

**FONDS
INNOVATION
ET ÉCOLOGIE**

NOVEMBRE 2025

**Rapport de synthèse
des innovations mises en œuvre
sur les ouvrages olympiques :
fondamentaux et perspectives**

AVANT-PROPOS

Ce rapport offre un aperçu détaillé des innovations architecturales et environnementales mises en œuvre dans les infrastructures et les constructions clés des Jeux de Paris 2024.

Il s'attache à synthétiser les avancées permises (techniques, réglementaires, assurantielles...) et les perspectives de développement à la suite de la mise en œuvre des innovations sur les ouvrages olympiques.

À noter qu'à la date de rédaction de ce rapport, certaines innovations n'ont pas été réceptionnées ou demandent encore des analyses approfondies, voire un suivi dans le temps, pour confirmer leurs performances. Par conséquent, certains enjeux n'ont pas été développés dans la présente version du rapport.

Rapport réalisé par l'**Agence Qualité Construction** (AQC)



En collaboration avec **Ingénéco Technologies** et **ECHOS**



GÉRARD WOLF



L'avant-propos de **GÉRARD WOLF**

Président du Comité d'Innovation de la SOLIDEO

Impossible aujourd'hui d'imaginer un grand événement international sans une part importante d'innovation. Les Jeux de Paris 2024 ont relevé ce défi avec une exigence inédite en matière d'excellence environnementale, d'exemplarité sociale et d'accessibilité universelle. Ici, l'innovation n'a pas été une option, elle a été une condition du succès.

Pour aller au-delà des standards en vigueur, la SOLIDEO a fait un choix structurant : créer un Fonds Innovation et Écologie exclusivement dédié au financement de projets innovants. Une enveloppe de 36 millions d'euros a ainsi été consacrée, via des dotations financières complémentaires, pour couvrir les surcoûts liés au caractère novateur des projets mis en œuvre au sein des ouvrages olympiques. Ces projets présentent tous des marqueurs forts guidés par les enjeux d'avenir que sont la décarbonation de nos activités, la circularité des ressources, comme en témoignera prochainement le Bâtiment Cycle, ainsi que l'accessibilité universelle de l'ensemble l'espace public et la résilience climatique de notre environnement urbain. Ce dispositif a permis le déploiement d'innovations à très hautes ambitions dans la construction des ouvrages olympiques ainsi que le soutien à des PME françaises porteuses de solutions pour la ville durable de demain.

En soutenant des solutions prometteuses, la démarche d'innovation a également permis de relever des défis d'ingénierie audacieux, conciliant des exigences aux interfaces complexes, à l'image des douches zéro ressaut sur planchers bois. Là où, trop souvent, un arbitrage se fait au détriment de l'une des ambitions, la SOLIDEO a

refusé de choisir. Elle a créé un organe décisionnel dédié et indépendant avec un budget sanctuarisé pour rendre possible ce qui ne l'est que rarement. Plus vite, plus haut, plus fort et surtout ensemble : l'esprit olympique a guidé chaque avancée.

Avec ce rapport de synthèse, notre objectif est clair : transmettre notre savoir-faire et nos retours d'expérience à tout autre porteur de projets prêt à conduire des projets d'innovation à hautes ambitions. Nous le mesurons chaque jour : de Los Angeles 2028 et à Brisbane 2032, en passant par les organisateurs d'événements équivalents dans la décennie à venir, les sollicitations se multiplient, toutes portées par une même volonté d'apprentissage et de progrès.

Ce document propose une lecture structurée de chaque projet présentant son intérêt technique, son contexte de mise en œuvre, son niveau de maturité et son potentiel de répliquabilité. Les fiches synthétiques, enrichies de radars d'analyse, permettront, nous l'espérons, de diffuser largement ces retours d'expérience auprès de tout acteur engagé dans la transition des territoires. Il témoigne d'un engagement collectif. Et au-delà des ouvrages livrés, il trace un chemin : celui d'un héritage concret, utile, ouvert et répliquable.

YANN KRYSSINSKI



©Stéphane VASCO

L' avant-propos de **YANN KRYSSINSKI**

Directeur général exécutif de la SOLIDEO

Livrer à temps l'ensemble des ouvrages nécessaires aux Jeux de Paris 2024, tout en y intégrant des innovations ambitieuses dans des calendriers contraints et des budgets à maîtriser : tels étaient nos défis. Au-delà des complexités techniques, des délais serrés et des aléas inévitables, de nombreux projets innovants ont vu le jour, portés par l'audace et la rigueur d'acteurs déterminés et pleinement mobilisés.

Créé pour l'occasion, le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO a permis le financement d'innovations dépassant les standards et les bonnes pratiques en matière d'excellence environnementale. L'ambition d'innover a été pensée dès les premières phases comme une composante centrale de la conduite des projets, et ce avec les moyens nécessaires pour y répondre. La constitution d'un budget dédié et la création d'un comité d'experts indépendant sont venues renforcer rapidement cette dynamique.

Ces projets, dont les coûts directement liés à leur caractère innovant sont financés par le Fonds Innovation et Écologie, témoignent de systèmes constructifs inédits et proposent des solutions techniques directement issues de la recherche et développement. Les ouvrages olympiques nous ont permis de massifier et de généraliser des procédés jusqu'alors éprouvés à plus petite échelle, démontrant ainsi leur maturité. Si certaines innovations n'ont pu être pleinement mises en œuvre dans les délais impartis, le travail de conception réalisé offre d'ores et déjà des enseignements pour de futures réalisations.

J'ai la conviction qu'innover, c'est avant tout oser, explorer, tester, parfois se tromper et recommencer... pour mieux avancer. À travers ce document, nous avons souhaité partager les clés de compréhension des réussites mais également de décrire les obstacles rencontrés. Il documente avec rigueur chaque solution mise en œuvre, et s'inscrit dans une démarche plus large d'héritage immatériel portée par la SOLIDEO en 2025, avec l'objectif de partager les enseignements de cette aventure collective.

Ce document ne s'adresse pas seulement aux professionnels d'aujourd'hui. Il est aussi pensé pour les projets à venir et pour les générations qui construiront les villes de demain. Il constitue une base précieuse pour essaimer au-delà des Jeux, dans d'autres contextes, sur d'autres territoires, car j'ai la certitude que ce que nous avons déployé est répliquable.

Je veux enfin saluer l'engagement de toutes celles et ceux qui ont contribué à faire vivre cette dynamique d'innovation, qui laissera une empreinte utile et durable. Nous pouvons tous être fiers du travail accompli et des résultats obtenus.

JULIEN HERBERT



L'avant-propos de **JULIEN HERBERT**

**Directeur des Partenariats et des Actions Territoriales
à l'Agence Qualité Construction (AQC)**

La SOLIDEO s'était fixée des objectifs forts en termes d'excellence environnementale (impact carbone, énergie, résilience climatique, biodiversité) et d'accessibilité universelle. Pour répondre à ces enjeux, elle a souhaité favoriser l'innovation par la mise en œuvre de procédés et d'équipements innovants sur les ouvrages olympiques et les espaces publics associés.

Ces innovations, soutenues par un Fonds dédié et suivies de manière rigoureuse dans le cadre d'une convention d'objectif, ont permis certaines avancées autant du point de vue technique que réglementaire ou assurantielle. Le Bâtiment Cycle a par exemple conduit les pouvoirs publics à réfléchir à une évolution réglementaire afin d'étendre les usages des eaux grises et noires. Les différents guides élaborés, sur les douches sans ressaut sur planchers bois et les revêtements de façade sur ossature bois, permettent quant à eux d'offrir aux professionnels des nouveaux référentiels techniques qui sont déjà utilisés plus largement et qui sont voués à être reconnus à moyen terme par les assureurs en techniques courantes.

Il est aujourd'hui important de continuer à capitaliser sur les études et essais menés pour la mise en place de ces solutions. Le suivi prévu en phase exploitation permettra également d'identifier les réussites mais aussi les points de vigilance pour la bonne mise en œuvre et l'entretien de ces innovations à plus grande échelle.

La valorisation et le partage de ces retours d'expérience en phase héritage sont en effet essentiels pour sensibiliser et guider les différents acteurs de la construction (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, exploitants...) amenés à mettre en place ces procédés et équipements innovants sur de futures opérations, sur l'ensemble du territoire.

Dans le cadre de sa mission d'accompagnement de la SOLIDEO sur les sujets d'innovation et de construction biosourcée depuis 2019, l'AQC a pu alerter et sensibiliser les différentes parties prenantes sur certains risques touchant à la qualité de la construction. Elle a ainsi pu accompagner directement la SOLIDEO dans la rédaction des guides revêtements façades et a pu suivre l'élaboration du référentiel technique sur les douches sans ressaut sur planchers bois. Grâce à son expertise et à ses retours d'expérience, elle a également été en charge dès le début d'analyser les innovations présentées au Fonds Innovation et Écologie et de définir les points de vigilance afférents à chaque projet retenu in fine par ce fonds.

Cette montée en compétences par le partage collectif des points de vigilance et des bonnes pratiques est le gage d'un développement à la hauteur des objectifs de qualité, de performance et de répliquabilité visés par la SOLIDEO et l'AQC.

SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DU FONDS INNOVATION ET ÉCOLOGIE

7

1.1 Stratégie d'excellence environnementale de la SOLIDEO	8
1.2 Objectifs du fonds	11
1.3 Comitologie mise en place	11
1.4 Démarche de suivi des innovations	12
1.5 De l'innovation à la technique traditionnelle	12
1.6 Radar d'analyses	15
1.7 Projets retenus	15
1.8 Récapitulatif des innovations soutenues	16

2. INNOVATIONS CONSTRUCTIVES

18

2.1 Complexe de charpente-couverture	19
2.2 Complexe de toiture acoustique	22
2.3 Toiture végétalisée OASIS	25
2.4 Guides d'aide à la conception de façades sur ossature bois	28
2.5 Paroi perspirante en béton de chanvre	31
2.6 Bétons très bas carbone	33
A. Béton Exegy	33
B. Béton H-UKR	36
2.7 Douches zéro ressaut sur plancher bois	39
2.8 Dalles Bois Béton	42
2.9 Tablier en béton 3D	44

3. ÉCONOMIE CIRCULAIRE

45

3.1 Sièges de gradin en plastique recyclé	46
3.2 Bâtiment Cycle	48
3.3 Cloisons en briques de terre crue	51
3.4 Toiture végétalisée et noue phyto-épuratives	54

4. INNOVATIONS SUR LES ESPACES PUBLICS

56

4.1 Signalétique inclusive	57
4.2 Mobiliers urbains	59
4.3 Aérophiltres	60
4.4 Green Bow	63
4.5 Bancs dépolluants	64
4.6 Cool Ground	65

5. GESTION INTELLIGENTE DU BÂTIMENT

67

5.1 Entrées d'air électrostatiques	68
5.2 Fair'Play	71
5.3 FlowCast	73
5.4 100 % ENR	74

6. ENGAGEMENT ET SENSIBILISATION DES CITOYENS EN PHASE HÉRITAGE

75

6.1 Développement de la biodiversité et sensibilisation des citoyens	76
6.2 Projet Éco-citoyen	77
6.3 GiveVision	79

7. SYNTHÈSE

80

PRÉSENTATION DU FONDS INNOVATION ET ÉCOLOGIE



La SOLIDEO, Société de Livraison des Ouvrages Olympiques, est l'établissement public créé en 2017 spécifiquement pour les Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024. Elle a été chargée de la réalisation de 70 ouvrages olympiques pérennes qui ont été à la fois nécessaires durant les Jeux mais qui laissent désormais un héritage au bénéfice direct des territoires et de leurs habitants. Les ouvrages olympiques ont été imaginés avant tout pour leur usage en héritage et ont été adaptés pour répondre aux exigences spécifiques des Jeux. Toutes les opérations d'aménagement réalisées dans le cadre des Jeux de Paris 2024 répondent à des besoins de long terme des territoires hôtes, identifiés et programmés en lien avec les acteurs locaux. Pour la première fois dans l'histoire des Jeux, les bâtiments du Village des athlètes ont une double vie : ils ont pour un temps accueilli les athlètes et les para-athlètes durant les Jeux, puis accueillent désormais des habitants et des commerçants. De fait, certains bâtiments résidentiels ont été conçus pour être reconvertis en phase héritage en bâtiments tertiaires afin de répondre fidèlement aux besoins de ce territoire en matière de parc immobilier. C'est dans cette configuration, et avec les objectifs de sobriété et de responsabilité environnementale inhérents à l'organisation d'un tel événement, qu'un intérêt particulier a été porté aux démarches d'innovation.

1.1

LES AMBITIONS DE LA SOLIDEO AU SERVICE DE LA VILLE DE DEMAIN

Face aux grands défis climatiques, énergétiques et environnementaux contemporains, la SOLIDEO a souhaité agir au-delà de sa mission première : la livraison des 70 ouvrages pérennes nécessaires à la tenue des Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris en 2024. Consciente de sa responsabilité et de son impact en tant qu'aménageur, elle a souhaité faire des ouvrages olympiques des accélérateurs de transformation des filières de la ville et de la construction pour concevoir et réaliser une ville résiliente et frugale. Le conseil d'administration de la SOLIDEO a adopté à cet effet en 2018 une stratégie d'excellence environnementale qui a été déclinée dans les conventions d'objectifs de chacun des maîtres d'ouvrage et dans les cahiers des charges des consultations.

Quatre enjeux environnementaux majeurs ont été identifiés. Pour chacun d'eux, les projets olympiques apportent des propositions de réponses et des retours d'expérience qui dessinent les contours de la ville européenne de demain.

La SOLIDEO a également porté des ambitions fortes en termes d'accessibilité universelle, afin que les Jeux Olympiques et Paralympiques soient un catalyseur de la ville inclusive.

Enfin, elle a souhaité associer les citoyens aux réflexions engagées pour la phase héritage des futurs quartiers.



Comment concevoir la ville européenne de 2050 en 2030 dans le cadre de la sobriété carbone ?



Vers l'épuisement des ressources : quel métabolisme urbain ?



Vers un nouveau climat : quel confort urbain en 2050 ?



Comment créer les conditions d'accueil, préserver et amplifier la biodiversité ?



©SOLIDEO Sennse-C.Badet

La neutralité carbone



La construction bas carbone a été assurée par l'engagement des maitres d'ouvrage à limiter leurs émissions carbone lors de la construction et de la rénovation des ouvrages, par l'utilisation de matériaux à faible impact carbone comme les matériaux biosourcés et par le recours à l'économie circulaire.

Ainsi, à titre d'exemple, le Village des athlètes a vu son impact carbone réduit de 47 %⁽¹⁾ grâce à plusieurs facteurs comme la conception bioclimatique des bâtiments, la mise en oeuvre à grande échelle de matériaux biosourcés et l'installation d'équipements énergétiques et de systèmes de récupération performants. La totalité du bois utilisé provient de forêts éco-gérées, labellisés PEFC ou FSC, comprenant un minimum de 30 % de bois français. L'utilisation de béton aux formulations très peu carbonées, l'anticipation de la réversibilité des ouvrages, le recours à des énergies décarbonées ou encore la réutilisation de déblais et matériaux issus de la déconstruction sont autant d'actions exemplaires qui ont permis de répondre à cet objectif.

Résilience climatique et confort urbain



La SOLIDEO a résolument inscrit les projets olympiques et paralympiques dans une logique d'adaptation. Innover en tenant compte de cette logique était donc un impératif. Ainsi, il a été demandé à chaque opérateur immobilier de qualifier et quantifier le confort d'été des bâtiments et des espaces intérieurs au regard des évolutions climatiques à venir. Il s'agissait notamment pour les opérateurs immobiliers du Village des athlètes et du Village des médias, de simuler l'enveloppe de leurs bâtiments de façon à garantir un confort acceptable (température intérieure au-dessus de 28°C moins de 160 heures par an) sans solution active pour les logements à horizon 2030 et de prendre l'ensemble des dispositions pour permettre l'adaptabilité de ces bâtiments au climat 2050.

Au Village des athlètes, cela s'est essentiellement traduit par la maîtrise du taux de surface vitrée (entre 25 et 30 % par logement), par l'installation de protections solaires (brise-soleil orientables, stores extérieurs, volets roulants), par l'installation de solutions de ventilation adaptée (simple flux hygroréglable) etc.

En phase héritage, les logements et bureaux présenteront des besoins énergétiques réduits grâce à une conception bioclimatique, des dispositions passives et des îlots de fraîcheur permettant de garantir un confort extérieur même en cas d'épisode caniculaire.

Économie circulaire



Qualifiée de pilier dans la réalisation des ouvrages olympiques, l'économie circulaire a été introduite dès 2018 dans la stratégie d'excellence environnementale de la SOLIDEO, notamment par une logique de réemploi et de recyclage des matériaux.

Symbole de cette politique d'économie circulaire, le Village des athlètes a été bâti à la suite d'une phase de déconstruction et non de démolition des infrastructures existantes, permettant la récupération et la valorisation de 96 % des gisements générés. Les projets immobiliers des promoteurs ont intégré deux obligations en ce sens :

- le réemploi d'au moins 75 % des matériaux déposés entre la phase jeux et la phase héritage ;
- le recours à hauteur d'un minimum de 10 % en masse de matériaux issus du réemploi dans 4 éléments d'aménagement intérieur et 3 éléments d'aménagement extérieur.

Autre opération d'envergure, les sièges du Centre Aquatique Olympique et de l'Arena Porte de La Chapelle sont entièrement réalisés à partir de plastique recyclé.

CO₂

(1) En comparaison d'une construction classique.

La préservation de la biodiversité



La place des écosystèmes naturels est centrale dans les projets d'aménagement de la SOLIDEO au même titre que les enjeux de construction bas-carbone et de confort urbain. Dès la phase de conception des projets, elle a recherché à intégrer la ville dans le fonctionnement des processus écologiques du territoire et à favoriser la préservation de la diversité du vivant en réponse à la possible 6^e extinction de masse des espèces. Elle favorise la réapparition et l'amplification de la nature en ville ainsi que la réhabilitation des habitats cibles en lien avec l'histoire pédologique des sites. Cela suppose de prendre en considération les causes majeures d'érosion de la biodiversité comme la lutte contre les espèces invasives, la destruction d'habitats cibles et les conséquences du changement climatique sur les écosystèmes.

La stratégie biodiversité est construite pour développer les écosystèmes en s'appuyant sur les habitats de références. Elle s'articule ainsi autour de trois piliers complémentaires :

- conserver et valoriser les espèces et habitats à enjeux ;
- créer des écosystèmes de taille suffisante, résilients et équilibrés en cohérence avec les caractéristiques du paysage et l'histoire du territoire ;
- construire la ville en s'appuyant sur les services écosystémiques fournis par la biodiversité.

L'accessibilité universelle



La ville de demain est avant tout celle qui permettra à la fois de faire société, tout en permettant à chacune et chacun d'être acteur dans l'espace public. La stratégie d'accessibilité universelle a été votée à l'unanimité lors du Conseil d'administration de la SOLIDEO le 22 mars 2019.

La politique d'accessibilité universelle s'est bâtie autour de 5 axes :

- répondre aux besoins de toutes les populations dans une visée de conception universelle ;
- traiter l'ensemble de la chaîne de déplacement afin de permettre une continuité de la qualité d'usage des espaces ;
- sensibiliser l'ensemble des parties prenantes et communiquer des informations accessibles ;
- favoriser l'émergence de solutions innovantes tout en garantissant un socle d'accessibilité résilient ;
- laisser un héritage méthodologique en termes d'accessibilité.

Grâce à cette politique très poussée, les Jeux Olympiques et Paralympiques ont été exemplaires en matière d'accessibilité. La création d'une signalétique inclusive et multisensorielle sur le Village des athlètes, de locaux dédiés pour chiens guides dans les centres aquatiques, de sensory room pour l'accueil de personnes atteintes de troubles autistiques ou encore la mise en accessibilité des équipements déjà existants en sont autant d'exemples.

Engagement des citoyens



L'atteinte de la neutralité carbone ou la préservation de la biodiversité en ville nécessitent l'adhésion et une participation active des habitants et usagers. Les technologies et services numériques peuvent être mises au service de cette ambition, et ainsi encourager et soutenir la transformation des usages, le développement de l'économie circulaire et collaborative, mais aussi améliorer la qualité de l'expérience urbaine.

La SOLIDEO a apporté une contribution sur la ville numérique autour de l'enjeu de l'*empowerment* du citoyen via 3 axes qui prolongent la stratégie d'innovation de la SOLIDEO sur les ouvrages et la ville « physique » :

- une ville inclusive, accélératrice du vivre ensemble ;
- une ville du bien-être, dans un contexte de changement climatique où la question du confort urbain va devenir centrale ;
- et une ville durable, qui responsabilise et accompagne ses habitants et usagers vers la neutralité carbone et la préservation de la biodiversité.



1.2

OBJECTIFS DU FONDS

Au-delà de la mise en œuvre de référentiels déjà balisés, la SOLIDEO a aussi clairement fait le choix de l'innovation en mobilisant, dans cette perspective, les entreprises et l'écosystème de l'innovation dans le domaine de la ville durable, inclusive et engagée.

Le 20 septembre 2019, la SOLIDEO annonçait par voie de presse la création d'un fonds « innovation et écologie » dont la principale mission portait sur le financement d'innovations permettant de contribuer au développement durable et de répondre aux enjeux auxquels les villes et les populations seront prochainement confrontées.

Plus concrètement, il devait permettre le déploiement d'innovations vertes dans la construction des ouvrages olympiques et soutenir les PME porteuses de solutions innovantes pour la ville durable de demain.

Est considérée comme une innovation, tout processus, démarche, méthode, solution d'ingénierie ou technique (ou combinaison de solutions techniques) qui permet d'apporter des résultats et des performances visant l'excellence ou répondant à des contraintes techniques ou géométriques exceptionnelles ou permettant la mise en place de nouveaux usages.

La notion de surcoût peut être évaluée lorsque la solution dite innovante vient en substitution d'une solution standard ou bien lorsque la solution dite innovante caractérise un dépassement d'une solution normée. Il convient alors de calculer la différence entre le coût de la solution innovante et le coût de la solution standard ou normée.

Pour 70 ouvrages olympiques, représentant un montant global d'investissement (public et privé) de l'ordre de 4,5 milliards d'euros, ce Fonds présente une enveloppe financière de 47,9 millions d'euros. L'utilisation de ces crédits repose sur deux axes :

- un axe « capital-investissement », avec la souscription au « PARIS FONDS VERT » pour un montant de 12 millions d'euros en vue de la prise de participation en fonds propres au capital d'entreprises innovantes qui réaliseront des démonstrateurs sur les ouvrages olympiques ;

- un axe sous forme de « dotations financières complémentaires » pour les maîtres d'ouvrage à hauteur de 35,9 millions d'euros, afin de financer les surcoûts d'innovation des ouvrages olympiques et espaces publics retenus par le comité d'innovation.

1.3

COMITOLOGIE MISE EN PLACE ET INSTRUCTION DES DOSSIERS

La gestion du Fonds a été confiée à un Comité d'Innovation composé d'experts tiers à la SOLIDEO, dont 9 membres permanents et un membre invité, issus d'entreprises publiques et privées. Ce Comité avait pour principale mission d'étudier les innovations demandant une dotation au regard de leur excellence (crédibilité, degré de rupture), de leur impact (réplicabilité, capacité à transformer...) et de leur qualité de mise en œuvre (compétence, gestion des risques...).

À travers cette instruction, le Comité d'Innovation poursuivait deux objectifs : la juste attribution des crédits du Fonds et l'obtention de la part des maîtres d'ouvrages d'améliorations substantielles à leur projet. Pour cela, il a procédé à des contrôles et des vérifications pour s'assurer de l'éligibilité des dossiers qui lui étaient présentés en séance. Le Comité d'Innovation était ensuite chargé d'émettre un avis motivé sur les dossiers de demande de dotation financière transmis par les maîtres d'ouvrages et d'arrêter le montant maximal de la dotation financière. Cet avis était enfin soumis par le Directeur général exécutif de la SOLIDEO à son conseil d'administration pour approbation, le cas échéant, de l'attribution des dotations financières.

De manière plus générale, il réfléchit à la répliquabilité nationale et internationale des projets, vise à promouvoir les innovations et les modèles économiques associés et assure une bonne coordination des savoir-faire, notamment entre entrepreneurs, promoteurs, acteurs du numérique et pouvoirs publics⁽²⁾.

(2) Bilan et RETEX du Comité d'Innovation disponibles à l'adresse : <https://www.ouvrages-olympiques.fr/comite-dinnovation>

1.4 DÉMARCHE DE SUIVI DES INNOVATIONS

La SOLIDEO suit les différents porteurs de projet suivant un calendrier défini dans une convention d'objectifs commune. Des réunions semestrielles sont organisées avec les porteurs pour identifier d'éventuels écarts et mesures correctives au programme initial.

