pour accompagner les collectivités locales dans la mise en œuvre du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) qui nécessitera la révision de la quasi-totalité des documents locaux de planification et d'urbanisme (SRADDET, PCAET, etc.) ce qui représente un travail considérable pour les collectivités (mesure 22 et 23).

Les jumeaux numériques peuvent leur permettre de réviser leurs documents de planification stratégique tels que les SRADDET, PLU, PLUi et autres cadres de gestion territoriale, en intégrant des scénarios climatiques et des stratégies d'adaptation pour mieux protéger les zones habitées, en particulier dans les territoires exposés (mesure 4). Grâce à leur capacité à simuler des scénarios climatiques variés et à évaluer les conséquences sur les infrastructures critiques (réseaux d'eau, systèmes de transport, gestion des risques naturels, etc.), les jumeaux numériques constituent des instruments précieux pour adapter les politiques publiques. **Ils offrent une vue systémique des interdépendances territoriales, identifiant les points de vulnérabilité et proposant des solutions pour renforcer la continuité des services essentiels.**

Ces technologies, loin de se limiter à une fonction de diagnostic, agissent comme des leviers d'action pour concevoir des stratégies adaptées et éprouver leur efficacité avant leur mise en œuvre. Elles participent ainsi directement à l'intégration des enjeux d'adaptation dans toute l'action publique locale, tout en garantissant une meilleure anticipation des risques climatiques, une meilleure protection des populations et une optimisation des ressources investies.

La rénovation urbaine de Pau grâce au jumeau numérique

Le jumeau numérique, développé par Bentley avec la Communauté d'Agglomération Pau Béarn Pyrénées (CAPBP) a été mis en place pour transformer la planification et la gestion urbaine. Il couvre une zone de 370 km², incluant 31 communes de la CAPBP, avec des résolutions spécifiques de 10cm à moins de 1cm pour le centre historique de Pau. Cela a permis de simuler, analyser et visualiser des projets complexes, notamment dans le cadre de la rénovation du quartier Saragosse, en facilitant l'harmonisation des matériaux et l'intégration des aménagements mais aussi une meilleure compréhension des projets par les citoyens, grâce à la visualisation immersive.

Préserver le patrimoine culture et les sites classés grâce aux jumeaux numériques

Les jumeaux numériques s'imposent également comme des outils essentiels pour préserver le patrimoine culturel et les sites historiques face aux défis posés par le changement climatique (mesure 43). En créant des répliques numériques précises des sites classés, monuments historiques et autres éléments fragiles du patrimoine, ces technologies permettent d'évaluer leur exposition aux risques climatiques tels que les inondations, l'érosion côtière ou encore les effets des vagues de chaleur. Ces simulations offrent aux gestionnaires de ces sites des bases solides pour élaborer des plans d'adaptation sur mesure, en identifiant les vulnérabilités spécifiques et en priorisant les mesures de préservation.

Ces outils permettent également de planifier des mesures de protection structurelles ou de réaménagement, notamment pour les sites situés dans des zones particulièrement exposées, comme les berges de fleuves ou les littoraux.

De plus, les jumeaux numériques offrent une vision à long terme, essentielle pour intégrer la préservation du patrimoine dans les politiques d'aménagement territorial. Ils peuvent, par exemple, aider à adapter les réglementations locales ou les PLU pour protéger les abords de ces sites, limiter les pressions urbaines et garantir leur résilience dans un environnement en mutation. Enfin, ces répliques numériques assurent une conservation virtuelle des sites les plus menacés, permettant de sauvegarder des données précieuses pour les générations futures en cas de dégradations irréversibles.

En alliant précision technologique et stratégie d'adaptation, les jumeaux numériques permettent ainsi de concilier préservation du patrimoine et lutte contre les impacts climatiques, en intégrant ces enjeux au cœur des politiques publiques et des démarches de gestion durable.