Le suivi de ces éléments doit notamment permettre de :

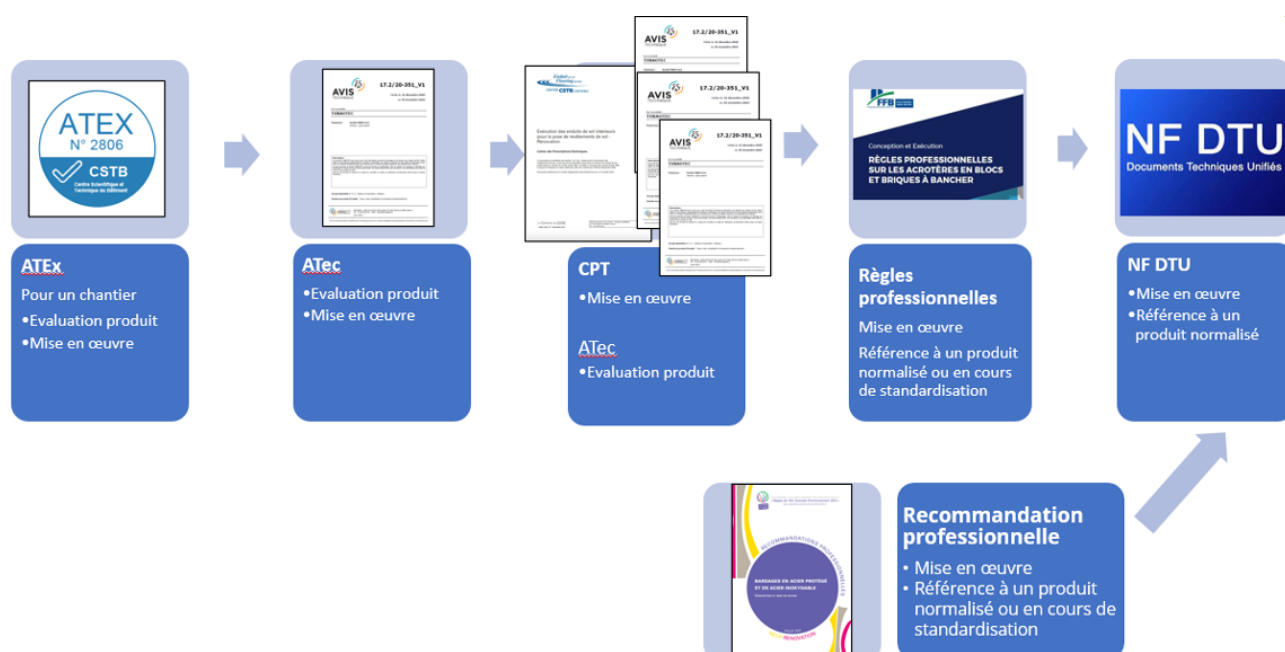
- mesurer la performance du projet au regard des indicateurs fournis par le porteur de projet ;
- identifier les risques susceptibles de compromettre le projet ;
- justifier le montant de la dotation ;
- valider les jalons techniques et assurer une mise en œuvre dans les délais prévus ;
- anticiper les enjeux de gestion, de maintenance et l'appropriation future des innovations par les usagers ;
- synthétiser des retours d'expérience sur la mise en œuvre (formation des compagnons, interfaces entre corps d'état...) ;
- favoriser la réplicabilité à grande échelle.

Dans ce cadre, les porteurs de projet se sont engagés à remettre des rapports d'avancement intermédiaires, un rapport final ainsi qu'un rapport de suivi annuel sur l'exploitation de leurs innovations 1 an et 2 ans après la mise en service.

1.5 DE L'INNOVATION À LA TECHNIQUE TRADITIONNELLE

Pour tout procédé innovant, plusieurs étapes sont souvent nécessaires pour sa montée en maturité et son cheminement vers le domaine traditionnel.

Idéalement, ces étapes comprennent des évaluations techniques dans un premiers temps, puis une évolution vers des référentiels techniques qui ont pour vocation finale la rédaction d'un NF DTU comme le présente le schéma ci-dessous.



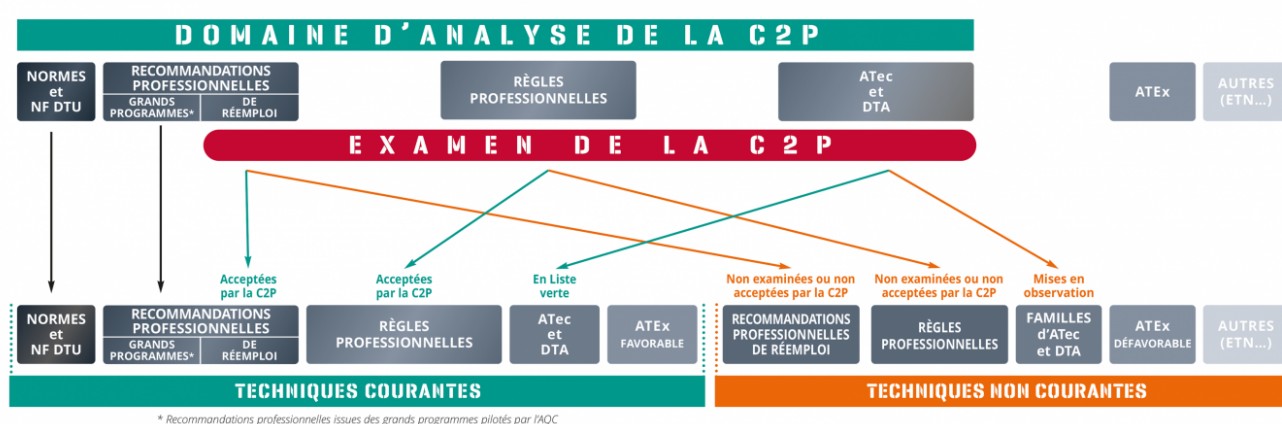
Étapes théoriques du passage de l'innovation à la traditionnalité

Au niveau assurantiel, il faut différencier la technique courante de la technique non courante.

Ainsi, la technique courante, reconnue de facto par les assureurs, désigne les réalisations d'ouvrage pour lesquels le risque de sinistralité est dit « normal », par opposition à la technique non courante qui désigne les réalisations d'ouvrage pour lesquels le risque de sinistralité est dit « aggravé ».

Pour les techniques non courantes, les constructeurs souhaitant les prescrire ou les mettre en œuvre, doivent systématiquement se rapprocher de leur assureur. Elles pourront, selon les termes du contrat initial, faire l'objet de conditions spéciales d'assurance.

Les différents documents de référence cités précédemment et indiqués dans le schéma ci-dessous de la Commission Prévention Produits (C2P) de l'AQC ont donc un statut assurantiel spécifique.



Domaine d'analyse de la C2P

On peut ainsi catégoriser les techniques de la façon suivante :

I – Techniques couvertes par des documents normatifs français ou des Recommandations professionnelles issues de grands programmes pilotés par l'AQC

Les documents normatifs sont les normes de produits et normes NF DTU de dimensionnement, calcul et mise en œuvre, des fascicules du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) applicables aux divers types de marchés.

Les Recommandations Professionnelles issues des Grands programmes sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU en vigueur soit la rédaction d'un nouveau NF DTU.

Ces deux catégories sont qualifiées de techniques courantes. Néanmoins, la C2P peut décider de la mise en observation de techniques de construction qui présentent un taux de sinistralité élevé ou potentiellement un risque de sinistres aggravés.

II – Techniques couvertes par des Règles professionnelles ou des Recommandations professionnelles de réemploi

Socle naturel pour la conception des futurs NF DTU, les Règles professionnelles sont éditées par les filières professionnelles soucieuses de formaliser le cadre de leurs métiers.

Les Recommandations Professionnelles de réemploi visent l'ensemble des processus de qualification de produits ou matériaux de réemploi et permettent de démontrer leur aptitude à l'emploi pour la réalisation de travaux de construction.

À la demande des filières, la C2P étudie ces textes en apportant sa vision « sinistralité ». Elles sont ensuite considérées techniques courantes lorsqu'elles sont acceptées par la C2P.

III – Produits ou procédés donnant lieu à des ATec ou DTA publiés par le CSTB

L'Avis Technique (ATec) est une démarche volontaire destinée à évaluer l'aptitude à l'emploi des procédés de construction innovants et la durabilité des ouvrages réalisés avec des techniques innovantes. Le terme Avis Technique, utilisé sous forme générique, comprend également le Document Technique d'Application (DTA), nom que prend l'Avis Technique lorsque le produit fait l'objet d'un marquage CE.

La C2P examine les ATec ou DTA édités par le CSTB et ceux ne présentant pas de risque aggravé, relèvent de la technique courante et sont recensés dans la Liste verte de la C2P, qui est évolutive dans le temps.

Lorsque la C2P discerne un risque particulier, elle publie un communiqué de « mise en observation » qui précise la famille technique concernée et décrit le risque reconnu ; par exemple : absence de recul suffisant pour appréhender sa pérennité, pathologie existante sur des techniques similaires, conditions de mise en œuvre ou technicités complexes voire irréalistes par rapport aux conditions de chantier, coûts de réfection démesurés par rapport aux coûts des travaux, etc.

Toutes les techniques non visées par les référentiels et procédures cités en I, II, III et IV sont considérées en techniques non courantes.

IV - Produits ou procédés donnant lieu à des ATEx

L'Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEx), est une démarche volontaire qui consiste en une évaluation technique formulée par un groupe d'experts sur toute technique innovante de construction ou des concepts architecturaux originaux.

Elle peut être de cas « a » quand elle vise un produit ou procédé innovant pour une durée limitée et éventuellement pour un nombre de chantiers ou un volume cumulé déterminé ou de cas « b » quand elle concerne l'application d'une technique constructive innovante sur un chantier précis à réaliser. L'ATEx de cas « c » moins fréquent s'applique à une nouvelle réalisation expérimentale d'une ou plusieurs techniques ayant préalablement fait l'objet d'une ATEx de cas « b » à caractère favorable.

Les ATEx bien qu'elles ne soient pas examinées par la C2P, relèvent de la technique courante dès lors qu'elles reçoivent un avis favorable.



La mise en œuvre des innovations sur les ouvrages olympiques a souvent fait l'objet d'ATEx, première étape d'évaluation technique et de reconnaissance assurantielle d'un produit ou d'un procédé constructif innovant. Elle doit leur permettre de franchir les prochaines étapes, et ainsi d'être répliquables plus facilement, mais cela passera nécessairement par des retours d'expérience suffisamment reconnus et probants.

1.6 RADAR D'ANALYSES

Pour apporter un éclairage visuel, chaque innovation est illustrée par un « radar ». Ce dernier est construit à travers la notation de critères contextuels, dont le nombre peut varier entre 5 et 7 en fonction des thématiques. Il est complété par la note moyenne de l'ensemble des innovations retenues au sein de la thématique correspondante. Ainsi, à titre d'exemple, le radar lié aux sièges recyclés, classé dans la thématique économie circulaire, est comparé à la moyenne des radars de la même thématique (Bâtiment Cycle, cloisons en brique de terre crue, toiture végétalisée phyto-épuration, sièges recyclés).

L'échelle de notation s'étend de 0 (minimum) à 5 (maximum).

Définition des critères d'analyse :

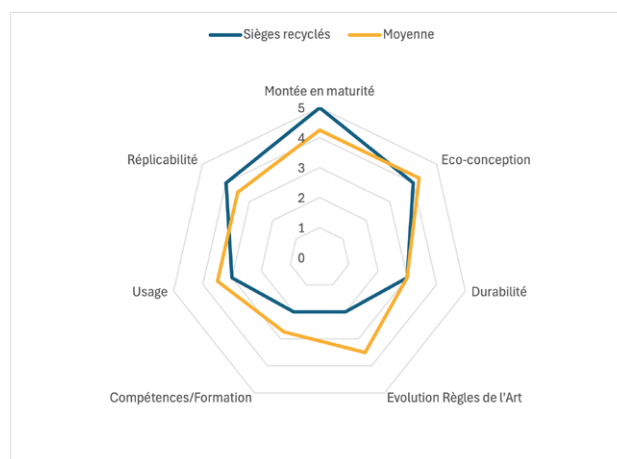
- **montée en maturité** : évolution de la maturité de l'innovation avant et après mise en œuvre sur l'ouvrage olympique ;
- **éco-conception** : impact de l'innovation au regard des enjeux environnementaux (carbone, biodiversité...) ;
- **performance énergétique** : impact de l'innovation sur les performances énergétiques de l'ouvrage olympique ;
- **évolution Règles de l'art** : influence de l'innovation sur l'évolution des Règles de l'art dans le domaine visé ;

➤ **compétences/formation** : impact de l'innovation sur la montée en compétences et la formation des professionnels de la chaîne de valeur de la conception et de la construction (industriels, concepteurs, entrepreneurs, maîtres d'ouvrage, contrôleurs techniques, assureurs, juristes, etc.) ;

➤ **usage** : influence de l'innovation sur les futurs usagers des ouvrages olympiques (confort, santé, économies...) ;

➤ **réplicabilité** : potentiel de répliquabilité de l'innovation sur d'autres ouvrages dans le futur ;

➤ **durabilité** (thématiques économie circulaire et innovations sur les espaces publics) : pérennité potentielle de l'innovation à l'usage.



Exemple de radar pour l'innovation « sièges recyclés »

1.7 PROJETS RETENUS

Au final, le Comité Innovation a examiné **61 dossiers** au cours de la **période 2020-2024** et **34** d'entre eux ont été retenus et aidés financièrement.

Thématiques couvertes sur 34 projets soutenus



24 %
accessibilité universelle



29 %
biodiversité



38 %
économie circulaire



62 %
confort urbain



71 %
neutralité carbone

1.8

RÉCAPITULATIF DES INNOVATIONS SOUTENUES

• INNOVATIONS CONSTRUCTIVES •			• ÉCONOMIE CIRCULAIRE •		
INNOVATION	OUVRAGE OLYMPIQUE	OBJECTIFS SOLIDEO	INNOVATION	OUVRAGE OLYMPIQUE	OBJECTIFS SOLIDEO
Complexe de charpente-couverture	Centre Aquatique Olympique	 	Sièges de gradin en plastique recyclé	Centre Aquatique Olympique Arena Porte de la Chapelle	 
Complexe de toiture acoustique	Arena Porte de la Chapelle	 	Bâtiment cycle	Village des athlètes	
Toiture végétalisée OASIS	Écoquartier fluvial	 	Cloisons en briques de terre crue	Arena Porte de la Chapelle	  
Guide d'aide à la conception de façades sur ossature bois	Village des athlètes		Toiture végétalisée et noue phyto-épura-tives	Base mutua-lisée de la préfecture de police	 
Paroi en béton de chanvre*	Village des athlètes	 			
Bétons très bas carbone	Village des athlètes Arena Porte de la Chapelle				
Douches zéro ressaut sur plancher bois	Village des athlètes	 			
Dalles Bois Béton	Village des médias				
Tablier en béton 3D*	Franchisse-ment urbain Pierre Larousse				



Centre Aquatique Olympique (CAO) ©Nicolas Grosmond

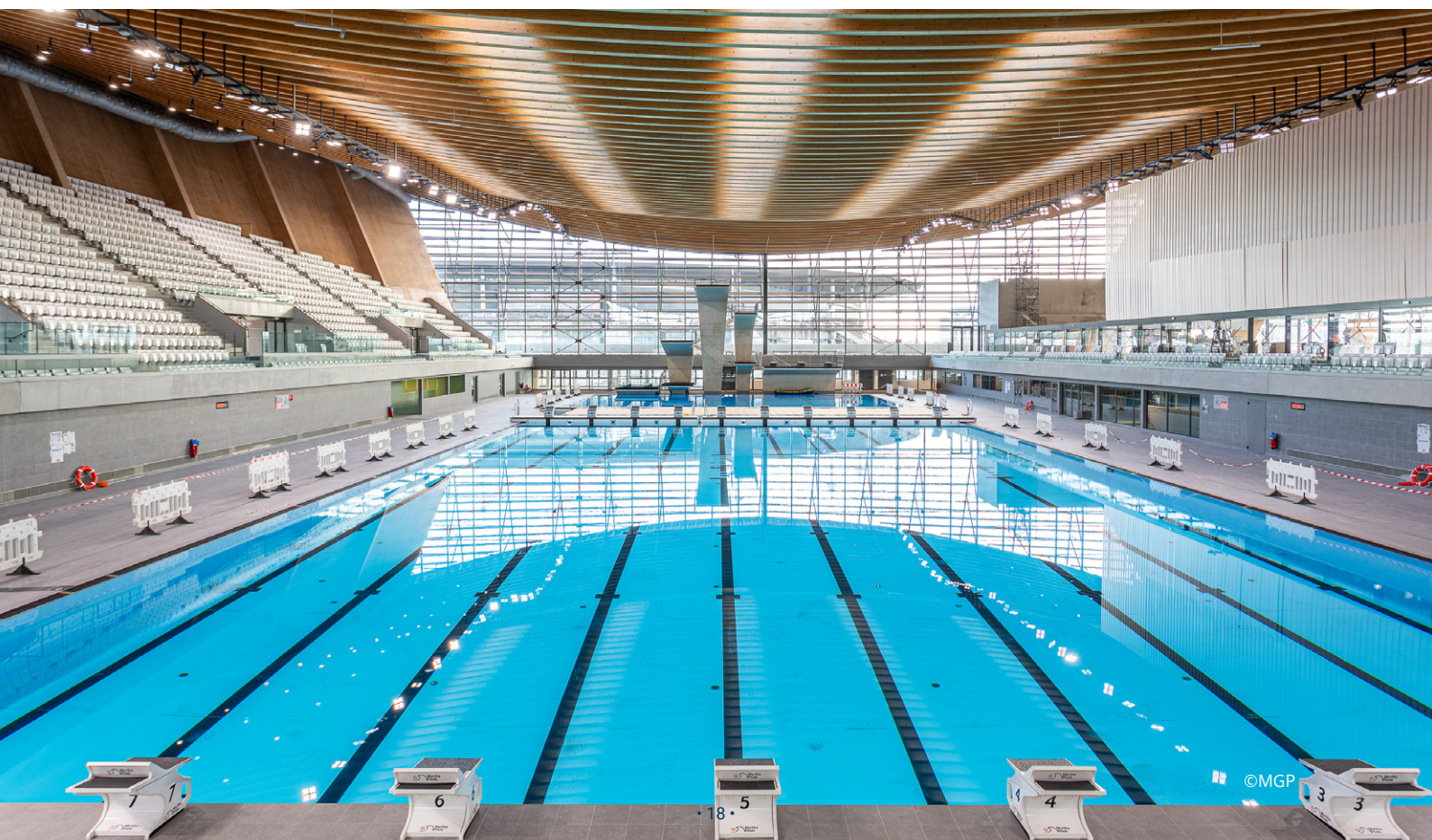
*Innovation finalement non mise en œuvre

• INNOVATIONS SUR LES ESPACES PUBLICS •			• GESTION INTELLIGENTE DU BÂTIMENT •		
INNOVATION	OUVRAGE OLYMPIQUE	OBJECTIFS SOLIDEO	INNOVATION	OUVRAGE OLYMPIQUE	OBJECTIFS SOLIDEO
Mobiliers urbains	Village des athlètes		Entrées d'air électrostatiques	Écoquartier fluvial	
Signalétiques inclusives	Village des athlètes Écoquartier fluvial		Fair'Play	Village des athlètes	 
Aérophiltres	Village des athlètes École Anatole France		FlowCast	Village des athlètes	
GreenBow	Village des athlètes	  	100 % ENR	Arena Porte de la Chapelle	  
Bancs dépolluants	Village des athlètes		• ENGAGEMENT ET SENSIBILISATION DES CITOYENS EN PHASE HÉRITAGE •		
Cool Ground	Village des athlètes	  	Développement de la biodiversité et sensibilisation des citoyens	Village des athlètes Village des médias	 
			Éco-citoyen	Tous ouvrages sur le territoire de Plaine Commune	   
			GiveVision	Arena Porte de la Chapelle Paris Bercy	



Mobiliers urbains ©SOLIDEO - Camille Pinot

2 INNOVATIONS CONSTRUCTIVES



2.1

COMPLEXE DE CHARPENTE-COUVERTURE



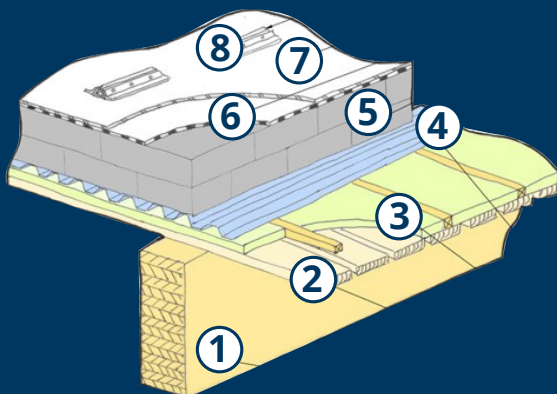
Présentation

Cette innovation est un ouvrage qui couple plusieurs sous-ouvrages. Le complexe de toiture est ainsi constitué du bas vers le haut : de catènes et de voliges bois (1) et (2), d'un complexe acoustique (3), de bacs aciers (4), d'une isolation en verre cellulaire (5), d'une étanchéité (6) et (7) et de panneaux photovoltaïques sur rails (8).

La charpente de la halle bassin du centre aquatique olympique est en particulier la plus grande structure en catènes du monde et la seule entièrement en bois. Elle est constituée de 91 poutres catènes en morceaux de 30 m avec au total 90 m de portée et 10 à 15 m de hauteur libre.

Sa géométrie concave s'adapte parfaitement aux gabarits spatiaux des différents usages, notamment aux épreuves de plongeon, et permet de réduire le volume intérieur chauffé/ventilé de 30 % par rapport à une géométrie horizontale.

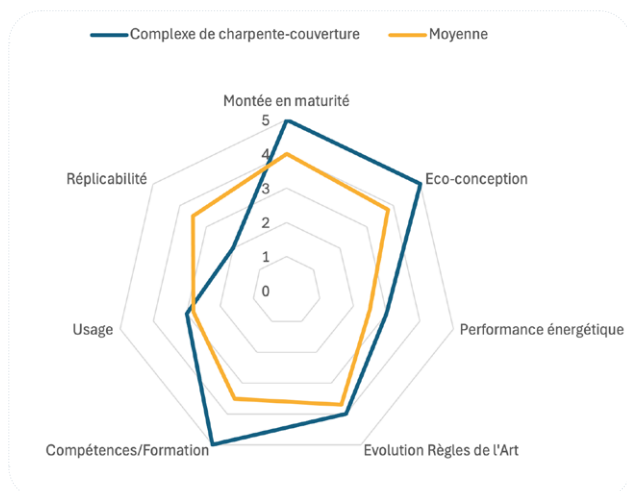
Doublement utile, sa toiture est recouverte d'une des plus importantes centrales photovoltaïques de France pour un bâtiment sportif en auto-consommation : 4 171 m², soit 2 255 modules, pour une production nominale de 812 KWc et une production annuelle prévue de 616 165 kWh.



Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Centre Aquatique Olympique (CAO) Métropole du Grand Paris
Porteurs / MOA	Métropole du Grand Paris - SIMBALA
MOE	Ateliers 2/3/4 - VenhoevenCS
Entreprises	Bouygues Construction – Mathis – BECI – EDF ENR
Montant dotation (€ HT)	7 100 000
Date réception	Mars 2024



Performances

Cette innovation permet de :

- réduire le bilan carbone de l'opération avec l'utilisation importante du bois en structure : 2 200 m³ de bois, 69 kg/m² SDP de matière biosourcée pour un objectif de 24 kg/m² SDP, 100 % de bois certifiés dont 30 % d'origine française ;
- réduire la consommation énergétique du centre aquatique grâce à la réduction du volume chauffé intérieur (- 30 %) ;
- couvrir 25 % des besoins électriques du CAO grâce à la présence de la centrale photovoltaïque dont l'électricité produite est auto-consommée.

69 kg/m²



de biosourcés

-30 %



de volume chauffé

25 %



de besoins électriques couverts



2.1 COMPLEXE DE CHARPENTE-COUVERTURE

Enjeux de développement

Les objectifs environnementaux ambitieux de l'opération, notamment en termes d'impact carbone et de bilan énergétique, ont conduit les porteurs à concevoir ce système de charpente-couverture innovant par rapport à une structure plus classique en béton.

Un complexe de toiture aussi exceptionnel ne pouvait ainsi se justifier via l'application directe du corpus des règles de l'art disponible.

A titre d'exemple, la sophistication et l'audace du parti structural s'appuyant sur une structure faite de poteaux inclinés en bois lamellé-collé et en acier mécano-soudé haubanés reprenant une nappe de catènes en bois lamellé collé s'apparente presque davantage à un ouvrage de génie-civil qu'à un ouvrage de bâtiment.

Des modélisations et itérations mécaniques poussées ont à ce titre dû être entreprises.

Les modes de sollicitations prédominants ont conduit à l'adoption de contrôles qualités spécifiques avec une vérification par un tiers externe.

L'association d'isolants à hautes performances mécaniques a conduit à devoir engager des essais de vérification des lois de comportement d'un complexe de toiture thermo acoustique potentiellement relativement rigide, pour garantir la corrélation entre le modèle théorique et la réalité expérimentale et éviter la survenance d'efforts parasites.

Le caractère intrinsèquement humide des ambiances du CAO a conduit à vérifier le bon balayage des espaces par les flux d'air traités par la centrale de traitement d'air (avec un scénario d'analyse de panne), notamment sous couverture et sous charpente, pour assurer le respect des plages de maintien des hypothèses notamment vis-à-vis :

- des performances mécaniques (classe de service) ;
- des conditions de durabilité (classe d'emploi) ;
- des phénomènes de transferts hygrothermiques.

La voie de l'Appréciation Technique Expérimentale (ATEX) de cas b), c'est-à-dire spécifique à l'opération, a été également un passage privilégié pour fédérer, de façon organisée, toutes les investigations nécessaires.

S'exprimant sur la sécurité, la faisabilité, les risques de désordres et établissant des recommandations et attendus, cette ATEX favorable sur le procédé, a également permis la reconnaissance en technique courante de celui-ci et donc son assurabilité dans des conditions relativement facilitées pour tous les acteurs de la chaîne de valeur (maîtrise d'ouvrage, constructeurs et assimilés au sens de la loi Spinetta).

Constituant un référentiel au sens de la NF P03-100, la mission de contrôle technique s'en est trouvée également épaulée.

Cette procédure a permis de collecter toutes les justifications, dont par exemple, les essais en soufflerie, divers essais mécaniques, d'absorption acoustiques, de durabilité de la membrane bitumineuse, de résistance de l'attache des panneaux PV et de tenue au vent des panneaux PV, etc.



Enjeux de mise en œuvre

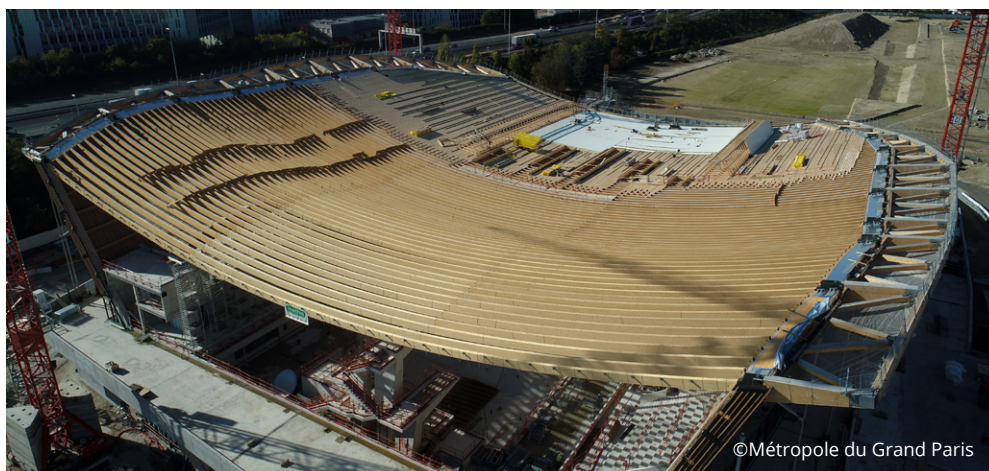
Les méthodologies de mise en œuvre n'ont pas été en reste vis-à-vis de composants de structures aussi complexes, intrinsèquement instables en phase provisoire et de grande taille. Ces méthodes ont été développées grâce aux concours de tous les acteurs du projet et en particulier grâce à l'expertise en levage de l'entreprise en charge du lot charpente bois. Un ordonnancement précis a donc été adopté dans les manutentions, l'emploi de tourelles d'étaisements et d'échafaudages pour leur stabilisation provisoire, l'adoption et la vérification très poussées des couples de serrages, etc., le tout selon des Plans d'Assurance Qualité très détaillés.

2.1 COMPLEXE DE CHARPENTE-COUVERTURE

Pour la mise en place du complexe de toiture, trois entreprises spécialisées sont ainsi intervenues sous le pilotage de l'entreprise générale Bouygues Bâtiment Île-de-France :

- Mathis constructeur bois en charge notamment de la fabrication et de pose des catènes et des voliges ;
- BECI étancheur en charge du complexe intégrant l'isolation et de l'étanchéité ;
- EDF ENR (nouvellement EDF solutions solaires) en charge de la pose des panneaux photovoltaïques.

Au regard de la complexité de la charpente, une méthodologie de chantier détaillée définissant au total 67 phases (jusqu'à la pose des bacs aciers et de l'isolant) a été élaborée, permettant une bonne coordination entre les différentes entreprises sur le chantier.



©Métropole du Grand Paris



Enjeux d'exploitation

Le bois utilisé pour la charpente est de type épicéa lasuré et est traité pour une utilisation en classe d'emploi 2, ce qui lui permet de répondre de façon pérenne aux conditions humides et chlorées d'une piscine. Le bon fonctionnement des installations de traitement d'air est toutefois indispensable pour maintenir les conditions hygrothermiques prévues pour ces ambiances.

Les principaux enjeux techniques pour la phase héritage se situent ainsi plutôt au niveau de l'étanchéité de la toiture et de l'installation photovoltaïque : supervision / maintenance proposée par EDF ENR, modalités pour l'entretien et la maintenance de l'installation PV (accès en toiture, cheminement pour le nettoyage des panneaux et des chéneaux, locaux techniques accessibles, ventilation des panneaux...) etc.



Répliquabilité

La qualité de l'expertise mobilisée sur cette opération et le caractère méthodique pour justifier l'atteinte des performances attendues réunissent déjà les prémices de la possibilité d'une reproductibilité.

L'ATEx pourrait ainsi influencer les conceptions et les mises en œuvre d'autres complexes de toiture, permettant à la fois de réduire le volume chauffé, d'assurer le confort des usagers (acoustique, ambiance hygrothermique) et de produire de l'électricité localement.

Plus largement, cette innovation vise un projet emblématique à fort potentiel de communication à la façon d'un bâtiment manifeste. La force du symbole de la prouesse technologique et du savoir-faire est donc dans ce cas tout aussi importante qu'une répliquabilité in-extenso.

2.2

COMPLEXE DE TOITURE
ACOUSTIQUE

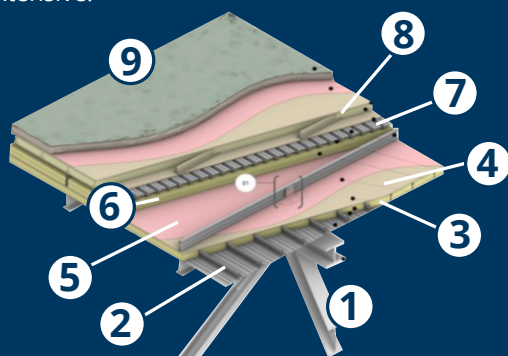
Objectifs SOLIDEO



Présentation

Cette innovation concerne la toiture végétalisée de 6 147 m² de l'Arena Porte de la Chapelle constituée d'une membrane d'étanchéité posée sur support isolant thermo-acoustique en panneaux Phonotech, eux-mêmes supportés par des bacs aciers.

Dans le détail, il s'agit d'un épais complexe de toiture posée sur une charpente métallique (1). À l'intérieur la finition est en bac métallique perforé (2) rempli par un isolant (90 mm) (3) et un panneau CTBH (4), support d'une membrane pare-vapeur (5), recouverte par une laine de roche (200 mm) (6). Au-dessus un bac acier (7) supporte le panneau Phonotech DK (140 mm) pris en sandwich entre deux panneaux CTBH (8). Un géotextile et une membrane assurent l'étanchéité (9), qui est protégée par une végétalisation extensive.



Axonométrie couverture toiture salle principale

Ouvrage olympique

Arena Porte de la Chapelle

Porteurs / MOA

Ville de Paris

MOE

SCAU – NP2F

Entreprise

Bouygues Bâtiment
Île-de-France

Autre intervenant

Phonotech

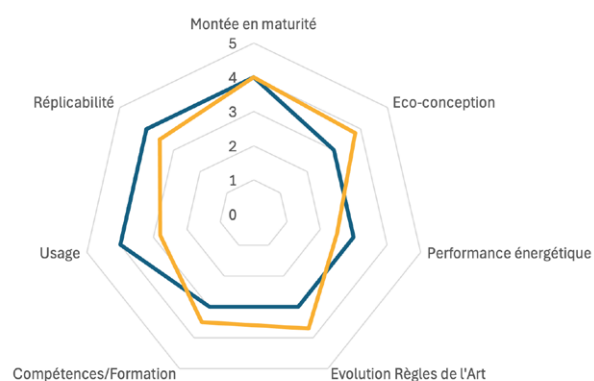
Montant dotation (€ HT)

709 770

Date réception

Janvier 2024

— Complexe de toiture acoustique — Moyenne



Performances

La mise en place de ce système de toiture innovant permet :

- un affaiblissement acoustique fort de la couverture, avec un **Rw+Ctr de 68 dB** ;
- un coefficient de transmission thermique très faible de **U=0,11W/m².K** ;
- une étanchéité à l'air de l'ARENA, à 0,51 m³/h/m² sous 4 Pascal ;
- l'usage de 397 t de matériaux biosourcés, soit un poids de **62,84 kg/m²**, ce qui participe à hauteur de près de 1/3 du bilan total de l'ARENA ;
- la mise en œuvre d'une végétalisation extensive qui lutte contre les îlots de chaleur et contribue à la biodiversité.

397 t

de matériaux
biosourcés

68 dB

acoustique
Rw+Ctr



2.2 COMPLEXE DE TOITURE ACOUSTIQUE

Enjeux de développement

L'originalité du procédé réside dans la réalisation d'une protection par végétalisation sur un complexe de couverture de type Phonotech DK servant de peau supérieure à un complexe multicouche sophistiqué. Cette composition se situait en dehors du domaine d'emploi de la première version de l'avis technique visant le procédé Phonotech DK. En effet, ce dernier présentait une classe de compressibilité B ne lui permettant pas d'être positionné sous une protection mécanique d'étanchéité de type végétalisation qui impose une classe C minimum.

Pour pouvoir permettre l'usage de cette composition originale et performante sur l'Arena, une ATEx de cas b) a été menée et a permis de lever certains freins :

- structurels vis-à-vis de charges de court et de long terme (fluage) ;
- hygrothermiques vis-à-vis d'une composition complexe multicouche avec, pour des raisons de découplage acoustique et de fonctionnement en membrane, des lames d'air non ventilées ;
- en termes d'entretien -maintenance vis-à-vis de sujétions spécifiques.

En termes d'assurabilité, l'ATEx de cas b) favorable reconnaît de facto en technique courante le procédé qui en a fait l'objet à l'échelle de l'opération sur laquelle celui-ci a été évalué, ici l'Arena Porte de la Chapelle.

L'extension envisagée à moyen terme du domaine d'emploi de l'avis technique Phonotech, sous réserve d'une expérience réussie à l'Arena (à suivre en phase exploitation), devrait permettre à ce procédé d'être assurable à l'avenir sur de plus nombreuses opérations.



Enjeux de mise en œuvre

La composition multicouche du procédé, comprenant des interpositions de produits pouvant intervenir dans le confinement d'humidités résiduelles potentiellement élevées du fait d'intempéries survenues en phase travaux, a bien été encadrée sur le chantier.

Les Plans d'Assurance Qualité (PAQ) mis en œuvre sur les sujets délicats ont ainsi pu gérer les sujets les plus sensibles tels que l'humidification en phase chantier. Ceci démontre l'importance de la précision des documents d'étude et de leur appropriation en chantier.

Toutefois, les conséquences liées à ce type de sujets de non-qualité sont en général plutôt complexes et latentes et elles se révèlent, le cas échéant, selon des cinétiques lentes. Un suivi du retour d'expérience dans le temps long en phase exploitation pourrait ainsi être une bonne option en appui de la démarche d'ATEx engagée et des PAQ mis en œuvre.



©SOLIDEO



2.2 COMPLEXE DE TOITURE ACOUSTIQUE

Enjeux d'exploitation

L'entité chargée de l'exploitation de cet équipement a été partie prenante de la mise en place des procédures adaptées dans le cadre de la démarche d'ATEx réalisée. Cette intervention en amont du projet permet de mieux anticiper les risques de désordres identifiés imputables au volet entretien /maintenance tels que le risque de condensation dans la paroi et celui de déplacement des terres d'une strate de végétalisation.

En particulier, grâce au bon suivi de l'exécution et sous réserve d'une bonne gestion des équipements de génie climatique (durée de fonctionnement adaptée, entretien de la ventilation), on dispose de prérequis favorables aux bons fonctionnements en phase exploitation.



Répliquabilité

La composition qui a fait l'objet de l'ATEx sur ce projet n'a pas été implémentée dans la nouvelle version de l'avis technique du procédé. Tout autre projet qui souhaiterait mobiliser ce type de composition devra donc à ce stade passer par la voie évaluation. Ceci n'est a priori pas un obstacle majeur mais cette situation souligne le caractère relativement unique de cette composition.

En effet, alors que la composition du procédé mis en œuvre sur l'Arena, intégrant une gamme de membranes plus courantes et la possibilité d'y ajouter des modules photovoltaïques, devait venir compléter le domaine d'emploi de l'avis technique initial, cette généralisation a été finalement moins évidente qu'estimée à l'origine par manque de retour d'expérience à ce stade sur le bon fonctionnement et la bonne durabilité de cette toiture dans le temps long.

Le suivi de cette composition en exploitation permettra peut-être d'apporter les compléments nécessaires à l'implémentation de cette technologie dans le prochain millésime du renouvellement de l'avis technique prévu en 2026.

Cette toiture légère, biosourcée et à très hautes performances acoustiques présente un intérêt pour des projets de construction qui se décarbonent. Elle doit cependant comporter toutes les garanties de durabilité pour être répliquée sans risque et avec un surcoût maîtrisé.



2.3

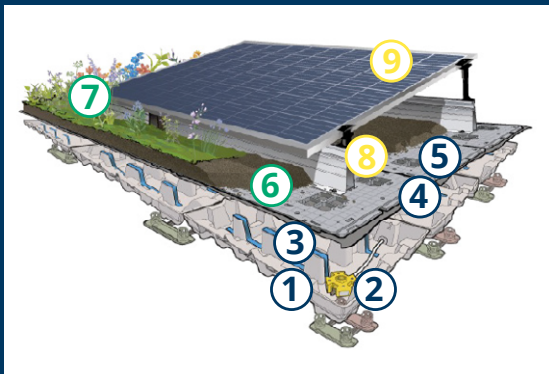
TOITURE VÉGÉTALISÉE OASIS



Présentation

Cette innovation concerne la mise en œuvre sur 65 % des toitures des bâtiments de la ZAC de l'éco-quartier fluvial, soit 5 754 m² au total, d'une solution végétalisée avec stockage des eaux pluviales dénommée OASIS et intégrant :

- des bacs de stockage de l'eau de pluie en polyéthylène recyclé connectés les uns aux autres et disposés directement sur la membrane d'étanchéité (1),
- des mèches de capillarité permettant à l'eau stockée de remonter pour irriguer la végétalisation (3) avec nappe de répartition d'eau (4),
- un système de régulation « goutte à goutte » avec filtre pour évacuer les eaux pluviales en fonction du débit de fuite visé (2),
- des plaques « Modulo » (5) positionnées sur les bacs de rétention permettant de recevoir tout type de revêtement : dans le projet, il a été mis en œuvre, selon les bâtiments, de la végétalisation extensive, l'ancrage d'arbres, la mise en œuvre de jardinières, des gravillons, du platelage, la fixation de panneaux solaires ; pour ce dernier cas, le système est appelé OASIS BIOSOLAR et comporte également un substrat (6), une végétation (7), des panneaux photovoltaïques (9) fixés par des rails (8) sur les plaques modulo.

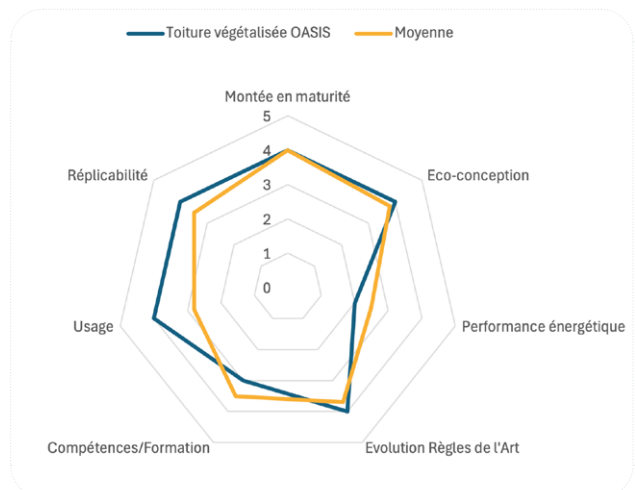


Source : Le Prieuré

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Ecoquartier fluvial
Porteurs / MOA	PICHET-LEGENDRE
Entreprises	LE PRIEURÉ - VOLGA
Montant dotation (€ HT)	525 113
Date réception	Mars 2024



Performances

La mise en œuvre de cette solution permet une gestion des eaux pluviales à l'échelle des bâtiments de l'éco-quartier fluvial visant une réduction du rejet à **0,5 L/s.ha** et une rétention d'eau de **522 m³**.

Grâce à la végétalisation, ce projet permet également une amélioration du confort thermique et une réduction de l'effet d'îlot de chaleur par la création d'un support de biodiversité supplémentaire en zone urbaine.

Par ailleurs, l'installation avec le procédé OASIS BIOSOLAR d'une végétalisation sous les panneaux photovoltaïques, sur 698 m² de toiture, doit permettre d'augmenter le rendement de 7,5 %.

522 m³



d'eau retenus

+ 7,5 %



de rendement photovoltaïque



2.3 TOITURE VÉGÉTALISÉE OASIS

Enjeux de développement

Depuis la mise en œuvre sur l'écoquartier fluvial, le dossier d'avis technique du système OASIS® GREEN, qui est la déclinaison avec une végétalisation extensive, a été évalué favorablement fin 2024 par les Groupes spécialisés 5.2 « Produits et procédés d'étanchéité de toitures-terrasses, de parois enterrées et cuvelage » et 17.1 « Réseaux et épuration/Épuration ». Cet ATEc a ensuite été présenté à la C2P en juin 2025 et a reçu un avis favorable pour apparaître sur la liste verte et donc être reconnu en technique courante.

Le domaine d'emploi est très large visant le neuf et la rénovation, le climat de plaine en France hexagonale, tous types de végétalisation (intensive et extensive) et tous types de support (maçonnerie, tôles d'acier, bois massif, panneaux CLT).

De son côté, le système spécifique OASIS BIOSOLAR est sous Enquête de Technique Nouvelle (ETN), avec un domaine d'emploi limité aux supports béton. Or l'ETN, qui est une évaluation technique d'un seul expert, n'a pas de reconnaissance assurantielle de facto. Comme pour tout procédé ou technique de construction relevant de la technique non courante, les différents acteurs soumis à assurance obligatoire (maîtrise d'œuvre, contrôleur technique, entreprises d'étanchéité...), et donc pas seulement Le Prieuré, doivent dans ce cas avertir leurs assureurs.

Une ATex de cas a) est toutefois en cours d'élaboration pour ce procédé avec l'objectif d'être disponible début 2026 afin que le procédé OASIS BIOSOLAR soit reproductible sur plusieurs opérations.

Ces différentes démarches et évaluations techniques reconnues par les pairs permettent ainsi au procédé OASIS et à ses déclinaisons de viser un développement sécurisé et maîtrisé à moyen terme.



Enjeux de mise en œuvre

La seule entreprise responsable de la mise en œuvre du système OASIS sur le chantier a été LE PRIEURE, avec ses équipes dédiées et formées, en phasage avec les autres corps d'état. Son intervention est allée jusqu'à la pose des systèmes de fixation des panneaux solaires (faisant partie de l'ETN), ces derniers ayant ensuite été installés par Legendre Energie.

Des cahiers de prescriptions de pose des systèmes Biosolar et Walk (platelage bois) sont par ailleurs disponibles, permettant à toute entreprise qualifiée et formée par la société Le Prieuré de les mettre en œuvre.

L'implication en amont et la coordination des différents intervenants et corps d'état sont primordiales pour la mise en œuvre de ce procédé, en particulier en cas de travaux en corps d'état séparés.

Une bonne organisation et un bon phasage sont en effet essentiels pour éviter tout dommage en phase chantier et tout sinistre ultérieur. Une trop grande coactivité peut en effet avoir des impacts négatifs sur la pose des solutions.

La dispense d'une formation et de campagnes de sensibilisation auprès des différents corps d'état est ainsi à prévoir sur site.

Des points réguliers ont ainsi été montés sur toute la durée du chantier entre les OPC, la maîtrise d'œuvre et les entreprises pour résoudre des sujets sensibles, en particulier par rapport à la pose du système OASIS sur le système d'étanchéité.



2.3 TOITURE VÉGÉTALISÉE OASIS

Enjeux d'exploitation

Un contrat de maintenance a été pris auprès du LE PRIEURE pour la première année, à raison de 2 passages annuels, pour entretenir les végétaux et vérifier le bon fonctionnement du système OASIS par l'inspection des bacs régulateurs et le contrôle du bon écoulement de l'eau. Ce contrat devra être renouvelé par les occupants pour éviter de potentiels futurs sinistres par manque d'entretien de la toiture.

Un arrosage automatique a été mis en place autour des arbres et sur une partie des jardinières en toiture, pour les périodes de grande sécheresse. Une solution d'arrosage goutte à goutte est également prévue avec des programmeurs et vient en complément de l'auto-irrigation via les mèches de capillarité du système.

L'exploitation prévue des panneaux photovoltaïques permettra d'analyser leur rendement au regard de la présence de végétalisation.

La mise en place ultérieure de capteurs et de sondes connectés (température, humidité, ensoleillement...) à un service de contrôle à distance de la situation hydrique, dans le cadre d'un contrat avec le syndicat de copropriété, serait toutefois fortement recommandée pour suivre le bon fonctionnement du système et pour mesurer concrètement la réduction des consommations d'eau potable.



Répliquabilité

Ce procédé de toiture est répliquable dans le futur sous réserve que les objectifs en termes de compétences, des moyens techniques et organisationnels à mettre en œuvre soient rigoureusement respectés.

Il existe toutefois encore quelques verrous à lever :

- le premier est d'ordre assurantiel, même s'il est en train d'être levé en partie grâce au passage en technique courante du procédé OASIS GREEN ; en revanche, pour OASIS BIOSOLAR, qui associe judicieusement gestion des eaux pluviales, végétalisation et production photovoltaïque, aucun avis technique n'est encore disponible pour ce procédé qui doit passer par d'autres évaluations techniques au cas par cas pour être reconnu par les assureurs ;
- le second est financier, la solution présente en effet un surcoût vis-à-vis d'une toiture végétalisée classique. Suite à la mise en œuvre du procédé sur d'autres opérations, ce surcoût est toutefois aujourd'hui bien cerné et mieux maîtrisé.



©SOLIDEO

2.4 GUIDES D'AIDE À LA CONCEPTION DE FAÇADES SUR OSSATURE BOIS

Objectifs SOLIDEO



Présentation

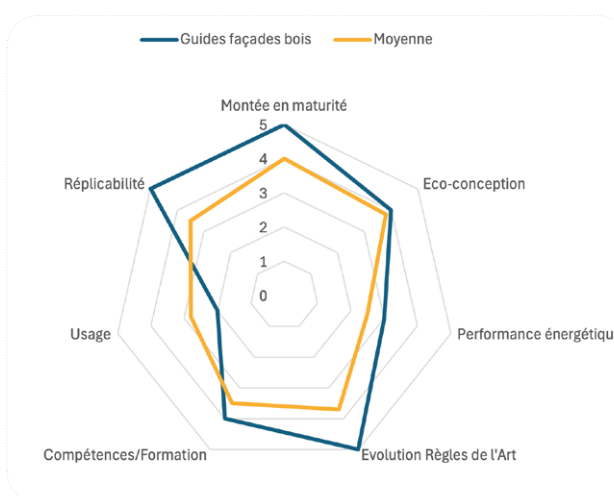
Le Village des athlètes, qui est réalisé en grande partie en structure porteuse bois pour les bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à R+4 et quasi intégralement en façade ossature bois non porteuses devant une superstructure en béton pour tous les autres, a conduit l'ensemble des acteurs de la construction à imaginer de nouvelles réponses aux enjeux que pose ce type d'ouvrage. Face à ces défis et aux innovations qu'ils suscitent, la SOLIDEO a impulsé la rédaction de deux guides visant à faciliter l'appropriation par les équipes de conception et de réalisation de techniques non traditionnelles de parements extérieurs mises en œuvre sur support bois et souhaitées sur les opérations du Village des athlètes :

- [ETICS sur FOB/COB](#)
- [Bardage de terre cuite sur FOB/COB](#)

Ces deux guides, dont les premières versions ont été publiées en novembre 2020, ont permis aux équipes de conception et de réalisation de s'approprier ces techniques non encore normalisées, et ont largement contribué à fluidifier et faciliter la construction et l'obtention des 15 Appréciations Techniques d'Expérimentation (ATEX).