Maintenance et préservation de la basilique Saint-Pierre de Rome grâce au jumeau numérique

Le jumeau numérique de la Basilique Saint-Pierre capture chaque détail de l'intérieur de la structure grâce à une cartographie extrêmement précise. D'une précision millimétrique, le modèle numérique d'Italferr et de Bentley permet de surveiller en temps réel l'état de santé structurel du bâtiment et offre une navigation immersive et un accès sans précédent aux moindres détails de la Basilique, tant pour les ingénieurs et restaurateurs que pour les chercheurs, étudiants ou amateurs d'art. Des outils innovants, combinant intelligence artificielle et apprentissage automatique, permettront également de transformer les données en visualisations claires pour optimiser les réparations et l'entretien du bâtiment, face aux pressions statiques et dynamiques, naturelles ou humaines.

Recommandations pour exploiter le plein potentiel des jumeaux numériques pour la résilience aux changements climatiques

Pour mettre en œuvre une véritable stratégie de résilience des territoires et des infrastructures face aux changements climatiques, plusieurs actions peuvent être mises en place :

- 1. S'appuyer sur les jumeaux numériques et autres technologies numériques avancées pour mettre les outils de programmations de politiques publiques nationales et locales (SRADDET, PLU, SCOT, etc.) en concordance avec la trajectoire +4°C du PNACC (mesure 50).** Les jumeaux numériques sont des outils essentiels pour modéliser les différents scénarios et adapter les documents de planification au scénario +4°C retenu par le PNACC. Ils seront sans aucun doute un outil d'aide à la décision majeure pour les collectivités locales qui devront intégrer cette trajectoire dans leurs documents de planification.

2. **Conditionner l’obtention d’allocation du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM ou fond Barnier) à l’utilisation de technologies numériques avancées, pour les projets concernant la maintenance ou l’adaptation des infrastructures au changement climatique (mesure 1).** Principal outil de financement de la politique nationale de prévention des risques naturels, le FPRNM finance notamment les études et actions de prévention ou de protection contre les risques naturels des collectivités territoriales (EAPCT) et les études et travaux de réduction de la vulnérabilité imposés par un plan de prévention des risques naturels prévisibles (ETPPRN). Pour améliorer l’efficacité des fonds alloués aux projets d’infrastructures, il serait nécessaire de conditionner leur obtention à l’intégration de technologies numériques avancées comme les jumeaux numériques.
3. **Intégrer les technologies numériques dans la commande publique afin de garantir une meilleure maintenance des infrastructures critiques et culturelles (mesure 44).** Ceci peut être réalisé en rendant obligatoire l’utilisation du BIM et des jumeaux numériques dans la commande publique – c’est le cas dans de nombreux Etats membres de l’Union Européenne - ou en expérimentant leur utilisation sur des Projets d'Intérêt National et Majeur (PINM). Cette approche permettra d’intégrer des critères de résilience dès les premières phases de conception des infrastructures, puis tout au long de leur cycle de vie.

Conclusion

Les technologies numériques avancées, telles que le BIM et les jumeaux numériques, constituent des leviers indispensables pour répondre aux ambitions du PNACC. En intégrant ces outils, la France peut non seulement optimiser la gestion des ressources et améliorer la résilience des infrastructures et du patrimoine face au changement climatique, mais aussi maximiser l’efficacité des investissements publics et privés. Ces technologies permettent une approche résiliente et durable de la conception, de la construction, et de la maintenance des infrastructures, en réduisant leur empreinte écologique et en augmentant leur durée de vie.

Pour réaliser ces transformations à grande échelle, il est crucial de renforcer la digitalisation dans tous les secteurs des infrastructures, de développer un cadre réglementaire adapté et d’encourager le partage de bonnes pratiques numériques. L’intégration systématique des outils numériques dans les politiques publiques, associée à une planification cohérente, permettra de bâtir un socle solide pour une adaptation réussie.

Ainsi, la numérisation des infrastructures ne constitue pas seulement une opportunité technologique, mais bien un impératif stratégique pour la résilience des infrastructures et des territoires face aux changements climatiques.