Forts du retour d'expérience du chantier du Village des athlètes, les guides ont été mis à jour pour préciser certains éléments et intégrer les avancées permises grâce à ces démarches. Cette mise à jour s'est en particulier appuyée sur l'ensemble des dossiers techniques d'ATEX remis par les équipes de maîtrise d'ouvrage et les entreprises du Village des athlètes pour en extraire les bonnes pratiques et des exemples de conceptions robustes.

Ouvrage olympique	Village des athlètes
Porteurs	SOLIDEO - CSTB
MOA	Icade Promotion, CDC, CDC Habitat, Nexity, Eiffage Immobilier, Vinci Immobilier Aménagement
MOE	Toutes les équipes de maîtrise d'œuvre du Village des athlètes
Autres intervenants	Ingénéco Technologies – BTP Consultants – SOCOTEC - FCBA - France Bois 2024 -- CODIFAB – France Bois Forêt - AQC
Montant dotation (€ HT)	2020 : 150 000 2024 : 139 000
Date réception	1 ^{ère} version : novembre 2020 Actualisation : janvier 2025



Performances

La stratégie environnementale de la SOLIDEO de réduction de l'impact carbone des différents ouvrages olympiques, avec notamment l'emploi de matériaux biosourcés, a poussé les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les entreprises à revoir leurs modes constructifs.

Ces guides ont permis d'accompagner les choix architecturaux de façade sur ossature bois et ont facilité le développement de l'usage du bois sur le Village des athlètes avec :

- environ **17 764 m³** de bois, y compris éco-quartier fluvial, soit 34 Mt CO₂ stockées ;
- **80 000 m²** de bâtiments à structure bois ;
- **200 000 m²** de bâtiments avec façade à ossature bois (FOB).

Par toutes les actions engagées autant sur la phase de construction, parmi laquelle le recours au bois en structure est un élément clé, que sur la phase d'exploitation, **le Village a réduit de 47 % son impact carbone** par rapport à une opération classique. Pour plus d'informations, consulter le [rapport environnemental "Bilans et perspectives"](#) de la SOLIDEO.

15



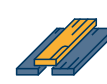
ATEX

-47 %



d'impact carbone

200 000 m²



de bâtiments avec FOB



2.4 GUIDES D'AIDE À LA CONCEPTION DE FAÇADES SUR OSSATURE BOIS

Enjeux de développement

En 2020, l'association ADIVBOIS publiait un « *Etat de l'art et propositions de méthode d'évaluation des performances des façades des bâtiments en bois multi-étagés* ». Cette étude avait permis d'identifier les manques dans le corpus technico-règlementaire et dans l'offre industrielle pour la mise en œuvre de certains revêtements de façade sur ossature bois, en particulier à partir de certaines hauteurs (environ 15-18 m).

Au regard de la typologie et de la hauteur des bâtiments prévus sur le Village des athlètes, la réalisation de 2 référentiels techniques sur des familles de revêtements plus particulièrement choisies par les équipes de maître d'œuvre, que sont les procédés d'ETICS et les procédés de bardages en terre cuite, a permis de sécuriser leur conception et de faciliter la collecte des informations pertinentes pour les évaluer via des procédures d'ATEX de cas b).

Outre la réalisation de ces guides, la Direction Technique du CSTB a mobilisé un comité permanent d'xperts pour formuler ces ATEX. Le but de cette organisation était de disposer d'un haut niveau d'expertise et d'une homogénéité de traitement entre des sujets très semblables

Publiés en janvier 2025, ces guides actualisés basés sur les retours d'expériences de leur mise en œuvre sur le Village des athlètes ont permis :

- l'approfondissement de protocoles d'essais pour approcher de façon représentative et pérenne la gestion des compatibilités de déformation entre les nombreux éléments en interaction avec une Façade à Ossature bois non porteuses (FOB) ;
- les modalités d'une certaine intégration d'ouvrages de collecte d'eaux pluviales aux guides existants ;
- l'élargissement de la portée de ces guides en introduisant un 3^e type de système de revêtement de façade largement déployé sur le Village des athlètes à base de bardage métallique.



Enjeux de mise en œuvre

Les enjeux identifiés pour la phase de mise en œuvre ont été multiples :

- la confrontation des hypothèses théoriques des jeux de montage et des jeux fonctionnels à la réalité du chantier, avec ses sujétions potentielles sur les bons fonctionnements mécaniques, c'est-à-dire en évitant de brider des degrés de liberté nécessaires, ou au contraire sur l'efficacité des calfeutrements lorsque les jeux étaient trop grands. La situation de coexistence sur une même façade, de systèmes filants et de systèmes interrompus par des balcons et des modénatures a été appréhendée avec une grande vigilance. L'intégration de FOB largement interrompues entre balcons ou coursives a de même fait l'objet de toutes les attentions vis-à-vis de leur faisabilité même ;
- la fiabilisation et la sanctuarisation des écrans thermiques pour garantir dans le temps long, le respect des distances C + D pour limiter la propagation du feu par les façades, a conduit à ce que la majorité des propositions adopte des écrans en plaques de plâtre appliquées directement au contact des montants d'ossature y compris en intérieur. Dans de telles compositions, la contre-cloison continue d'être présente mais est plutôt reléguée à des fonctions premièrement acoustiques, de parois techniques pour le passage de réseaux et de support aux finitions intérieures, et non plus à des fonctions d'écrans thermiques devant assurer à elle seule une performance E, voire EI > 60.

2.4 GUIDES D'AIDE À LA CONCEPTION DE FAÇADES SUR OSSATURE BOIS

L'adoption de ces dispositions, si elle permet effectivement la fiabilisation et la sanctuarisation de la fonction écran en des points stratégiques et souvent aussi un meilleur traitement de l'étanchéité aux flammes et aux gaz chauds de la jonction façade/plancher, en limite cependant la visitabilité en phase chantier.

Cette visitabilité ainsi contrariée a conduit à devoir assurer une parfaite gestion de l'humidité en phase chantier a fortiori lorsque l'isolant du cœur de paroi ainsi emprisonné était de type biosourcé.

L'établissement d'un protocole de contrôle et d'engagements d'actions correctives graduées, collectivement construit entre experts et consolidé avec le concours de SOCOTEC, faisant intervenir une métrologie embarquée a permis de collecter beaucoup d'informations pour gérer ce type de configurations et par extension les configurations plus classiques aussi.

Ces enjeux ont été parfaitement anticipés via les ATEx menées et ont ainsi permis à l'ensemble des acteurs qui ont suivi ce type de démarche de s'éviter les lourdes déconvenues et errances malheureusement souvent rencontrées par ailleurs dans des contextes comparables.



Enjeux d'exploitation

Les enjeux en héritage sont de consolider et d'amender les solutions mises en œuvre sur le temps long. Il s'agira notamment de suivre avec grand intérêt les valeurs données par les capteurs embarqués dans les façades pour en tirer des enseignements sur les comportements de façade en exploitation.

Par ailleurs, l'usage de façades à ossature bois, notamment non porteuses, a été démontré comme étant particulièrement économiquement pertinent. En effet, le surcoût travaux de telles parties d'ouvrages est largement compensé par l'augmentation de surface habitable valorisée au prix de sortie.

La contribution au développement du corpus technico-règlementaire, que de tels guides ont permis, constitue donc un levier particulièrement efficace au service de l'essor de l'offre industrielle notamment des revêtements, ce qui est une condition indispensable à la massification de ce type de paroi biosourcée.



Répliquabilité

Ces 2 guides ont permis de faciliter la conception et la mise en œuvre des procédés d'ETICS, de bardages en terre cuite et métalliques sur des supports de type COB (Construction à Ossature Bois) et FOB (Façades à Ossature Bois non porteuses) sur tous les ouvrages du Village des athlètes.

Ces guides ont également pour vocation d'être réutilisés plus largement sur d'autres opérations sur tout le territorial national, évidemment sous réserve que le domaine d'emploi corresponde.

On peut citer a minima 3 ATEX ouvertes de cas a) et structurantes qui ont d'ores et déjà bénéficié de l'existence de ces guides et de leur antériorité : les 2 ATEX ICADE/STO et l'ATEX NEXITY/STO, respectivement 3022_v2, 2948_v1, 3156_v2.

Enfin, ces guides devraient permettre d'alimenter les révisions des NF DTU (31.4 relatif aux FOB, 31.2, 51.3, etc.), de nouveaux avis techniques et de futures règles professionnelles pour des procédés de bardages ventilés ou des parois chaudes de type COB, FOB, CLT ou autres parois préfabriquées contenant des composants bois.

2.5

PAROI EN BÉTON DE CHANVRE



Présentation

Cette innovation concernait la mise en œuvre de béton de chanvre en remplissage d'un mur porteur à ossature bois préfabriqué composé par ailleurs d'ossatures en bois lamellé-collé de hêtre de marque commerciale BAUBUCHE de l'industriel POLLMEIER puis son instrumentation pour vérifier les performances (thermique, qualité de l'air intérieur, humidité, étanchéité à l'air) de l'enveloppe.

La volonté de mise en œuvre de cette solution constructive sur un des secteurs du Village des athlètes a nécessité des essais et des études complémentaires afin d'obtenir une Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX) sur l'opération avant le démarrage des travaux.

L'Appréciation de cette innovation constructive a été formulée défavorable à l'expérimentation et il a donc été décidé qu'en l'état, cette innovation ne pouvait être mise en place dans les temporalités de ce programme immobilier.

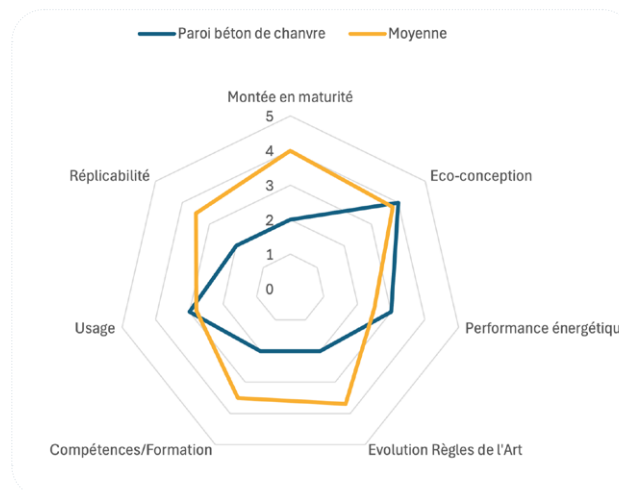
Pour autant, cette expérience aura été instructive pour identifier les freins à la mise en œuvre d'un tel procédé.

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Village des athlètes
Porteurs / MOA	Saint Ouen Héritage (Nexity – Eiffage Immobilier – CDC Habitat)
MOE	Barrault Pressacco – LM Ing. - SETEC
Entreprises	Eiffage Construction - SAVARE
Montant dotation (€ HT)	343 091**
Date réception	Innovation abandonnée en fin d'études de conception

**montant arrêté à la fin des études R&D.



Performances

Cette solution constructive était bien en adéquation avec les objectifs de la SOLIDEO en termes de développement durable et de bilan carbone :

- emploi d'un isolant biosourcé local provenant d'Ile de France, accompagné d'une façade à ossature bois avec une essence feuillue très présente en France et peu valorisée en construction ;
- réduction de l'impact carbone de l'ouvrage ;
- a priori de bonnes présomptions de qualité d'usage : confort thermique, notamment en période estivale, bonne qualité de l'air intérieur (tampon hygrothermique, notamment en hiver où l'air intérieur est souvent excessivement sec générant l'assèchement des muqueuses et l'excès de poussières en suspension).



2.5 PAROI EN BÉTON DE CHANVRE

Enjeux de développement et perspectives

Le procédé à base de lamellé collé de hêtre pour les ossatures des murs avait été initialement adopté à la fois pour son intérêt environnemental (exploitation d'une essence feuillue largement disponible dans les forêts françaises) et pour ses très hautes performances mécaniques du fait du caractère assez exceptionnel de la hauteur d'un bâtiment en COB relevant du DTU 31.2 avec plancher bois/béton.

En première approche, la présente solution constructive est d'ailleurs très proche de compositions visées par les Règles professionnelles des parois verticales en bétons de chanvre de juin 2024 avec le caractère englobant qui y est fait via les mentions aux référentiels des supports visés (DTUs 31.1, 31.2, 31.4).

Or, les investigations menées sur cette opération dans le cadre de l'évaluation de type ATEx ont soulevé plusieurs incertitudes, qui ont d'ailleurs mené à un avis défavorable :

- la capacité de l'ossature bois à reprendre les charges de l'ouvrage, en lien avec l'humidification lors de la mise en œuvre du béton de chanvre ;
- la faisabilité de transport et de mise en œuvre des murs préfabriqués.

Ce qui semblait bien fonctionner mécaniquement s'est ainsi heurté à d'autres problématiques appelées par la compatibilité avec la technologie de béton de chanvre.

En étant relativement englobantes, aucune restriction claire n'apparaît ainsi dans les nouvelles Règles professionnelles des parois verticales en bétons de chanvre vis-à-vis de tels sujets.

En particulier, le fait d'y viser les ossatures bois (constituées de bois massifs) de la NF DTU 31.2, ce qui était le cas ici, ou de la NF DTU 31.4, ne présage pas d'un ouvrage sans risque de pathologie ultérieure. Le lamellé collé de Hêtre (qui lui-aussi est bien qualifié de « bois massif » au sens du 3.1.2 de la partie 1-2 de la NF DTU 31.2) ne se comporte en effet pas tout à fait comme du bois massif résineux dans un environnement fortement et durablement humide.

Ainsi, ce projet a mis en exergue trois enjeux majeurs :

- l'importance de réaliser des investigations poussées dès lors que l'on se situe dans le cadre d'une innovation, permettant d'anticiper et de prévenir des risques parfois importants ;
- l'importance de caractériser le comportement et la durabilité de matériaux mobilisant notamment des constituants pouvant se révéler sensibles à l'eau, dès lors qu'elles sont mises en œuvre avec des matériaux en phase humide ;
- le besoin de travailler sur des protocoles adaptés pour la construction hors site et de disposer du matériel spécifique pour pouvoir manœuvrer les modules, panneaux et autres dès la phase conception.

Malgré les écueils rencontrés, ce projet a contribué à l'amélioration de connaissances pour la construction en murs de béton de chanvre préfabriqués, grâce aux différentes investigations menées dans le cadre de l'ATEx. Ces dernières ont notamment permis d'identifier potentiellement la configuration de préfabrication qui aurait pu s'avérer la plus pertinente, en termes de dynamique de cycles reprises en humidité/assèchement des procédés bois et du béton de chanvre.

Sur le plan de l'évolution du corpus, cette évaluation permettra aussi une clarification vis-à-vis des notions de « bois massif ».

Enfin, le protocole utilisé pourrait servir de base pour des nouveaux essais permettant de trouver des solutions pérennes.

2.6

BÉTONS TRÈS BAS CARBONE

A. BÉTON EXEGY

Objectifs SOLIDEO



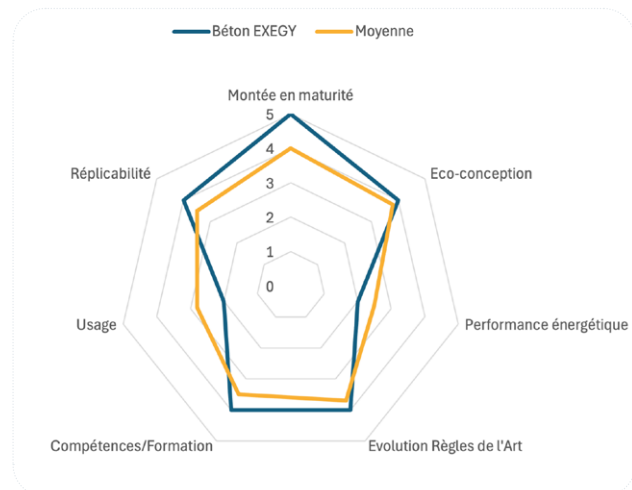
Présentation

Sur le secteur Universeine du Village des athlètes, 18 584 m³ de béton très bas carbone ont été mis en œuvre : 6 147 m³ pour les radiers et 12 437 m³ pour les planchers.

Le béton mis en œuvre pour les radiers est constitué à 65 % de laitiers de haut fourneau issus de l'industrie sidérurgique. Il a un impact carbone d'environ 150 kg éq. CO₂/m³ inférieur de 50 %, pour ce domaine d'emploi, par rapport à un béton classique de type CEM1.

Le béton mis en œuvre pour les planchers est lui constitué exclusivement de laitiers activés, donc sans clinker. Il a un impact carbone d'environ 150 kg éq. CO₂/m³, soit - 38 %, pour ce domaine d'emploi, par rapport au béton de base.

Ouvrage olympique	Village des athlètes
Porteurs / MOA	Vinci Immobilier
Entreprise	Vinci Construction
Autre intervenant	ECOCEM
Montant dotation (€ HT)	993 000
Volume (m ³)	18 584
Date réception	Février 2024



Performances

Cette innovation a permis de réduire l'impact carbone sur les ouvrages réalisés d'environ **42 %** par rapport à une solution en béton traditionnel.

18 584 m³



de béton très bas carbone

-42 %



d'impact carbone/
béton classique



2.6.A BÉTON EXEGY

Enjeux de développement

Dans le contexte actuel de recherche de réduction des Émissions de Gaz à Effet de Serre (Eges), notamment pour les constructions neuves avec la RE2020, les bétons bas carbone sont attendus par la filière construction.

Or, la notion de béton « bas carbone » ne fait pas encore l'objet d'une définition officielle s'appuyant sur un cadre normatif ou réglementaire. On considère qu'un « béton bas carbone » correspond à un béton qui, pour des performances équivalentes, génère des Eges inférieures à celles d'un béton de référence. Il n'y a pas de règle commune sur le béton de référence qui peut être un béton formulé avec un CEM I ou un béton couramment utilisé dans le bâtiment à base de CEM II.

En particulier, à date, l'absence d'une norme européenne harmonisée publiée au Journal officiel de l'Union européenne (JOUE) sur ce type de produit, n'impose pas réglementairement le marquage CE, mais les promoteurs de cette innovation ont toutefois souhaité engager une démarche d'Evaluation Technique Européenne (ETE) permettant l'apposition du marquage CE à titre volontaire.

Ce résultat constitue un premier pas de reconnaissance sur la composante produit des procédés auquel ce produit contribue et laisse augurer la volonté d'un développement à l'international.

Une stratégie d'élargissement des reconnaissances à l'ensemble des autres composantes formant procédé, est d'ores et déjà appréhendée et est en cours de calibration en fonction des différentes applications identifiées.

On souligne toutefois que si les performances de ces bétons commencent à être bien maîtrisées pour ce qui concerne les fonctions premières des ouvrages qu'ils constituent (notamment sur le plan structurel) la démonstration de leur capacité à accueillir tous les ouvrages de parachèvement courants (revêtement extérieurs, intérieurs, revêtements de sols, etc.) est encore souvent à apporter au cas par cas.



Enjeux de mise en œuvre

La mise en œuvre de bétons très bas carbone impose la prise en compte de sujétions spécifiques sur lesquelles les entreprises doivent être sensibilisées et formées sur le chantier.

Ces bétons se coulent dans des conditions classiques mais ils présentent des caractéristiques de prise et de durcissement très différentes. En effet, la prise du béton nécessite une température nominale se situant autour des 20°C. Les conditions de chantier réelles en région parisienne, avec des températures pouvant être inférieures à 5°C mais aussi supérieures à 30°C, demandent une adaptation des méthodes de travail et du matériel utilisé. Des solutions d'accompagnement thermique des bétons (bâches chauffantes) ont donc été nécessaires pour respecter le planning de la phase gros œuvre, ce qui n'est pas anodin d'un point de vue carbone compte tenu des consommations énergétiques engendrées.



Enjeux d'exploitation

La mise en œuvre de ces bétons sur un ouvrage n'impacte pas les besoins en maintenance et en entretien déjà connus pour des bétons traditionnels de même classe de résistance.



2.6.A BÉTON EXEGY

Répliquabilité

Cette innovation adopte une vision ambitieuse de répliquabilité qui repose de façon simple sur la capacité et la volonté de ses propriétaires de diffuser la solution. Sur le plan technique, elle présente d'ailleurs des présomptions élevées de garantie et de fiabilité. Sur le plan économique, le surcoût du béton très bas carbone pour un domaine d'emploi radiers est plutôt maîtrisé et donc intégrable dans des projets de construction ; au contraire du béton très bas carbone visant un domaine d'emploi planchers qui en l'état actuel de son développement reste onéreux.

De manière plus large, ce procédé s'inscrit dans une famille de procédés plus étendue dans laquelle d'autres bétons bas carbone ont des problématiques relativement similaires à résoudre.

La stratégie de reconnaissance adoptée à date est intéressante, elle semble toutefois ne pas être suffisante pour reconnaître en technique courante, les parties d'ouvrages qui utiliseraient ces nouveaux bétons. Il reste en effet à évaluer les deux autres composants du triptyque formant un procédé (rappel : 1 procédé = 1 produit + 1 conception + 1 mise en œuvre).

La voie a priori la plus naturelle en l'état pour compléter les besoins de reconnaissance, notamment sur les volets conception et mise en œuvre pourrait être la démarche de DTA (Document technique d'Application), stratégie effectivement envisagée par le porteur.

En vue d'un essaimage au-delà du strict périmètre des projets en maîtrise d'ouvrage Vinci, ce chemin en reconnaissances sera particulièrement stratégique.

De manière plus globale, le choix d'une solution béton bas carbone doit s'inscrire dans une réduction de l'empreinte carbone à l'échelle du bâtiment et s'intégrer dans une optimisation du dimensionnement de la structure et une rationalisation des ressources matériaux.

Le recours à ce type de béton bas carbone, en complément des matériaux biosourcés, doit ainsi permettre de réduire l'impact carbone de l'ouvrage tout en maîtrisant les risques liés à sa mise en œuvre. Cependant, la disponibilité à terme des matériaux constituant ces bétons bas carbone, en particulier les laitiers des hauts fourneaux, peut demeurer un frein à leur développement en masse.

Considérant que la réappropriation des savoirs-faires est peut-être plus stratégique que la ressource à proprement parler, être ainsi entrés dans une dynamique de reformulation des bétons peut néanmoins avoir aussi présenté l'intérêt de se réapproprier les sujets et initié à l'agilité nécessaire pour accueillir et développer d'autres compositions qui utiliseront d'autres liants et composants innovants de façon plus pérenne.



©SOLIDEO

2.6

BÉTONS TRÈS BAS CARBONE

B. BÉTON H-UKR



©Ville de Paris

Présentation

La solution du Béton H-UKR est basée sur l'utilisation du co-produit « laitier de haut fourneau » issu de l'industrie sidérurgique. Le système d'activation du ciment H-UKR permet d'utiliser ce co-produit sans aucun ajout de clinker dans sa formulation.

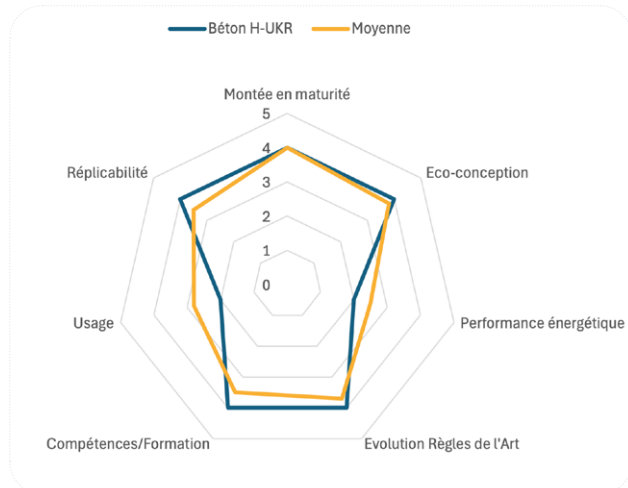
Il a un impact carbone d'environ 89 kg éq. CO₂/m³, inférieur de 60 % par rapport à un béton de base de type CEM I.

La mise en œuvre de ce béton sur l'ARENA 2 a été réalisée pour des voiles banchés (232 m³), un escalier préfabriqué (11 m³) et les installations de chantier (13,5 m³).

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Arena Porte de la Chapelle
Porteurs / MOA	Ville de Paris
Entreprise	Bouygues Bâtiment
Autre intervenant	Hoffmann Green Cement
Montant dotation (€ HT)	298 000
Volume (m ³)	257
Date réception	Janvier 2024



Performances

Cette innovation a permis de réduire l'impact carbone sur les ouvrages réalisés de **60 %** par rapport à une solution en béton traditionnel.

257 m³



de béton très bas carbone

-60 %



d'impact carbone



2.6.B BÉTON H-UKR

Enjeux de développement

La stratégie de reconnaissance de Hoffmann Green Cement (HGCT) semble particulièrement cohérente. Les évaluations et reconnaissances engagées étaient déjà au démarrage de l'opération particulièrement avancées et correspondaient globalement aux applications visées sur l'Arena Porte de la Chapelle.

Le CSTB accompagne en effet depuis 2017 HGCT en R&D et en évaluation, ce qui explique le dynamisme des reconnaissances obtenues. Les démarches cadres de ce type (ATEX de cas a), ETPM, PV de classement en réaction au feu, APL, etc.) sont censées faciliter la réalisation d'ouvrages et les besoins d'évaluation spécifiques à un projet via des avis de contrôleur technique et/ou des ATEX de cas b).

Le demandeur atteste néanmoins que les porosités positives a priori prévisibles entre les stratégies d'évaluation engagées et les besoins de justifications sur le projet de l'Arena PDC n'ont pas été rencontrées dans toute l'amplitude envisagée.

Malgré les reconnaissances déjà obtenues, le BET de la maîtrise d'œuvre et le contrôleur technique ont jugé nécessaire de demander pour l'opération davantage de justifications non encore disponibles conduisant à l'abandon de certains ouvrages avec cette technique.

Au moment de l'attribution de la dotation et lors du déroulé des études et du gros œuvre, les normes en vigueur définissant les types de béton (NF EN 206+A2/CN) faisaient uniquement référence aux bétons avec clinker. Le H-UKR étant un béton sans clinker, il n'y avait donc pas de référence normative pour en cadrer les usages. Seule une ATEX sur les escaliers préfabriqués avait été validé par le CSTB en 2021 et a pu être intégré dans les études structure et les fabrications pour l'escalier E3. Publiée en 2022, une ATEX de cas a) pour l'utilisation de ce type de béton pour des ouvrages simples de voiles/poteaux/poutres fut publiée mais les études structures du projet étaient déjà fiabilisées et aucune référence (hors projets expérimentaux de Bouygues) n'était disponible. Ceci a conduit à l'abandon de l'utilisation de cette technologie de béton pour des applications constructives plus larges.

Après trois années sous ATEX (B puis A), le retour d'expérience de la mise en œuvre du béton H-UKR sur plusieurs opérations a permis de déposer récemment deux dossiers d'Avis Technique dont :

- ATEc H-UKR – Fondations superficielles (radiers, semelles, longrines, casques de pieux) ;
- ATEc H-UKR – Superstructure (poteaux, poutres, voiles, dalles).

À la date de rédaction de ce rapport, les deux dossiers sont en cours d'instruction au sein de la Commission Prévention Produits (C2P) pour être reconnus en technique courante.

De son côté, l'ATEX de cas a) « H-UKR – Dallage » a été prolongée d'un an.

On rappelle au passage, que si les performances de ces bétons commencent à être bien maîtrisées pour les fonctions premières des ouvrages qu'ils constituent (notamment sur le plan structurel), la démonstration de leur capacité à accueillir tous les ouvrages de parachèvement courants (revêtement extérieurs, intérieurs, revêtements de sols, etc.) est encore souvent à apporter au cas par cas.



Enjeux de mise en œuvre

La mise en œuvre appelle des processus dédiés dont le respect est assuré par l'accompagnement technique d'HGCT, avec des sujétions assez impactantes vis-à-vis de la pratique des acteurs.

2.6.B BÉTON H-UKR

Outre l'importance de se référer avec grande attention aux contenus des référentiels spécifiques des reconnaissances de ces procédés originaux (avis technique, ATex, etc.), tant pour la composante produit, que pour celle du dimensionnement conception et celle de la mise en œuvre, il est notamment fait état de plusieurs contraintes comme l'allongement des temps de prise, les différences de teinte plus difficilement mesurables ou encore la nécessité d'un lavage systématique de la centrale et/ou de la benne ayant été en contact avec du HUKR puisque les réactions potentielles avec d'autres ciments ne sont pas encore totalement connues.

La coexistence de 2 types de béton, avec et sans clinker, est considérée comme assez fastidieuse à gérer. En phase transitoire, si toutefois une substitution effective pouvait avoir effectivement lieu un jour, cette coexistence semble être génératrice de redondances et d'antagonismes qui perturbent les organisations et ne permettent pas de respecter les cadences de chantier conventionnelles.



Enjeux d'exploitation

Ce béton n'impacte pas les besoins en maintenance et en entretien déjà connus pour des bétons traditionnels de même classe de résistance.



Répliquabilité

Sur cette opération, de nombreux ouvrages envisagés au départ et réalisés habituellement avec des bétons traditionnels, n'ont pu finalement être mis en œuvre avec cette technologie innovante.

Malgré une stratégie de développement construite et pertinente portée par l'industriel, tous les intervenants sur l'opération (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, contrôleur technique) se sont en effet âprement frottés aux aspects concrets de la mise en œuvre d'une telle solution innovante sur un programme de construction à forts enjeux.

Cette expérimentation par la mise en pratique a toutefois permis de consolider les acquis précédents tout en soulevant quelques freins techniques encore subsistants au bon développement de ce type de béton très bas carbone.

Ainsi, le retour d'expérience de la mise en œuvre du H-UKR sur plusieurs opérations dont l'Arena a permis à l'entreprise de déposer deux dossiers d'Avis Technique pour les fondations superficielles (radiers, semelles, longrines, casques de pieux) et les superstructures (poteaux, poutres, voiles, dalles).

Le surcoût constaté sur chantier a également été depuis cette opération fortement réduit rendant parfaitement possible la répliquabilité de cette innovation, qui d'ailleurs s'impose petit à petit dans les nouvelles pratiques des entreprises de gros-œuvre.

Enfin, de manière plus large concernant les composants des bétons très bas carbone, des questionnements subsistent encore quant à la sécurisation des approvisionnements en laitiers et en activateurs carbo-silicates. Le rapport du CERIB « RESSOURCES MINÉRALES POUR LES LIANTS DES BÉTONS DÉCARBONÉS : DISPONIBILITÉ, PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION ET INNOVATIONS » de septembre 2022 semble toutefois donner une trajectoire compatible avec les évolutions des besoins et des développements de ces bétons innovants, qui a priori, n'en seraient qu'aux prémices.

Considérant que la réappropriation des savoirs-faires est peut-être plus stratégique que la ressource à proprement parler, être ainsi entré dans une dynamique de reformulation des bétons peut avoir aussi présenté l'intérêt de se réapproprier les sujets. Cela permet également d'initier des réflexions pour développer d'autres compositions qui utiliseront d'autres liants et composants innovants de façon plus pérenne.

Il conviendra de suivre avec grande attention l'évolution de cette technologie et en particulier le sujet de la vérification de l'aptitude à l'emploi de tous les ouvrages de parachèvement qui viennent s'appliquer sur ces types de béton innovant.

2.7 DOUCHES ZÉRO RESSAUT SUR PLANCHER BOIS

Objectifs SOLIDEO



@SCCV QUINCONCES

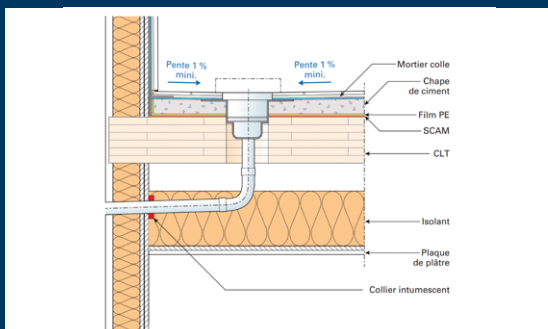
Présentation

Afin d'anticiper l'exigence réglementaire d'équiper les zones de douche accessibles d'accès sans ressaut, la présente innovation a consisté en la réalisation et l'évaluation via une procédure d'ATEX de cas b), de douches sans ressaut sur plancher bois avec finitions en sols carrelés. Cette solution constructive a été adoptée pour 6 bâtiments du secteur D du Village des athlètes correspondant au total à 94 salles de bain et d'eau traitées (soit 679 m²). Plusieurs configurations ont été prévues en fonction des plans architectes.

À la croisée des ambitions d'accessibilité universelle et d'excellence environnementale portées toutes deux par la SOLIDEO, de nombreux échanges techniques ont été nécessaires pour parvenir à la réalisation de douches sans ressaut sur un plancher bois.

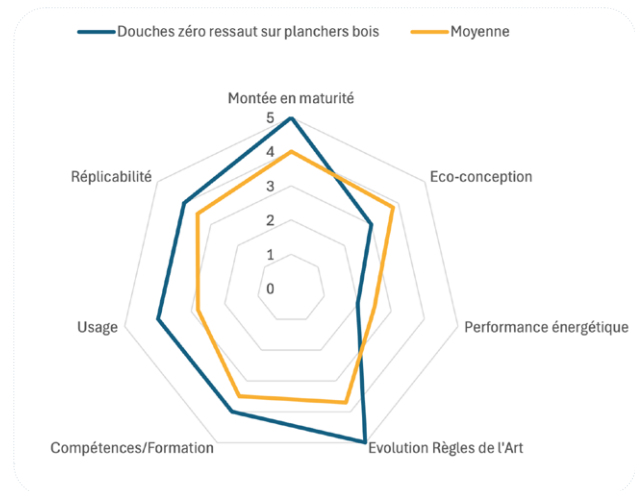
Le travail mené a d'ailleurs permis en même temps d'amorcer un travail de fond cristallisé au sein d'un guide produit par le CSTB et la SOLIDEO avec de nombreux partenaires, à l'instar de ce qui a été produit sur les procédés de façade sur supports bois (cf. § 2.4), permettant ainsi de favoriser le développement sécurisé de l'offre industrielle sur ce type de support :

[Guide douche accessible zéro ressaut CSTB SOLIDEO France Bois 2024 | CODIFAB](#)



Exemple de configuration issue du guide

Ouvrage olympique	Village des athlètes
Porteurs	SCCV Quinconces - SOLIDEO - CSTB
MOA	Icade Promotion – REI Habitat
Entreprises	Spie Batignolles – GCC
Montant dotation (€ HT)	245 528
Date réception	Février 2024



Performances

Pour répondre à l'objectif de réduction du bilan carbone du Village des athlètes les maîtres d'ouvrage ont eu recours à la mise en œuvre de planchers bois sur certains de leurs bâtiments. Ce choix permet de réduire l'impact carbone de 60 % par rapport à un plancher béton.

Dans ce contexte, le travail mené visait à apporter une réponse technique à l'obligation réglementaire, avec la mise en œuvre d'une douche dite « à l'italienne » sur plancher bois au regard des enjeux de sinistralité ultérieure potentielle (étanchéité, fuites...) et de visitabilité mais aussi des contraintes acoustiques et de sécurité incendie.

En particulier sur l'acoustique, les mesures réalisées in-situ révèlent que les performances sont équivalentes voire meilleures encore par rapport aux autres surfaces courantes traitées en plancher chauffant sur résilient et également sur support bois, notamment sur la plage de fréquence 500-2000Hz. Cette bonne performance est probablement due à une épaisseur plus conséquente de chape dans les salles de bain ainsi traitées en douche zéro-ressaut.

1



guide collectif
répliquable

679 m²



de planchers bois
traités

-60 %



d'impact carbone



2.7 DOUCHES ZÉRO RESSAUT SUR PLANCHER BOIS

Enjeux de développement

L'arrêté du 11 septembre 2020 est venu imposer la disposition suivante : "Dans les logements situés en rez-de-chaussée ou en étages desservis par ascenseur, au moins une salle d'eau, située au niveau d'accès du logement, est équipée d'une zone de douche accessible dont l'accès se fait sans ressaut ou d'une baignoire". Cette obligation est entrée en vigueur pour tous les PC déposés depuis le 1er janvier 2021, c'est-à-dire postérieurement au dépôt du PC de la SCCV Quinconces.

Cependant, bien que non exigible sur le plan réglementaire, la SOLIDEO d'une part, via son engagement d'accessibilité universelle, et ICADE d'autre part, via son implication constante dans l'égalité de tous vis-à-vis de l'accessibilité et de l'innovation constructive ont souhaité aller au-delà de ces contingences strictement calendaires pour se saisir du traitement de la question à l'échelle du projet et avec une vision d'essaimage.

Car, si l'offre industrielle compte environ une dizaine de procédés reconnus en technique courante via la procédure d'Avis Technique ou d'ATEx, il n'en n'existait aucun sur supports bois et il n'existait même aucun référentiel pour mener de telles évaluations sur de tels supports.

Dans le cadre du projet, les verrous levés ont été notamment les traitements des points faibles acoustiques, de ceux liés à la sécurité incendie et des infiltrations d'eau liquide.

Vis-à-vis des risques de condensation dans la masse du complexe en cas de vacance prolongée (avec coupure électrique empêchant l'activation des dispositifs de mise hors-gel), des investigations ont été menées, via une analyse avancée et combinée de type Simulation Thermique Dynamique et étude de Transferts Couplés Chaleur-humidité, et ont conclu à la non nécessité de ventilation des plenums et à la non mise en œuvre de pare-vapeur dans les plafonds sous ces locaux.

Facilitées par la rédaction du guide précité, des évaluations et reconnaissances, dont une ATEx de cas b et une Appréciation de Laboratoire, ont été obtenues pour l'emploi de l'innovation sur le projet visé.

Formulée favorablement, l'ATEx de cas a) SAINT GOBAIN WEBER - RACCORDS & PLASTIQUES NICOLL - WOODEUM 3053_v2 a elle-aussi bénéficié de ces résultats.



Enjeux de mise en œuvre

Ces ouvrages complexes appellent à une gestion élaborée de toutes les interfaces. Une douche témoin a ainsi été réalisée à ce sujet avec validation du contrôleur technique in situ.

À titre d'exemple, pour garantir la bonne concentricité des percements indispensables à la bonne étanchéité des ouvrages en même temps qu'à leur bon découplage acoustique, les percements de gros diamètres devant accueillir les siphons n'ont pas pu être réalisés en usine, mais bien in-situ par le charpentier et qu'après implantation précise des cloisons en interface des ouvrages de douches, au moyen d'un outillage s'apparentant à une carotteuse.

Par ailleurs, nonobstant toutes les dispositions courantes, tous les appareils sanitaires se trouvant dans les volumes susceptibles d'être sujets à des rejaillissements d'eau doivent être de type suspendu.

Enfin, des configurations complexes de salles de bains conduisent à des formes de pentes complexes qui doivent véritablement diriger les écoulements d'eau vers les exutoires prévus. La complexité de ces formes et les faibles pentes en jeu doivent donc conduire les concepteurs à une forme de rationalité en adoptant de façon standard des formes simples pour une réalisation fiable.



2.7 DOUCHES ZÉRO RESSAUT SUR PLANCHER BOIS

Enjeux d'exploitation

La majorité des fuites observées sur ce type d'ouvrage est constatée au droit du siphon d'évacuation.

La stratégie de détectabilité ultime de fuites éventuelles à cet endroit repose sur la détection par l'occupant du dessous de la fuite chez son voisin du dessus. En cas de dégâts des eaux, les mesures réparatoires prévues sont donc le remplacement soigné des ouvrages en plaques de plâtre inférieurs qui, on le rappelle, assurent, outre un support pour la décoration, une fonction acoustique et une fonction d'écran de protection au feu.

Tant à la mise en œuvre qu'à l'exploitation, il convient d'être très attentif et précautionneux vis à vis de ce type de technologie.

Le cas de l'exploitation par un maître d'ouvrage unique permettrait peut-être une supervision suffisante avec des opérations de maintenance anticipées, notamment sur des parties d'ouvrages pouvant relever du consommable comme des joints pompes.

En cas de copropriété, il est indispensable qu'une sensibilisation dédiée soit assurée et répétée dans le temps long par le Syndic de gestion et que des procédures soient écrites et portées auprès de toutes les générations d'occupants qui se succèdent.



Répliquabilité

Une forme de reproductibilité au-delà de la présente action est massivement possible au niveau national via la mise en application de l'ouvrage : [Guides douche accessible zéro ressaut CSTB SOLIDEO France Bois 2024 | CODIFAB](#).

On peut d'ailleurs également rappeler que les travaux engagés pour la conception de ce guide sur support bois ont précédé et bénéficié à la révision du guide de 2012 sur support béton qui ne prévoyait lui non plus, l'accessibilité telle que l'arrêté du 11 septembre 2020 l'a finalement imposée.

Au niveau économique, cette innovation présente un surcoût parfaitement abordable si celle-ci est étudiée en amont et donc intégrée à l'objectif global du projet.

La répliquabilité de cette innovation doit aussi nécessairement passer par un changement profond dans les pratiques de conception et d'organisation des salles d'eau d'une part mais aussi du bâtiment dans son ensemble d'autre part. Comme proposé par les porteurs, une standardisation des configurations de salles de bain pourrait permettre de faciliter l'intervention des entreprises sur le chantier. Enfin, les stratégies d'entretien-maintenance doivent encore être mises à niveau.



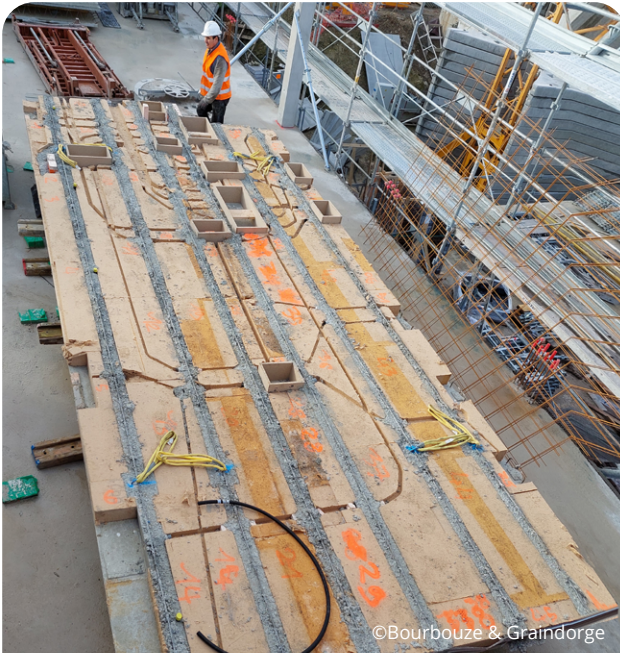
@SCCV QUINCONCES

Objectifs SOLIDEO



2.8

DALLES BOIS BÉTON



©Bourbouze & Graindorge

Présentation

L'innovation consiste en la mise en œuvre de planchers préfabriqués « bois béton » pour les planchers intermédiaires à la place de planchers béton sur le bâtiment A3.3 du Village des médias, avec au total 2 146 m² de planchers sur 84 logements.

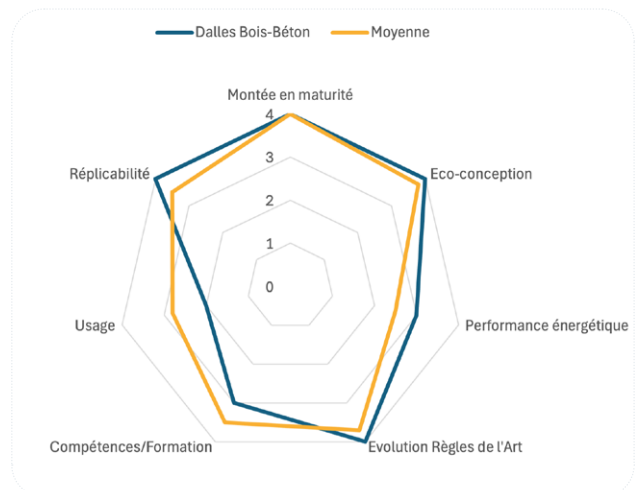
Les planchers de cette innovation dits « bois béton » ne sont pas à confondre avec des « planchers mixtes bois et béton » couverts par les Recommandations Professionnelles RAGE et par des ATEx/Avis-techniques/DTA qui sont des procédés structurels composites pour lesquels le matériau bois est structural et connecté mécaniquement à la dalle béton par des connecteurs spécifiques.

Basé sur une prédalle en béton préfabriquée, ce plancher intègre ainsi de façon manufacturée, des pains de fibre de bois qui viennent se substituer au béton à hauteur de 40 % en volume.

L'intérêt de l'adoption d'une telle substitution est multiple : on remplace une dalle béton, c'est à dire un matériau lourd (2 500 kg/m³) et carboné, par un matériau léger (130 kg/m³) et assimilable à un produit ayant séquestré du CO₂.

L'innovation a ainsi permis de répondre à l'objectif d'obtention du niveau C2 du label E+C- sur le bâtiment A3.3.

Ouvrage olympique	Village des médias
Porteurs / MOA	SAS PAYSAGES constituée de SOGEPROM ET D&B Immobilier
Entreprises	DEMATHIEU-BARD
Autre intervenant	A2C Préfa.
Montant dotation (€ HT)	256 062
Date réception	Mars 2024



Performances

L'objectif principal de cette innovation est de viser une application en logement collectif d'un procédé déjà développé pour d'autres usages, et cela sans ajout d'un faux plafond et avec incorporation en usine de réservation pour le passage des réseaux et pieuvres électriques.

Les performances visées sont principalement de réduire l'impact carbone et le poids par rapport à une dalle béton pleine standard :

- réduction des émissions de CO₂ : - 28 kg CO₂eq./m², soit environ - **40 %** par rapport à une dalle béton standard de 20 cm en béton armé CEM II
- diminution de béton mis en œuvre : - **40 %**
- taux de biosourcés : **12 kg/m²**

2 146 m²

de planchers

-40 %

d'impact carbone/
dalle béton
traditionnelle12 kg/m²

de biosourcés



2.8 DALLES BOIS BÉTON

Enjeux de développement

Le procédé était déjà visé par une ATEx de cas a) au moment de la demande de subvention mais dont le domaine d'emploi ne couvrait pas l'incorporation de réseaux au plancher.

Depuis, notamment grâce à l'expérimentation du procédé sur le secteur Aire des vents du Village des médias, ce procédé est dorénavant visé par un Document Technique d'Application (DTA) figurant sur la liste verte de la C2P couvrant cet emploi et lui permettant ainsi d'être reconnu en technique courante.

Le DTA donne notamment les performances acoustiques issues d'essais en laboratoire. Ces valeurs orientent à minima vers une dalle bois béton de 230 mm avec l'imposition d'une chape sur résilient. L'éventuelle dégradation des performances acoustiques liées à l'incorporation des réseaux ici visée pourrait toutefois conduire à un besoin de renforcement de la composition.

Les performances de résistance au feu du procédé sont, de leur côté, couvertes par une Appréciation de Laboratoire. On note toutefois que cette appréciation de laboratoire ne vise pas a priori les sujétions de percements et de cheminements des réseaux incorporés.



Enjeux de mise en œuvre

Toute préfabrication appelle une définition anticipée de toutes les sujétions qui seront influencées par l'industrialisation d'un procédé.

Ainsi, la réservation des réseaux faite en usine nécessite un travail en amont, une coordination entre les différents corps d'état concernés, en particulier les lots techniques, et une précision des plans fournis plus anticipée que sur des opérations « classiques ». Cette nécessaire coordination est d'ailleurs en partie retranscrite dans le DTA qui impose une validation des plans par les différentes entreprises et BET.

En plus de l'assistance technique prévue par le fournisseur sur le chantier, il est souhaitable que les compagnons soient systématiquement formés sur site au regard des interfaces entre corps d'état.



Enjeux d'exploitation

Le procédé ne nécessite aucun entretien particulier. Le DTA du procédé précise d'ailleurs que *“Dans le domaine d'emploi accepté, la durabilité est équivalente à celle des planchers traditionnels en béton armé utilisés dans des conditions comparables.”*



Répliquabilité

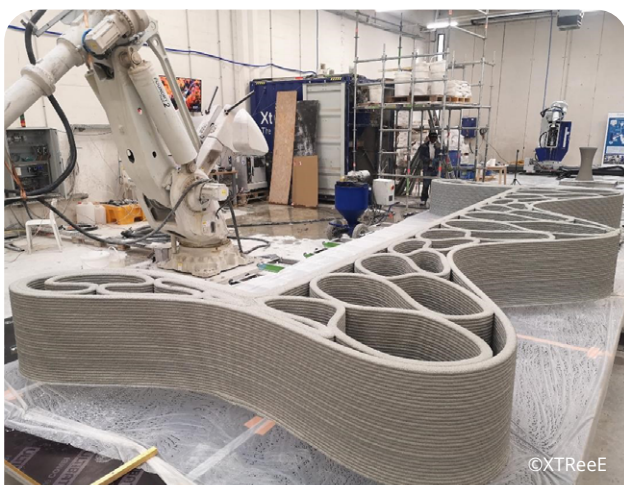
Sur le plan technique, il y a une répliquabilité directe suite à la parution du DTA, qui a été possible grâce à la mise en œuvre du procédé sur le Village des médias.

Au niveau économique, le surcoût pour cette innovation reste à date important, entre 30 et 50 % par rapport à un plancher béton et entre 20 et 40 % par rapport à un plancher bois.

Enfin, opérationnellement, la bonne répliquabilité reste toutefois conditionnée à la mise en place des formations et sensibilisations de l'ensemble des acteurs de la conception à la mise en œuvre sur le chantier. En particulier en cas de non respect strict des plans d'exécution des réseaux qui induirait une réduction des zones prévues initialement en fibre de bois, l'impact carbone serait réduit et le confort acoustique dégradé.

2.9 TABLIER EN BÉTON 3D

Objectifs SOLIDEO



Présentation

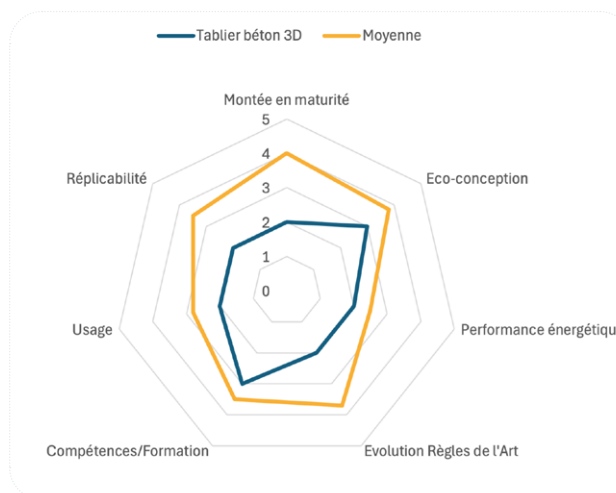
Dans le but d'imprimer en 3D le tablier d'une passerelle de 40 m de portée en béton structurel, le projet proposait de lancer des recherches afin d'améliorer ses propriétés mécaniques, le fluage du béton et la durabilité du matériau (vis à vis de l'eau notamment).

L'objectif principal est de rendre l'impression 3D de béton structurel sans combinaison avec des matériaux bétons dits "classiques", et ainsi être en mesure d'optimiser une structure (ici le tablier de la passerelle) grâce à un continuum numérique, de la conception à la fabrication.

Plusieurs étapes de validation accompagnaient l'octroi de la dotation au porteur. La réalisation des prototypes et des essais associés n'a pas été concluante et a mené à l'abandon de cette solution sur l'opération. Pour autant, cette phase de R&D aura été instructive pour identifier les freins à la mise en oeuvre de l'innovation sur l'opération.

Ouvrage olympique	Passerelle Pierre Larousse
Porteurs / MOA	Plaine Commune
MOE	Lavigne & Cheron - Quadric
Entreprise	Freyssinet
Autres intervenants	XTReeE – Lafarge Holcim
Montant dotation (€ HT)	489 850**
Date réception	Innovation abandonnée en fin d'études de conception

**montant arrêté à la fin des études R&D.



Performances

Cette innovation devait permettre une réduction de l'empreinte carbone de la construction de la passerelle en optimisant et réduisant le volume de béton nécessaire d'environ 66 %. Le volume de déchets produits sur site est également réduit avec les éléments imprimés qui sont réalisés hors site avant d'être livrés sur le chantier.

Cette innovation permettait aussi une conception architecturale libérée de coffrages réglés.

NB : le béton utilisé pour l'impression n'était pas bas carbone au contraire d'autres prestations (fondations, volées des escaliers...). Les bétons très bas carbone ne semblent de toute façon pas encore assez matures pour ce type de projet et leur utilisation rajouterait des contraintes supplémentaires.

-66 %



de volume de béton

3 ÉCONOMIE CIRCULAIRE



3.1

SIÈGES DE GRADIN EN PLASTIQUE RECYCLÉ

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Centre Aquatique Olympique	Arena Porte de la Chapelle
Porteur / MOA	Métropole du Grand Paris - SIMBALA	Ville de Paris
Entreprises	Bouygues Bâtiment Ile de France	Bouygues Construction
Autres intervenants	SAS MINIMUM - MASTER INDUSTRIE	
Montant dotation (€ HT)	200 000	318 000
Date réception	Mars 2024	Janvier 2024

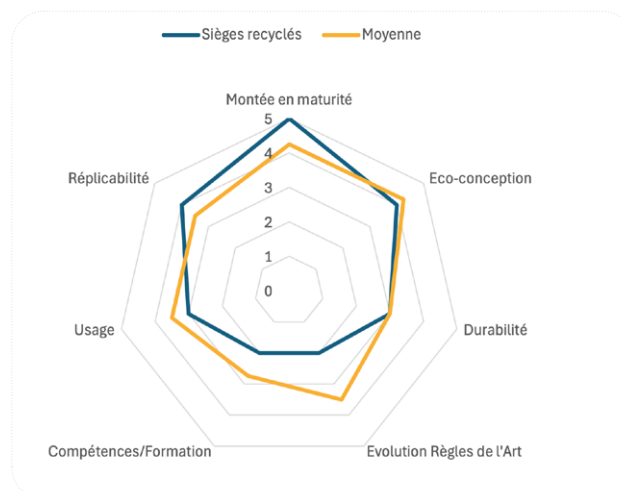


Présentation

Le CAO et l'ARENA Porte de la Chapelle ont bénéficié d'une innovation identique pour les équipements de sièges. Fabriqués en Seine St Denis par l'entreprise SAS MINIMUM, ces derniers sont réalisés sur-mesure à partir de plastique recyclé et assemblés par MASTER INDUSTRIE.

Le plastique est issu de différents collecteurs et centre de tri de déchets plastique et de bouchons de bouteilles de shampoing collectés auprès de partenaires.

Au total, près de **11 000 sièges** (7987 à l'ARENA, 2 500 au CAO) auront été créés de cette manière, permettant le recyclage de plus de 83 tonnes de déchets plastiques.



Performances

Au total, ces projets ont permis de :

- valoriser 83 tonnes de déchets plastiques ;
- réduire de 61 tonnes les émissions de CO₂.

83 t



de déchets plastiques recyclés

61 t



de CO₂ économisées



3.1 SIÈGES DE GRADIN EN PLASTIQUE RECYCLÉ

Enjeux de développement et perspectives

Au dépôt du dossier en 2020, le procédé n'était encore qu'à la validation de ses composantes techniques au regard des enjeux de sécurité incendie, de durabilité et de pérennité.

Pour la mise en œuvre de ces sièges sur les ouvrages des JOP, de nombreuses évaluations ont donc dû être réalisées :

- des tests de réaction au feu des assises ont été validés par un PV, en date du 5 juillet 2021, réalisé par le CSTB et valable 5 ans. Il classe le matériau « le Pavé + » constituant le siège en catégorie M3 qui est le minimum à respecter pour des sièges installés dans un ERP ;
- la résistance et la durabilité des sièges spécifiquement installés sur les ouvrages ont été testées et jugées conformes à la norme NF EN 12727 «Meubles - Sièges en rangées - Méthodes d'essai et exigences pour la résistance et la durabilité». Dans ce cadre, une notice de montage a également été remise à l'installateur pour préciser les points de fixation et les efforts auxquels seront soumis les supports ;
- des tests ont été réalisés pour contrôler la réaction des assises en plastique recyclé à l'exposition de lumière artificielle et à une atmosphère de condensation d'eau chlorée, avec des résultats satisfaisants quant à la non-altération dans le temps ;
- des essais ont été menés sur le dosage des émissions de polluants volatils (COV, aldéhydes) du procédé permettant de le classer en A+. Ce test a été réalisé selon le référentiel NF EN ISO 16000-9.

La mise en œuvre de 11 000 sièges au total sur 2 ouvrages olympiques et la validation de leurs performances de tenues au feu et mécanique ont permis d'apporter toutes les garanties de faisabilité technique et réglementaire, et de durabilité. Cela devrait leur permettre de se déployer plus largement sur tout le territoire national voire à l'international (même si un de ses intérêts repose sur la collecte locale d'une partie des plastiques).

Cela doit passer par un partenariat pérenne entre SAS Minimum et Master Industrie (ou un autre industriel le cas échéant) ; ce dernier ayant eu un rôle essentiel dans la réussite du projet étant en charge des tests de conformité et de l'installation sur les sites olympiques.

Il faut toutefois noter que certaines contraintes organisationnelles (partenariat avec un industriel), voire économiques, semblent avoir mené SAS Minimum à ne pas reproduire à date l'expérience sur d'autres ouvrages et à se concentrer sur d'autres modèles de mobilier qui sont soumis à moins de contraintes (mécaniques, tenues au feu...) : plans de travail, étagères, stèles, chaises, tables basses, etc.



©SOLIDEO-Camille Pinot

3.2

BÂTIMENT CYCLE



Présentation

Le bâtiment « Cycle » se compose de 26 logements et se situe au cœur du secteur D du Village des athlètes.

L'innovation mise en œuvre dans ce bâtiment porte sur :

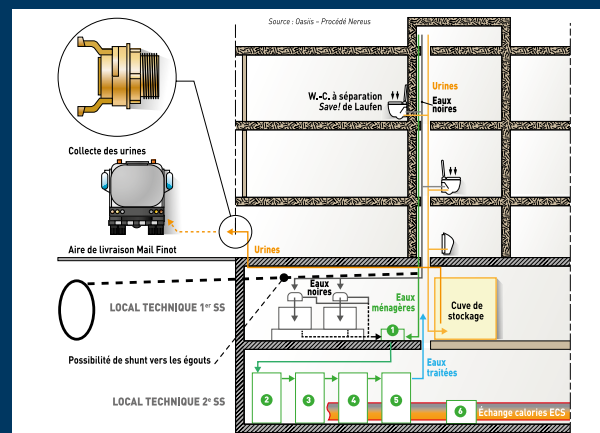
- le recyclage de 100 % des eaux usées. Pour atteindre cet objectif, le système combine trois étages de traitement : un traitement biologique amont, un traitement par nanofiltration dynamique par disques céramiques suivant une technologie unique mise au point par la start-up NEREUS et un traitement par osmose inverse. L'eau recyclée sera utilisée pour les WC, l'arrosage des espaces verts, l'alimentation des lave-linges et le nettoyage des sols extérieurs ;
- le recyclage des urines, qui repose sur le procédé mis au point par la start-up TOOPI Organics, comme bio stimulant agricole ;
- le recyclage des matières fécales en amendements agricoles ;
- la valorisation de l'ensemble des biodéchets en compost.

Objectifs SOLIDEO

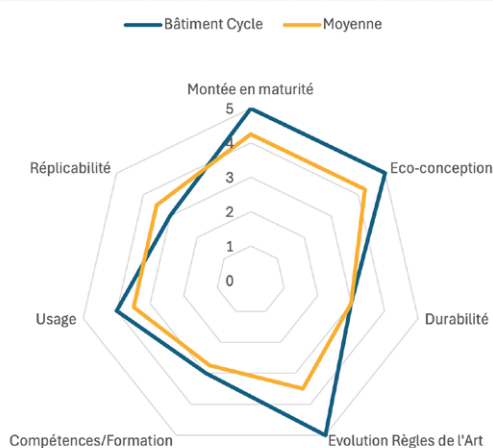


Ouvrage olympique	Village des athlètes
Porteurs	SCCV QUINCONCES
MOE	Atelier Pascal Gontier, OASIIS
Entreprises	GCC, TOOPI Organics
Montant dotation (€ HT)	2 214 551
Date réception	2026

Si la livraison du bâtiment a été effectuée fin 2023, l'innovation du projet sera mise en service à partir de l'arrivée des premiers habitants. En considérant une phase de rodage, l'activation complète du système est prévue pour début 2026.



Source : OASIIS



Performances

Le bâtiment vise le recyclage de la quasi-totalité de ses eaux usées (eaux noires et eaux grises) permettant d'économiser **60 %** de sa consommation d'eau potable, tout en récupérant leurs calories pour préchauffer l'eau chaude sanitaire.

60 %



d'eau potable économisée

100 %



de valorisation des urines, matières fécales et biodéchets



3.2 BÂTIMENT CYCLE

Enjeux de développement

Chaque innovation prise individuellement était à un niveau de maturité plutôt avancé avec notamment un marquage CE leur permettant d'être commercialisé sur le territoire de l'Union Européenne.

Mais si on raisonne à l'échelle du bâtiment, l'ensemble du système était moins avancé avec des enjeux réglementaires, sanitaires et techniques mais aussi de coordination entre les différents procédés et de valorisation des débouchés.

Dans le cadre du projet, plusieurs réunions de travail ont donc été organisées avec l'Agence Régionale de santé d'Ile de France et une demande officielle de dérogation pour la réutilisation des eaux grises a été faite le 9 mai 2023.

Deux arrêtés préfectoraux en date du 8 décembre 2023 spécifiques au bâtiment sont venus valider cette demande d'une part pour l'alimentation des WC, l'arrosage des espaces vert et le nettoyage des espaces extérieurs, et d'autre part pour l'alimentation des lave-linges.

Un certain nombre d'exigences y sont indiquées concernant la conception de l'installation (disconnexion eau potable, identification réseaux, stockage) et son suivi dans le temps.

Les échanges menés avec l'ARS, la DGS et France Expérimentation sur le bâtiment cycle ont d'ailleurs incité les pouvoirs publics à réfléchir à une évolution réglementaire afin d'étendre les usages des eaux grises : les usages domestiques des eaux impropres à la consommation humaine, dites EICH intégrant notamment les eaux de pluie et les eaux grises, sont dorénavant réglementés par un décret et un arrêté du 12 juillet 2024. Un cadre expérimental a également été défini pour la réutilisation des eaux issues des cuisines et l'alimentation des lave-linges, pour l'instant non encore autorisées réglementairement.

Pour les installations de gestion des eaux noires et de lixiviat des composteurs, elles ne relèvent pas d'autorisations ou de dérogations prévues par la loi. Un dossier a donc été déposé auprès du dispositif France Expérimentation pour faire valider ces systèmes et mettre en place un protocole d'expérimentation.



Enjeux de mise en œuvre

Si les différents systèmes fonctionnent de manière plus ou moins indépendante par rapport aux autres équipements techniques, des interactions sont nécessaires avec les autres lots, en particulier les lots techniques plomberie et ventilation.

En pratique sur l'opération, l'entreprise générale GCC s'est entourée d'entreprises pour les lots techniques (plomberie, ventilation, ECS...) qui se sont notamment occupées des raccordements divers de réseaux. Les start-ups Nereus et Toopi Organics étaient elles sous-traitantes de GCC.

Dans ce cadre, il était important d'organiser des réunions d'interfaces entre GCC, les lots techniques, les start-ups et la maîtrise d'œuvre, représentée en phase EXE par OASIIS sur ces sujets. Les limites de prestation doivent par ailleurs être bien définies dans les marchés passés avec les différents intervenants.





3.2 BÂTIMENT CYCLE

Enjeux d'exploitation

Pour le recyclage des eaux usées et des urines, une démarche de suivi et d'instrumentation pour attester les performances des démonstrateurs est à mettre en place sur une durée minimale de 2 ans. Cela doit permettre notamment de vérifier la qualité d'eau en sortie du traitement, d'évaluer les bilans énergétique et matière (taux de recyclage des eaux usées et des urines, quantité de boues générées et recyclées). En particulier, les arrêtés préfectoraux imposent la réalisation d'analyses par un laboratoire agréé COFRAC avant et après mise en service : une analyse mensuelle pendant 1 an puis 2 analyses par an. Des auto-contrôles sont également requis une fois par semaine par une personne formée. Enfin, l'inspection et l'entretien sont obligatoires 2 fois par an.

Pour assurer le bon fonctionnement de ces installations, CDC Habitat doit contractualiser l'exploitation avec les entreprises afin de prévoir notamment un passage régulier pour entretenir et nettoyer les installations.

Un système de monitoring avec compteur d'énergie communicant permettra par ailleurs de suivre l'installation de chaleur sur les eaux usées par pompe à chaleur et de valider ses performances.

À noter qu'en cas de dysfonctionnement, il y a la possibilité de raccorder directement les descentes des effluents (urines/ matières fécales/eaux usées), sans passer par les unités de traitement, sur une canalisation eaux usées gravitaire vers le tout-à-l'égout.

Au niveau des usagers, la mise en place d'une démarche appelée Ecolab est envisagée au RdC du bâtiment pour promouvoir les innovations, co-construire le projet social de proximité, développer des activités rémunératrices (services et vente matières produites), assurer des formations pour l'exploitation des systèmes du bâtiment cycle et sensibiliser les habitants.

À ce stade le modèle économique de l'exploitation des équipements et du fonctionnement de l'Ecolab n'est pas finalisé et est attendu pour la réception des installations en 2026.



Répliquabilité

La mise en œuvre de ces démonstrateurs permet d'expérimenter à petite échelle des systèmes de traitement des eaux grises/noires et des biodéchets pour une réutilisation directement dans le bâtiment mais aussi localement (espaces verts du quartier).

Une expérimentation réussie de ce(s) système(s) sur cet ouvrage devrait permettre d'avoir suffisamment de retours d'expériences pour développer dans un futur proche, au regard de l'enjeu prioritaire de gestion durable de l'eau, ce type d'innovation à plus grande échelle, avec une maîtrise des risques sanitaires et des coûts globaux compétitifs.

Cela devra toutefois sûrement passer par des nouveaux modèles économiques et fiscaux à trouver : baisse de la taxe d'ordures ménagères et de la redevance d'assainissement, mise en place de filières locales de valorisation de biodéchets et des boues issues des eaux noires...



3.3

CLOISONS EN BRIQUES DE TERRE CRUE



Présentation

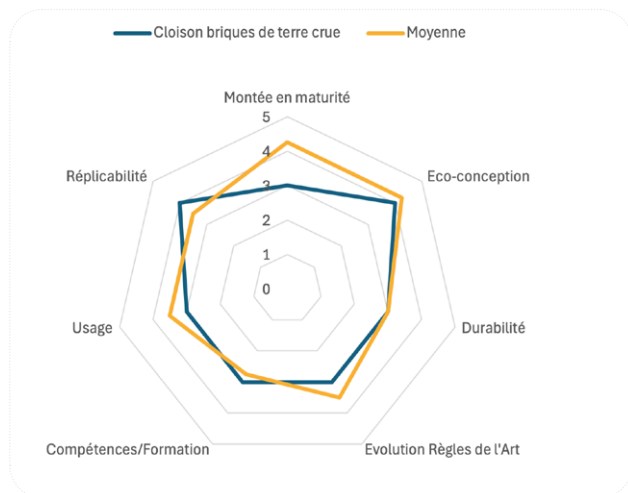
Il s'agit de la construction de 213 m² de cloisons intérieures non porteuses avec des briques de terre crue comprimée (BTC), non stabilisées (sans ajout de liant minéral), devant respecter une exigence en termes de résistance coupe-feu d'1h.

Ces BTC ont été fabriquées avec 70 % de déblais des chantiers du Grand Paris Express.

Au final, 84 m linéaires ont été montés au RDC sur une hauteur de 2,20 m dans le déambuloire du Hall grand public.



Ouvrage olympique	Arena Porte de la Chapelle
Porteur / MOA	Ville de Paris
Entreprises	Bouygues Bâtiment Ile de France – SAMPIERI
Autres intervenants	Cycle Terre – Atelier Aïno
Montant dotation (€ HT)	284 000
Date réception	Janvier 2024



Performances

L'utilisation des terres d'excavation permet :

- d'utiliser une ressource géosourcée locale et recyclée dans une démarche d'économie circulaire ;
- de diminuer ainsi l'impact carbone des cloisons concernées et donc du bilan global du projet ;
- de permettre le confort hygrothermique, acoustique et sanitaire des usagers (forte inertie et pouvoir de régulation de l'humidité, atténuation de la transmission de sons, aucune émission de COV).

213 m²



de cloisons en terre crue

CF 1H





3.3 CLOISONS EN BRIQUES DE TERRE CRUE

Enjeux de développement

Le projet a bénéficié d'une ATEx de cas a) déposée par la SCIC Cycle Terre, qui était valide au moment de l'opération. Cette ATEx visait :

- des cloisons séparatives ou distributives en simple parois, des cloisons doublées par un procédé traditionnel en plaques de plâtre et des cloisons doubles ;
- pour toute typologie de bâtiment, dont les ERP, avec une limitation de hauteur de 2.60 m et une longueur entre raidisseurs de 3.5 m ;
- une épaisseur minimale de 9,5 cm.

En complément de l'obtention de cette ATEx et au regard de la localisation des cloisons dans le hall, des essais de résistance au feu ont été menés et conformément à l'arrêté du 22/03/2004 modifié le 14/03/2011, une appréciation de laboratoire est venue attester le classement EI30 pour des briques de 15 cm d'épaisseur.

Cependant, suite à des modifications en cours de chantier qui dérogeaient aux prescriptions de l'ATEx et au PV initial de classement au feu, un avis de chantier complémentaire est venu cadrer la bonne mise en œuvre de ce procédé et attester de ses performances de résistance au feu EI60. Ces modifications ont concerné :

- l'augmentation de l'épaisseur du mur en BTC, passant de 15 à 22 cm ;
- la diminution des épaisseurs de joint creux sur les pourtours ;
- la réalisation de traitements spécifiques au niveau des joints de dilatation ;
- l'ajout d'un mastic non coupe-feu d'un côté de la BTC pour améliorer le côté esthétique ;
- l'ajout de contre cloison sur les locaux du RDC pour assurer le coupe-feu 1H.

Or, si l'appréciation de laboratoire menée et prenant la forme d'un avis de chantier était bien indispensable pour attester règlementairement des performances en matière de résistance au feu pour cette construction particulière (article 14 de l'arrêté du 22/03/2004 mod 11/03/2011), cette seule démarche n'atteste pas en elle-même de l'atteinte des autres propriétés. Ces dernières doivent en effet être justifiées sur les tous autres critères d'aptitude à l'emploi qui n'auraient pas, par ailleurs, déjà été évalués via l'ATEx disponible (par exemple : pérennité du comportement mécanique à froid de l'ouvrage, fluage, compatibilité des déformations de cet ouvrage vis-à-vis des ouvrages environnants, capacités à recevoir des fixations de mobilier divers, de garde-corps ou de main-courantes, comportement vis-à-vis de 2 ambiances hygrothermiques qui peuvent être temporairement différentes, etc.).

À ce titre, sur un plan strict et malgré un éventuel avis favorable explicite du contrôleur technique et un visa explicitement conforme de la maîtrise d'œuvre, l'engagement d'une évaluation reconnue en technique courante aurait dû être entreprise pour qualifier formellement en technique courante l'ouvrage finalement réalisé et permettre ainsi à l'ensemble des constructeurs (au sens large qu'en donne les articles 1792 et suivants du Code Civil) d'être de facto assurés en responsabilité civile décennale ; idem pour le maître d'ouvrage probablement vis-à-vis de son assureur Dommages-Ouvrage.



Enjeux de mise en œuvre

Bien que la terre crue soit un matériau utilisé depuis des millénaires, l'utilisation contemporaine de la présente technologie appelle un besoin de formation. Celle-ci a donc ici été dispensée par Cycle Terre aux compagnons au démarrage de l'opération pour appréhender les spécificités de la mise en œuvre des BTC.

3.3 CLOISONS EN BRIQUES DE TERRE CRUE

Malgré cette formation, le groupement a mis en exergue différentes difficultés et fait des recommandations pour la mise en œuvre de ce procédé :

- la brique de terre crue est un matériau friable, il faut donc être très minutieux lors de la pose car le risque de casse est élevé ;
- le temps de séchage des briques est important. Cela nécessite donc un jeu d'environ 1 cm entre chaque brique lors du colisage, ce qui constitue un risque important de perte de matière à cause des chocs lors du transport ;
- le calepinage des briques en amont demande une vigilance particulière : il n'est pas possible de recouper la brique dans sa hauteur et une coupe de 4,5 cm en largeur est un minimum suivant l'ATEX. Ainsi, si le calepinage n'est pas bien réalisé, la trame peut devoir être reprise intégralement ;
- il n'est pas possible de faire transiter des réseaux à travers la BTC. Cette contrainte est à prendre en compte lors de la synthèse ;
- le temps de mise en œuvre est très long. 3 jours ont été nécessaires pour monter une trame de 4 m sur 3 m de hauteur. Ce temps de réalisation est dû au temps de séchage nécessaire toutes les 4 rangées ;
- ce matériau a une faible résistance à l'eau. Même si la mise en œuvre des briques a eu lieu avec les hors d'eau et d'air définitifs, un changement de brique a dû être réalisé au droit d'une fuite d'un réseau de plomberie. Beaucoup de briques ont également été détériorées par l'eau lors de leur stockage (ce qui est malheureusement assez récurrent pour les matériaux biosourcés et géosourcés malgré les précautions connues pour se prémunir de ces risques).

Le groupement convient que cette première expérience avec des BTC permettra une meilleure anticipation des contraintes chantier pour les futures opérations.



Enjeux d'exploitation

Les BTC ne nécessitent pas d'entretien particulier ; la pérennité de ce type d'ouvrage en terre crue relève généralement de la prise en compte des prescriptions en lien avec l'humidité, de la phase conception à la phase exploitation. Une surveillance accrue pour les ouvrages à proximité des pièces humides ou en cas d'infiltration accidentelle d'eau peut ainsi s'avérer utile.

Pour les espaces à RDC en contact avec le public, une protection mécanique peut être nécessaire, mais elle n'a pas été appliquée sur cette opération au regard des résultats des essais aux chocs mous. La première rangée de BTC est par contre en terre stabilisée afin d'éviter leur dégradation par les laveuses de sol.



Répliquabilité

Le projet a permis de pousser les limites d'utilisation des briques de terre crue non stabilisées. Ce procédé présente des atouts environnementaux par son caractère circulaire et peut aider à améliorer la notoriété de la filière terre crue. Il s'agit en effet d'un démonstrateur, qui peut être utile pour sensibiliser et lever des freins techniques pour de nouveaux projets.

Aujourd'hui, sa répliquabilité in extenso peut toutefois se voir affectée par l'absence d'ATEX valide et par la cessation d'activités de Cycle Terre qui était dynamique dans le domaine.

Il sera ainsi important que l'instruction d'une nouvelle évaluation technique prenne en compte les difficultés mises en exergue par le groupement, en particulier en phase chantier.

Au niveau économique, si des surcoûts importants ont été constatés sur cette opération (prestations intellectuelles et mise en œuvre chantier), ils pourraient être réduits à l'avenir grâce au retour d'expérience de la mise en œuvre du procédé sur l'Arena.

3.4

TOITURE VÉGÉTALISÉE
ET NOUE PHYTO-ÉPURATIVES

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Base mutualisée de la préfecture de police
Porteur / MOA	SOLIDEO
MOE	Nicolas TOURY – OASIIS – REEB – LEESU
Entreprises	COLAS – AQUATIRIS – SOPREMA – VWMS
Montant dotation (€ HT)	334 000
Date réception	2 ^e trimestre 2025

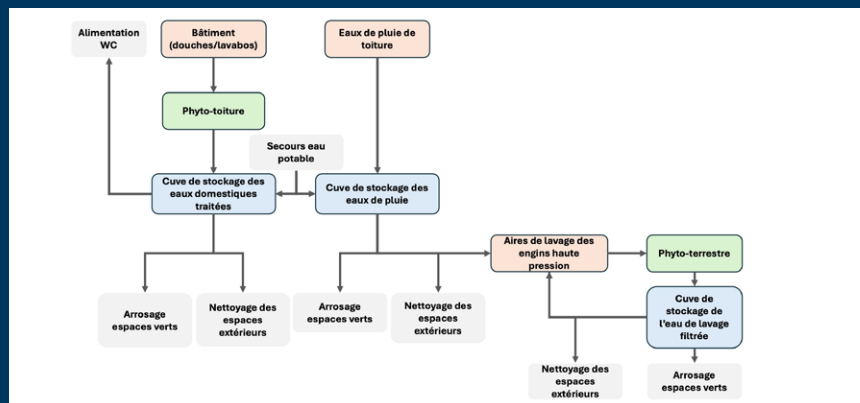
Présentation

L'innovation concerne le traitement des eaux grises, issues des WC et lavabos, par 72 m² de toiture végétalisée phyto-épurative pour réutilisation à l'intérieur (chasses d'eau) et à l'extérieur du bâtiment (arrosage et nettoyage des espaces extérieurs).

Un second système de phytoépuration est également mis en place au niveau de la parcelle pour récupérer les eaux grises de process qui auront ruis-

selé suite au lavage des véhicules d'intervention dans une noue paysagère et ensuite les réutiliser pour le même usage.

Ces 2 systèmes ont été mis en fonctionnement en phase héritage après les JOP et sont suivis spécifiquement par la maîtrise d'œuvre du projet pendant 2 ans.



Source : SOLIDEO

Performances

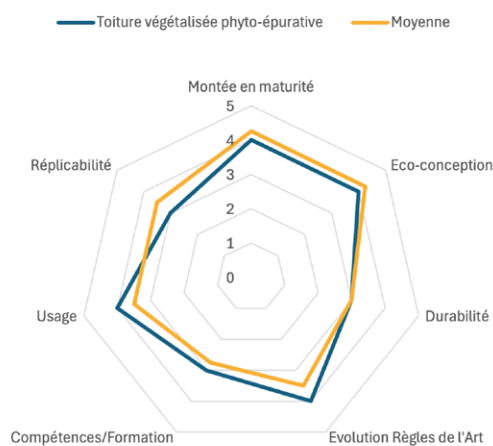
Cette innovation permet d'atteindre les performances suivantes :

- ▶ volume d'eau traité en phyto-toiture : 2,5 m³/jour ;
- ▶ réduction de la consommation d'eau potable par rapport à un immeuble de logements classique : 30 %.

2,5 m³

d'eau traitée par jour

-30 %

de consommation
d'eau



3.4 TOITURE VÉGÉTALISÉE ET NOUE PHYTO-ÉPURATIVES

Enjeux de développement

En France le décret n°2023-835 du 29 août 2023 relatif aux usages et aux conditions d'utilisation des eaux de pluie et des eaux usées traitées est venu simplifier la procédure d'autorisation pour la réutilisation des eaux usées traitées et définit les conditions d'utilisation des eaux de pluie pour les usages non domestiques.

Au moment du lancement de l'opération, la réutilisation des eaux grises traitées n'était pas possible réglementairement dans les locaux d'habitation.

Des démarches avaient donc été menées auprès de l'Agence Régionale Sanitaire (ARS), qui ont conduit à un arrêté préfectoral de dérogation obtenu le 25 août 2022 et autorisant sur l'opération :

- l'utilisation des eaux grises traitées pour l'alimentation des WC, le nettoyage des surfaces extérieures et l'arrosage des espaces verts ;
- l'utilisation des eaux de process traitées pour le lavage des engins, le nettoyage des surfaces extérieures et l'arrosage des espaces verts.

À l'image du Bâtiment Cycle, les échanges menés avec l'ARS ont permis de faire encore évoluer la réglementation relative à la réutilisation des eaux grises, en étendant leur usage à des fins domestiques.

En termes de règles de l'art, ce procédé pourrait également bénéficier à terme d'un référentiel technique consolidé, de type avis technique, et réutilisable sur d'autres opérations.



Enjeux de mise en œuvre

Les éléments composant ces systèmes pris individuellement sont plutôt traditionnels (toiture et noue végétalisées, filtres, pompes...) et c'est tout l'intérêt de cette innovation qui ne demande pas de compétence particulière pour leur mise en œuvre. Il faut néanmoins être rigoureux dans les interactions entre corps d'état (étanchéité, végétalisation, plomberie...).



Enjeux d'exploitation

L'arrêté précité indique les modalités de gestion et le contrôle des installations ; en particulier, un protocole établi par l'ARS sera mis en place permettant de contrôler la qualité des eaux grises avant et après traitement. Ce protocole prévoit pendant les 2 ans de l'expérimentation des analyses mensuelles, par un laboratoire accrédité COFRAC, avant alimentation des WC et des analyses quotidiennes en amont de la cuve de stockage par le LEESU, via un système automatisé.

Au-delà de ces 2 ans, une forte sensibilisation et l'implication des usagers sont nécessaires et l'exploitation devra être réalisée de façon rigoureuse sur la base de la notice d'entretien maintenance et du guide d'usage et de bonnes pratiques mis à disposition des utilisateurs et de l'ensemble des personnes intervenant sur l'installation pour l'entretien, la maintenance et le suivi des installations.



Répliquabilité

La mise en œuvre de ces démonstrateurs permet d'expérimenter à petite échelle des systèmes de traitement des eaux grises et des eaux de process polluées chimiquement pour une réutilisation locale.

Le choix d'avoir eu recours à des systèmes dont les éléments pris individuellement sont plutôt traditionnels permet de rendre les procédés ouverts et facilement répliquables.

Une expérimentation réussie de ce(s) système(s) sur cet ouvrage devrait permettre d'avoir suffisamment de retours d'expériences pour développer dans un futur proche ce type de système à plus grande échelle, avec une maîtrise des enjeux sanitaires et des coûts globaux compétitifs. Au regard de l'enjeu prioritaire à court terme de gestion durable de l'eau, ce démonstrateur doit ainsi permettre une avancée significative dans le domaine.

4 INNOVATIONS SUR LES ESPACES PUBLICS



Pour la mise en œuvre de l'ensemble des innovations au sein des espaces publics du Village des athlètes, une dotation totale de 7 104 524 € HT a été attribuée. Les innovations concernent les thématiques de l'accessibilité, de la qualité de l'air extérieur et de la lutte contre les effets d'îlots de chaleur.

4.1

SIGNALÉTIQUE INCLUSIVE



Présentation

La signalétique est l'appui principal pour se déplacer et se situer en sécurité dans l'espace public. Or, il n'existait pas auparavant de réponse clef en main pour offrir un environnement signalétique qui facilite l'orientation de tous les usagers, notamment les personnes déficientes visuelles, intellectuelles et cognitives, ou les personnes ne maîtrisant pas la lecture.

Face à cette problématique encore peu adressée, cette innovation se traduit par l'installation et le déploiement dans le Village des athlètes, d'une signalétique inclusive multisensorielle qui comporte 3 niveaux :

- le sol, commun de tous nos déplacements, comme support de sens ;
- la signalétique verticale, selon une approche linéaire analogue au réseau de transport, afin de faciliter le repérage ;
- le numérique, pour répondre aux besoins les plus spécifiques.

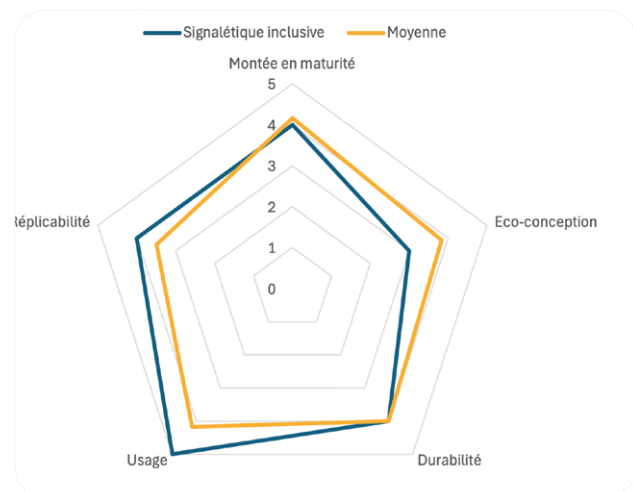
La totalité du dispositif, notamment dix tables tactiles et sonores mais aussi des feux sonores, des tapis traversants ou encore des pistes sonores, sera installé en 2025 et en 2026.

Pour plus d'informations quant à la démarche d'accessibilité universelle conduite par la SOLIDEO, un rapport de synthèse est disponible à l'adresse suivante : <https://www.ouvrages-olympiques.fr/quartiers-infrastructures-accessibles-tous>

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Village des athlètes Espaces publics
Porteur	SOLIDEO
Entreprises	OKEENEA, Polygraphy, Empreintes, Atipy, Tactile Studio, Mengrov
Date réception	2024 - 2025



Performances

L'objectif visé est de faire du Village des athlètes une référence mondiale en termes de mobilité inclusive à travers notamment une signalétique multisensorielle résiliente et durable. La répliquabilité des dispositifs et de leurs performances est également un objectif important de cette innovation qui s'est développée grâce à une méthodologie qui se veut à la fois reproductible mais aussi évolutive grâce aux retours d'expériences.

Le déploiement de cet environnement de signalétique constituant un nouvel usage dans l'espace public, la démarche de recherche et de développement s'est appuyée sur des tests usagers. Organisés en deux sessions, dans des conditions proches de la réalité urbaine du futur Village des athlètes, les tests ont été réalisés avec le concours de panels d'utilisateurs (différents pour chacune des sessions, la première ayant lieu à Lyon, la seconde à Saint-Denis).

Chaque élément du système de signalétique multisensorielle inclusive a été testé pour garantir son caractère universel. L'analyse fine des conclusions de ces tests a rendu possible les améliorations du système de signalétique dans son ensemble.



4.1 SIGNALÉTIQUE INCLUSIVE

Enjeux de développement

L'enjeu du développement de la signalétique inclusive du Village des athlètes était de répondre aux besoins de tous, facilitant à la fois l'orientation des primo-arrivants mais facilitant également la création de repères pour les usagers réguliers du site, quelles que soient leurs capacités perceptives, intellectuelles ou linguistiques.

Afin de développer les éléments de signalisation les plus adaptés, une concertation a été menée ainsi que des mises en situation.

Pour mener à bien cette démarche d'accessibilité universelle, il a donc fallu adopter une approche nouvelle afin que les systèmes de signalétiques puissent apporter une aide efficace à tous les usagers, qu'ils soient plus naturellement intégrés dans le territoire qui les accueillent et constituent un élément harmonieux de la composition urbaine.

Pour répondre aux besoins de tous, une signalétique multi-niveau a été imaginé avec notamment :

- une première approche au niveau du sol (bandes sonores, bandes d'interpellations, etc.) ;
- un déploiement vertical intégrant des éléments sonores (contrairement à de nombreux dispositifs) ;
- des actifs numériques pour une interopérabilité avec des applications tierces dans le but de calculer des itinéraires piétons inclusifs.

Cette dernière étape nécessite de disposer des données spatiales de la zone et donc le recours à une maquette numérique. Le développement de cet actif numérique s'inscrit dans le prolongement de la validation par la DMA (Délégation Ministérielle à l'Accessibilité) et le GT7 (Groupe de Travail Accessibilité - Commission "Données" du CNIG) du modèle d'échange de données d'accessibilité de la voirie, des espaces publics et des établissements recevant du public.



Enjeux de mise en œuvre

Les éléments composant ces systèmes pris individuellement sont plutôt traditionnels (mâts, panneaux et des composants électroniques pour la signalétique verticale). Une étude rigoureuse du site est nécessaire pour positionner de façon appropriée l'ensemble de ces éléments de signalisation. L'enjeu réside ensuite principalement dans la coordination, dès la phase d'études, du positionnement final des éléments afin que les travaux d'espaces publics intègrent ces besoins en alimentation électrique pour permettre leur raccordement.



Enjeux d'exploitation

L'ensemble des éléments de signalétiques ne nécessitent pas d'entretien particulier outre l'entretien standard d'un équipement (propreté, bon fonctionnement de la partie électronique et remplacement de certaines pièces lorsque nécessaire).



Répliquabilité

Cette innovation constitue une première étape dans l'approche fonctionnelle de la Ville de demain. Les éléments déployés ne constituent pas une ingénierie particulière qui feraient obstacle à leur déploiement futur dans les villes. Un portage politique fort de cette démarche d'accessibilité universelle est néanmoins nécessaire pour aller au-delà des standards de signalisation.

4.2

MOBILIERS URBAINS



©SOLIDEO-Camille Pinot

Présentation

Le mobilier des espaces publics est central dans le traitement de l'accessibilité universelle, et il recoupe également l'ambition d'excellence environnementale. C'est un élément fondamental de la qualité d'usage et il était donc important de sortir de l'approche classique du choix de mobilier, qui consiste généralement à effectuer un choix sur catalogue, limitant de fait non seulement la possibilité d'intégrer des solutions disruptives, mais également la probabilité de trouver des modèles parfaitement en adéquation avec les projets paysager et urbain.

La SOLIDEO a donc lancé une consultation en juillet 2020 selon une procédure de dialogue compétitif afin de faire émerger des solutions facilitant l'inclusion universelle.

Performances

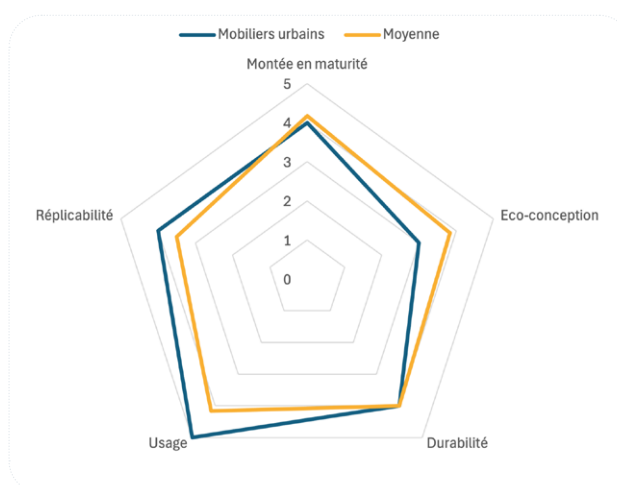
Les grands enjeux auxquels répondent ces mobiliers urbains sont :

- d'assurer un confort optimal à toutes les populations, en particulier les personnes ayant des difficultés dans l'espace public, que ce soit en termes de déambulation, de repérage, ou d'utilisation de fonctions plus spécifiques ;
- à chacun et chacune de prendre place dans l'espace public, de penser diversité, plutôt qu'usages exclusifs ;
- de privilégier la flexibilité et la polyvalence des lieux plutôt que de les figer dans des fonctions.

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Village des athlètes Espaces publics
Porteur	SOLIDEO
Entreprises	METALCO/AREP, SINEU GRAFF, ALEXANDRE MORONNOZ, WALD, TACTILE STUDIO
Date réception	Début 2024



©SOLIDEO-Camille Pinot

Leur développement a donc dû à la fois intégrer les attentes en termes d'usage universel, s'inscrire dans l'écriture paysagère du Village des athlètes et respecter les ambitions d'excellence environnementale.

Au final, une gamme complète de mobilier a été mise en œuvre, offrant des usages divers et variés répondant aux besoins de toutes les populations : zones avec dossiers et accoudoirs, facilitant notamment l'assise des personnes âgées, espaces libres permettant d'adopter différentes postures, bonne repérabilité grâce à un travail sur les contrastes, hauteurs adaptées, ajout d'agès sportifs permettant la pratique ponctuelle d'une activité physique...

4.3

AÉROPHILTRES

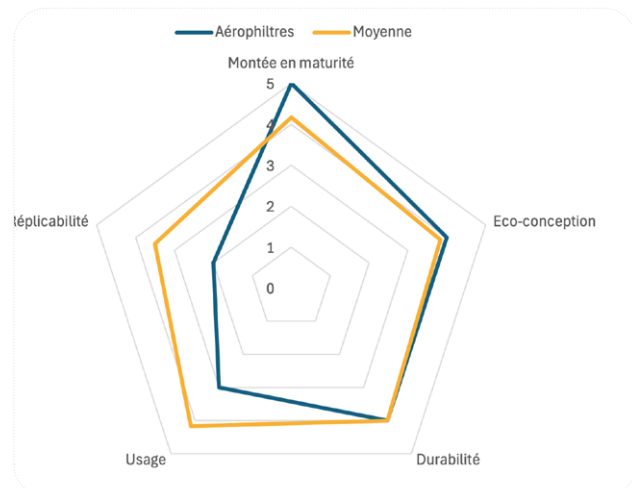
Objectifs SOLIDEO



Présentation

L'aménagement urbain proposé concerne la mise en place d'une solution de capture par abattement électrostatique des particules fines en provenance de la circulation routière. En effet, les cinq ombrières (entre 4,6 et 5,6 m de haut pour 6 m de diamètre) sont à proximité immédiate de l'A86 (300 mètres). Un aérofiltre a également été installé dans la cour de l'école Anatole France à Saint Denis et est activable en fonction des niveaux de pollution ambiant, de la météo et de l'affluence.

Ouvrage olympique	Village des athlètes Espaces publics et École Anatole France
Porteur	SOLIDEO
Entreprise	AÉROPHILE
Date réception	Début 2024



Performances

Constitué de 2 plaques conductrices dont la différence de potentiel permet de piéger les particules fines, l'innovation permet théoriquement d'atteindre à la sortie des dispositifs de filtration un taux d'abattement de la pollution de 90 à 95%. Les particules PM 10, PM 2,5 et jusqu'au PM 0,1 sont capturées grâce à un champ électrostatique au moment du passage de l'air dans l'appareil.

Malheureusement, une fois éloigné des dispositifs, un abaissement significatif du niveau de pollution n'a pu être mesuré.

À noter que des mesures in situ ont eu lieu en partenariat avec AirParif puis par Aerophile avant et pendant la période des JOP. Les deux études livrent des résultats différents qui peuvent s'expliquer notamment par l'application de protocoles de mesures distincts mais aussi par le positionnement et la nature des capteurs retenus. Les conditions météorologiques très dispersives et les niveaux de pollution plus ou moins élevés, n'ayant pas toujours permis de tester les performances dans des conditions de pollution importante, peuvent également être à l'origine de différences dans l'efficacité du dispositif.

Selon le porteur de projet, un appareil traite 20 000 m³/h sur un rayon de 10 m. L'installation des 5 ombrières doit donc permettre la dépollution d'environ 100 000 m³/h. Par ailleurs, le système se basant sur une libre circulation de l'air, la consommation d'énergie est particulièrement réduite (1 kWh).

90 %



d'abattement de la pollution
extérieure à la sortie du
dispositif de filtration

100 000 m³



d'air traités/heure



4.3 AÉROPHILTRES

Enjeux de développement

Cette innovation a permis de faire la démonstration d'un prototype, dont un brevet de purification de l'air a été délivré en 2023, dans un environnement opérationnel.

Ce dispositif est particulièrement intéressant pour la saison hivernale qui présente une plus grande incidence de pollution aux particules fines ; cependant son fonctionnement peut également créer à proximité des courants d'air frais générés par les ventilateurs et donc de potentiels inconforts à cette période. *A contrario*, en période estivale, ces courants d'air peuvent rafraîchir la zone mais peuvent également créer un potentiel inconfort auditif lorsqu'ils fonctionnent en puissance maximale, en particulier si le bruit ambiant est trop bas.



Enjeux de mise en œuvre

S'agissant d'un dispositif très spécifique il demande des compétences particulières en termes de développement de la solution, de conception et de mise en œuvre.

Des difficultés d'accessibilité aux aérophiltres peuvent ainsi être rencontrées par la mise en place d'aménagements urbains tels que les bancs installés sur le Village des athlètes. Les échafaudages simples doivent alors être remplacés par une nacelle télescopique.

Lors de la mise en œuvre, il est important de veiller à la bonne évacuation d'eau au niveau de l'ioniseur. Afin d'empêcher la stagnation d'eau à ce niveau, des plaques en PVC ignifuges inclinées ont ainsi été ajoutées.



©SOLIDEO - Sennse-C.Badet



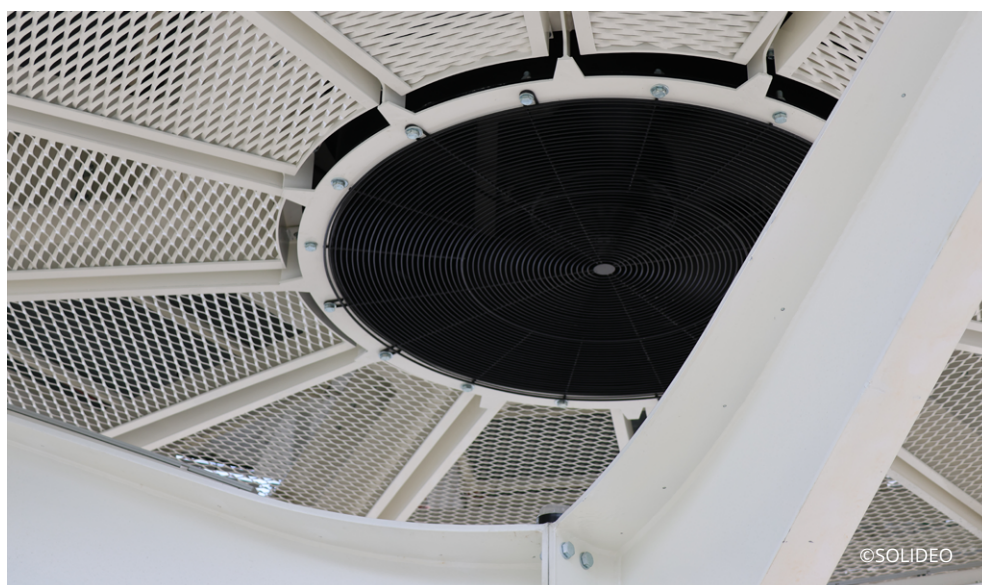
4.3 AÉROPHILTRES

Enjeux d'exploitation

Le protocole d'entretien et de maintenance fait état d'un faible besoin d'entretien et de l'absence d'utilisation de consommables ; il requiert principalement du nettoyage.

Les ombrières sont par ailleurs reliées à une interface internet de maintenance qui permet d'ajuster le processus en fonction des conditions météorologiques, de la pollution de l'air et de la fréquentation, mais aussi de faire la mise en route et la mise à l'arrêt.

Les opérations de maintenance, estimées à une ou deux fois par an, doivent toutefois être réalisées par du personnel compétent de la société Aérophile ou par du personnel formé par celle-ci. Elles représentent un coût élevé avec des pièces de rechange coûteuses en cas de dysfonctionnement après la période de garantie.



Répliquabilité

La solution telle qu'elle a été développée dans le Village des athlètes semble peu répliquable en termes d'intérêt technique et de coût :

- elle permet une amélioration ponctuelle de la qualité de l'air et un abattement des particules fines dans un périmètre réduit ;
- le nombre de jours de fonctionnement de la solution est aussi limité par différents facteurs (conditions climatiques telles que taux d'humidité relative, présence ou non de pluie, vitesse du vent et orientation de celui-ci, température au regard de l'inconfort que les flux d'air des ventilateurs peuvent entraîner, niveaux de pollution...) ;
- ses coûts d'investissement et d'exploitation restent élevés.

Elle nécessitera également une sensibilisation des riverains permettant d'appréhender son intérêt et de comprendre son utilisation. Son utilité peut aussi fortement dépendre de l'appropriation de l'espace public où le dispositif est installé. En hiver cela semble complexe au regard des conditions climatiques en île de France et du potentiel inconfort généré.

Cette solution est par contre certainement d'une plus grande pertinence dans des espaces ventilés mais légèrement protégés et moins exposés aux vents (préaux, cours d'école), comme cela a été fait dans l'école Anatole France.

4.4 GREEN BOW



Présentation

Green Bow est une innovation permettant le traitement et la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation de la végétation du Mail Finot et de la place Ampère, permettant de créer ainsi un îlot de fraîcheur dans l'espace public.

Dans le détail, cette solution comporte :

- un prélèvement d'eau usée dans les canalisations du réseau ;
- une unité de traitement des eaux usées ;
- une irrigation connectée des espaces verts par un système de goutte à goutte enterré ;
- une végétalisation par espèces endémiques évapo-transpirantes.

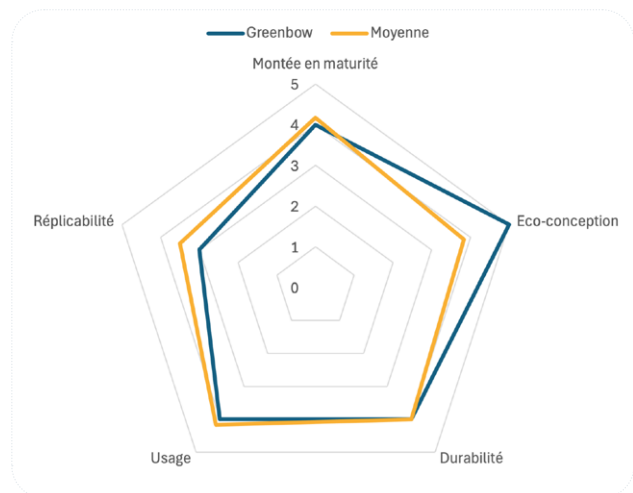
L'unité de traitement est composée de deux grandes entités qui agissent successivement pour assurer un traitement complet des eaux brutes :

- l'unité de traitement développée par l'entreprise NEREUS : une succession de procédés épuratoires mécanique et chimique ;
- les unités de traitement dit complémentaires : le sol et la végétation qui poursuivent le traitement par géo épuration et surtout par prélèvement des nutriments par les végétaux.

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Village des athlètes Espaces publics
Porteur / MOA	SOLIDEO
MOE	NEREUS
Entreprises	F-REG, Compagnie du Paysage
Date réception	Fin 2024



Performances

Cette innovation permet de **traiter 30 m³ d'eau usée par jour**. Avec son système de goutte à goutte enterré à 15 cm sous la surface, elle réduit également l'effet d'îlot de chaleur dans les zones irriguées. Au total, les eaux traitées permettent d'irriguer **4 527 m² d'espaces verts** (massifs, prairies) et **108 arbres**.

Grâce à l'évapotranspiration, les températures de surface peuvent être localement abaissées de 10°C et les températures d'air de plusieurs degrés (entre 2°C et 4°C).

30 m³



d'eau usée traitée
par jour

4 527 m²



d'espaces verts
irrigués

4.5

BANCS DÉPOLLUANTS

Objectifs SOLIDEO



Présentation

L'innovation proposée offre 3 axes de développement. Le premier vise à fournir un air assaini aux piétons empruntant les trottoirs aux abords des berges de Seine. Le deuxième permet la réduction de la pollution atmosphérique du côté de l'A86 alors que le dernier apport de cette innovation concerne un rafraîchissement en saison chaude des alentours.

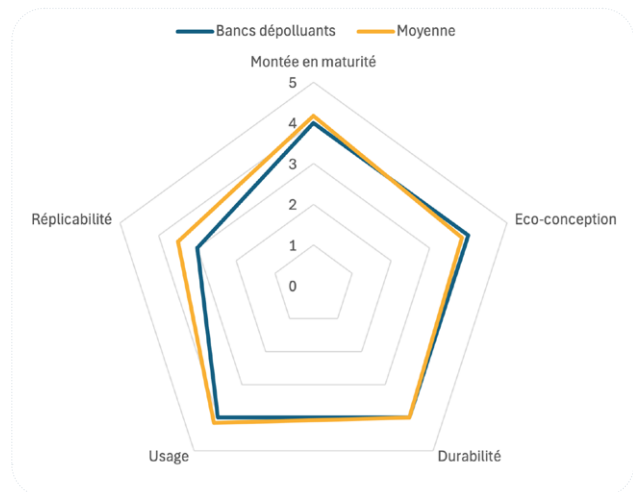
Le système lave l'air pollué en brassant celui-ci avec de l'eau, circulant en boucle fermée dans le système. L'extraction de l'air pollué se fait par la dépression créée par le ventilateur placé en sortie du laveur afin de minimiser le bruit de l'extraction.

Le système comprend une réserve d'eau de 250 litres permettant le lavage de l'air. Grâce à une circulation d'eau continue, l'air entrant transfère ses principaux polluants.

Le banc mis en oeuvre, développé par la société Make ICI, se veut également esthétique afin de s'intégrer dans le milieu urbain et ainsi permettre la création d'un lieu de convivialité pendant et après les JOP2024.

Les 4 unités permettant l'assainissement de l'air ont été placées à proximité immédiate des lieux d'extraction et de diffusion de l'air pour limiter la longueur des gaines nécessaires.

Ouvrage olympique	Village des athlètes Espaces publics
Porteur / MOA	SOLIDEO
Entreprises	Terraio, Make ICI
Date réception	Mars 2024



Performances

Cette innovation vise un taux d'abattement sur les différents polluants de :

- PM10 : 99,5 %
- PM2,5 : 98,5 %
- NOx : 50 %
- Ozone : 50 %

Le débit total d'air assaini est estimé à 16 000 m³/heure.

En ce qui concerne le rafraîchissement de l'air, la solution retenue permet de créer un phénomène d'évaporation de l'eau ce qui entraîne une baisse de température de l'air. Il est estimé que si l'air extérieur entrant est à 33° C, elle ressortira à environ 20° C. De la même manière, pour un air entrant à 26° C, elle ressortira à 18° C avec une hygrométrie de l'ordre de 60 %.

99 %



d'abattement pour
les PM à la sortie
du dispositif

-10°C



de température
ressentie en
moyenne

4.6

COOL GROUND



Présentation

Cool Ground est un dispositif innovant de lutte contre les effets d'îlots de chaleur urbains. Le projet s'articule autour de la gestion de l'eau de pluie avec la récupération, le stockage et la redistribution de l'eau ruisselant sur les espaces publics via :

- des réservoirs d'eau de pluie qui servent aussi de structure de chaussée ;
- des mobiliers supports de la végétation et de stockage de l'eau (bacs Vertuo) ;
- des zones piétonnes en pavé drainant rafraîchissant par évaporation (en pavé coquillage) ;
- l'infiltration du surplus de l'eau pluviale.

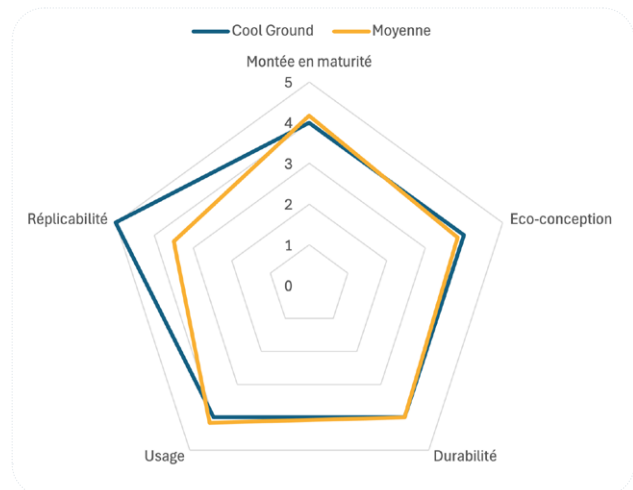
Il s'articule autour de cinq solutions techniques permettant la récupération, le stockage et la redistribution de l'eau ruisselant sur les espaces publics à des fins de rafraîchissement. L'innovation réside dans la combinaison de ces solutions à l'échelle d'une rue au sein d'un dispositif piloté. Le principe est de collecter et stocker les eaux pluviales dans la chaussée afin de les restituer en temps voulu. En périodes chaude et sèche, un système de serpentins et de pompes fait circuler l'eau en sous-face des pavés et permet leur « transpiration » afin d'irriguer la végétation environnante et de créer une sensation de fraîcheur de l'espace public.

La mise en place rue Ampère sur un linéaire de 125 mètres au droit du collège Dora Maar combine une chaussée réservoir, des bacs végétalisés (pertinents sur cette zone traversée par de nombreux réseaux), des trottoirs en pavés réalisés à partir de coquillages qui restituent l'eau, un système de serpentins sous chaussées réservoirs, des pompes, et une station météo pour le pilotage de l'ensemble du dispositif.

Ce système innovant, entièrement pilotable à distance, est complété par une station météo permettant d'indiquer s'il est nécessaire ou non de déclencher le dispositif. Le volume d'eau stocké permet une autonomie d'environ 16 jours, sur la base d'un fonctionnement de 9 h/jour et si la cuve de stockage de 50 m³ est pleine.



Ouvrage olympique	Village des athlètes Espaces publics
Porteur / MOA	SOLIDEO
Entreprises	EMULITHE, SEURECA-VEOLIA, VERTUO
Date réception	Mars 2024



Performances

En cas de forte chaleur (35 degrés et plus), le système de goutte à goutte sous les pavés se déclenche. Le fait d'humidifier les pavés apporte une sensation de fraîcheur. La baisse de température des pavés est estimée à 15°C avec un **ressenti de -2°C** pour les personnes circulant à proximité.

Les modules Vertuo qui récupèrent les eaux pluviales de la voie cyclable affichent une performance de rafraîchissement de 20°C par rapport à l'asphalte. Les plantes n'y vivent jamais de stress hydrique, même en cas de canicule car les bacs apportent plus de 45 jours d'autonomie en arrosage ce qui est compatible avec les prévisions Climat 2050.

-2°C

de température
ressentie

50 m³

d'eau pluviale
réutilisée

572 m²

de pavés drainants



4.6 COOL GROUND

Enjeux de développement

Pris individuellement, les différents systèmes avaient déjà été mis en œuvre sur quelques sites avant les JOP, comme les pavés drainants (mais sans le système de goutte à goutte) ou les bacs Vertuo. Trois produits étaient d'ailleurs brevetés : le système d'humidification, les bacs Vertuo et les pavés coquillage.

En particulier le pavé coquillage est sous 2 brevets, un français (2014) et un européen (2019), dans la catégorie « fabrication d'éléments de construction en béton contenant des coquillages concassés, auto drainants et mécaniquement résistants ».

Le système global, composé du stockage, du système goutte à goutte sous pavés drainants et des bacs Vertuo, était par contre une première créant un éco-système complet de gestion de l'eau dans la même zone.



Enjeux de mise en œuvre

Des difficultés ont été rencontrées en phase chantier qui sont liées à la configuration du site :

- la présence de nombreux réseaux enterrés, fonctionnant ou abandonnés, dont la localisation n'était pas complètement fiable par rapport aux documents fournis par les concessionnaires. Cela a entraîné des difficultés dans la mise en œuvre du bassin enterré mais aussi des bacs Vertuo qui ont été dû être mis en œuvre sur site avec des dimensions sur mesure et donc sans préfabrication possible ;
- la pente longitudinale de la rue Ampère qui a entraîné la présence d'eau en point bas et a obligé l'entreprise à prévoir des stockages tout au long de la rue pour conserver de l'eau de manière uniforme sur le système de goutte à goutte.



Enjeux d'exploitation

L'installation goutte à goutte est entièrement automatisée. Cela permet au système de fonctionner de manière indépendante sans intervention humaine et de remonter un certain nombre de données. Cela demande néanmoins un suivi régulier dans le temps d'un système technologique pas totalement simple à aborder de prime abord et l'entretien d'équipements non usuels (mât météo, capteurs...), ce qui nécessite la dispense d'une formation et de campagnes de sensibilisation auprès des équipes de maintenance.

Une note d'entretien et de maintenance du système a néanmoins été fournie permettant d'indiquer comment démarrer et exploiter la solution dès le début de la période chaude, mais aussi comment entretenir la partie hydraulique du système d'humidification, qui est-elle plus classique (1 pompe, filtres, électrovannes, compteurs...).

Des contrôles visuels devront être réalisés une à 2 fois par semaine durant la saison de fonctionnement, avec également une chloration tous les 15 jours pour éviter le colmatage.

Pour les pavés, leur colmatage pourrait être évité par simple lavage grâce à une balayeuse. Selon la notice d'entretien, un contrôle annuel devra toutefois être réalisé pour vérifier l'état des joints entre les pavés de coquillage et leur propreté.

Les bacs Vertuo de leur côté ne demande que peu d'entretien, la redistribution progressive de l'eau retenue et le choix de plantes résistantes à la sécheresse devraient en effet permettre de conserver une bonne tenue dans le temps.

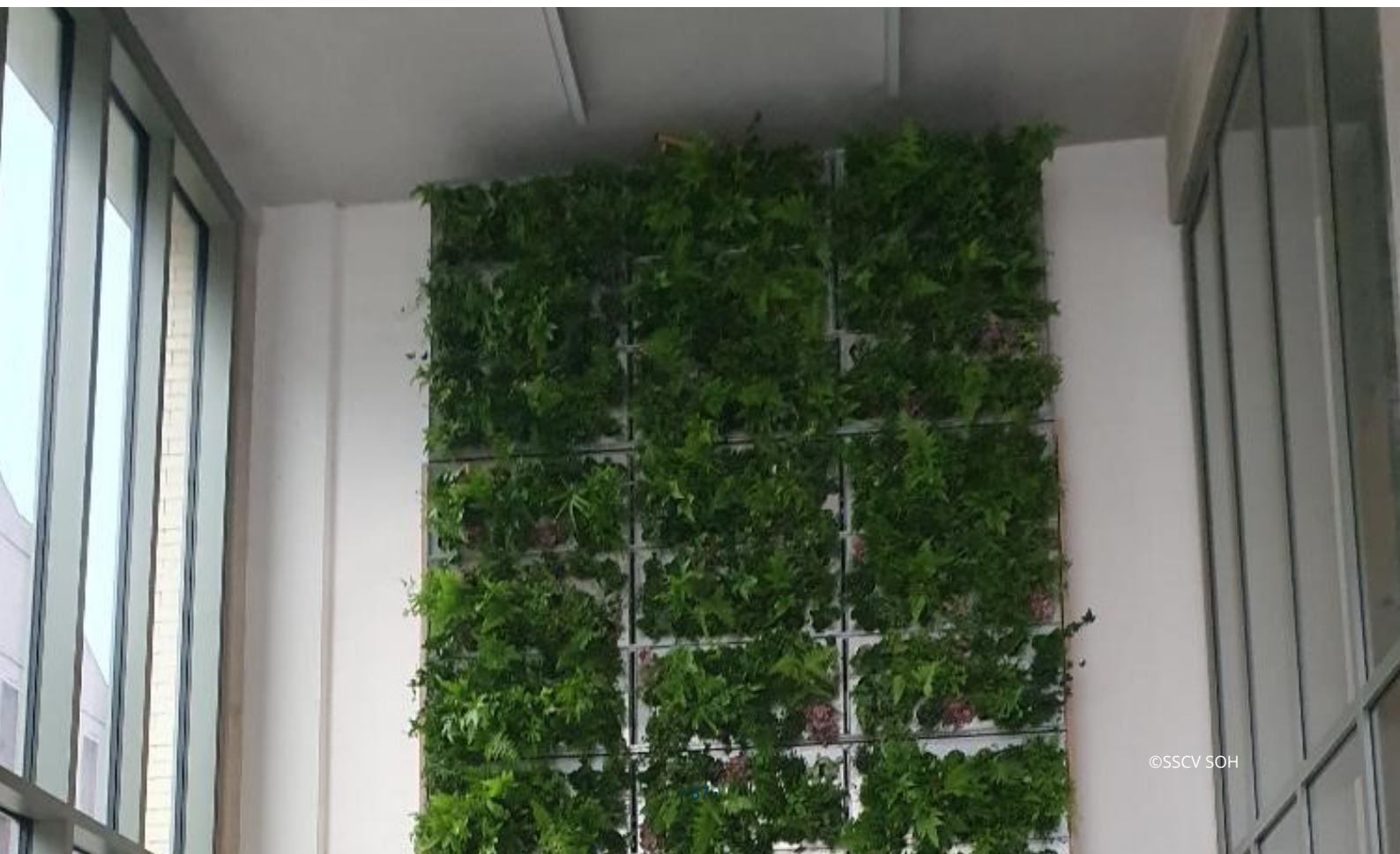


Répliquabilité

Concernant les pavés coquillages associés au système de goutte à goutte, la solution est parfaitement répliquable, en particulier pour des places piétonnes minérales, mais il faut l'associer à un stockage d'eau de pluie à proximité pour alimenter le système. Selon le porteur, il est également important de trouver un sol plat pour la pose des pavés pour éviter des écoulements préférentiels de l'eau sous les pavés.

Depuis cette opération, les bacs Vertuo ont quant à eux déjà été installés sur de nombreuses rues, alimentés par des voies cyclables comme sur le Village des athlètes ou par des avaloirs depuis la voirie.

GESTION INTELLIGENTE DU BÂTIMENT



5.1

ENTRÉES D'AIR ÉLECTROSTATIQUES

Objectifs SOLIDEO



©AQC

Ouvrage olympique	Ecoquartier fluvial
Porteur / MOA	PICHET/LEGENDRE
Entreprise	ALDES
Montant dotation (€ HT)	241 070
Date réception	Mars 2024

Présentation

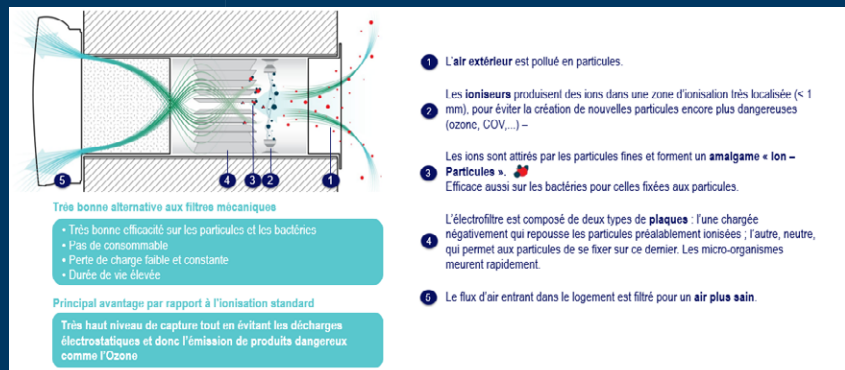
L'innovation réside dans la mise en œuvre d'un système de ventilation simple flux comportant, en façade, des entrées d'air électrostatiques filtrantes haute performance. Ces entrées d'air permettent le traitement de l'air extérieur, réduisant le transfert de polluants atmosphériques, notamment des particules fines, vers l'air intérieur.

En termes d'extraction, il est prévu :

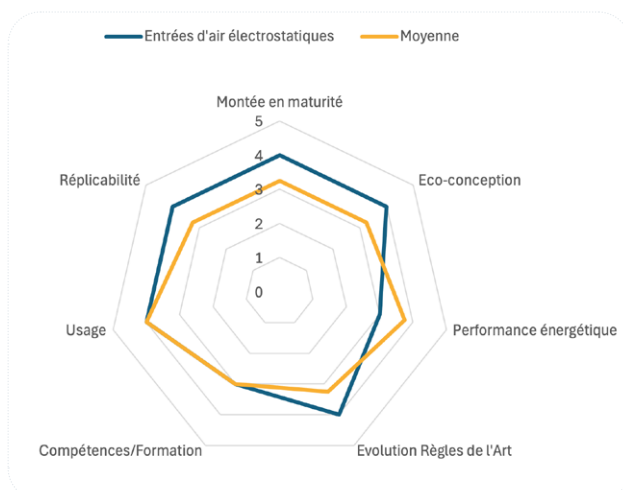
- des bouches intégrant un capteur CO₂ dans les cuisines, pouvant être commandées depuis une application smartphone ;

- des bouches hygroréglables à débit nominal temporisé dans les salles de bains.

Cette solution a été mise en œuvre dans les chambres de la résidence étudiante PE2 de l'écoquartier fluvial.



Concept du filtre électrostatique : une solution d'ionisation - source : Aldes



Performances

Cette solution vise une bonne qualité d'usage : confort hygrothermique et meilleure qualité de l'air intérieur. Elle permet ainsi de réduire la pollution provenant de l'extérieur avec des taux d'abattement estimés à plus de 90 % pour les pollens, 90 % pour les particules fines de 10 µm et 80 % pour celles de 2,5 µm, et de 77 % pour les bactéries d'1 µm.

entre 80 et 90 %



d'abattement de la pollution extérieure

5.1 ENTRÉES D'AIR ÉLECTROSTATIQUES



Enjeux de développement

Pour cette opération, une ATEEx de cas b) a été formulée et a fait l'objet d'un avis favorable en 2022.

Depuis l'obtention de cette ATEEx, deux avis techniques, comportant des entrées d'air électrostatiques et des bouches d'extraction avec une modulation CO₂, ont été instruites avec avis favorable.

Sur cette opération, il n'a pas été fait état de difficultés pour le déploiement de l'innovation, autre qu'une hauteur insuffisante de plenum ayant conduit à un remplacement partiel de la solution envisagée à l'origine.

Il s'avère toutefois que la longueur des entrées d'air peut être un frein. En effet, au regard de l'épaisseur de la façade, elles sont posées au nu extérieur des modules, derrière le bardage. Cela entraîne des interrogations fortes sur les différents risques que cela peut générer en termes de durabilité de l'ouvrage au regard de :

- la qualité de l'air intérieur au regard d'une prise d'air directement dans la lame d'air (présence de polluants, débit insuffisant) ;
- la surconsommation, voire la surchauffe, de l'extracteur en lien avec la compensation des charges si le débit d'air neuf s'avérait insuffisant ;
- la transmission latérale entre chambres contiguës en cas d'incendie ;
- l'entretien - maintenance (impossibilité d'accès depuis l'extérieur lors des opérations de visite, de nettoyage, de vérification ou remplacement de l'entrée d'air notamment de l'auvent extérieur).



Enjeux de mise en œuvre

Les entrées d'air filtrantes électrostatiques demandent une compétence particulière, notamment au regard du branchement électrique des entrées d'air et des bouches d'extraction cuisine. De plus, elles se situent à l'interface de nombreux corps d'état.

Tous les chantiers ne pourront pas faire l'objet d'accompagnement de la part d'ALDES, comme cela a été le cas sur l'écoquartier fluvial. Or, sur les chantiers, des malfaçons sont souvent relevées sur le système de ventilation, d'où l'obligation d'un contrôle réglementaire exigé par la RE2020.

Lors de la mise en œuvre, il faut ainsi porter une vigilance particulière aux entrées d'air filtrantes afin de laisser une lame d'air entre l'auvent extérieure et le bardage ; cela dans le but d'éviter d'aggraver le risque de surchauffe en cas de température élevée.



©AQOC



5.1 ENTRÉES D'AIR ÉLECTROSTATIQUES

Enjeux d'exploitation

Étant donné leur innovation, les entrées d'air et les bouches d'extraction modulant au CO₂ constituent des singularités en résidentiel mais la problématique a été bien appréhendée avec la fourniture de notices notamment.

De manière générale, la modulation CO₂ en cuisine, peut entraîner un risque de condensation, compte-tenu du mode de régulation (régulation humidité relative habituellement plus pertinente au regard de la production importante de vapeur d'eau).

Le retour d'expériences prévu en phase héritage sur cette opération permettra de lever un certain nombre d'interrogations. En effet, la robustesse du système sera fortement dépendante de la souscription d'un contrat d'entretien et de maintenance, et de l'appropriation du système par les utilisateurs (code couleur de la led des entrées d'air, activation de la bouche d'extraction cuisine en présence de vapeur, odeurs...).



Répliquabilité

Cette innovation représente la première solution de filtration par des entrées d'air dans le résidentiel et peut avoir une pertinence au regard de ses capacités de filtration, si elles sont confirmées par des mesures ultérieures de qualité de l'air intérieur.

L'existence aujourd'hui de 2 avis techniques facilite également son assurabilité et son déploiement sur le terrain.

La longueur des entrées d'air peut toutefois conditionner la répliquabilité de cette solution. En effet, sur cette opération, les entrées d'air se situent derrière le bardage, or cela peut poser question en termes de durabilité, d'entretien, de maintenance, de surchauffe, de qualité d'air, voire au regard du risque incendie. Cette situation est à éviter pour des prochaines opérations.

Enfin, à date, cette innovation présente encore un surcoût important qui peut fortement conditionner sa répliquabilité.

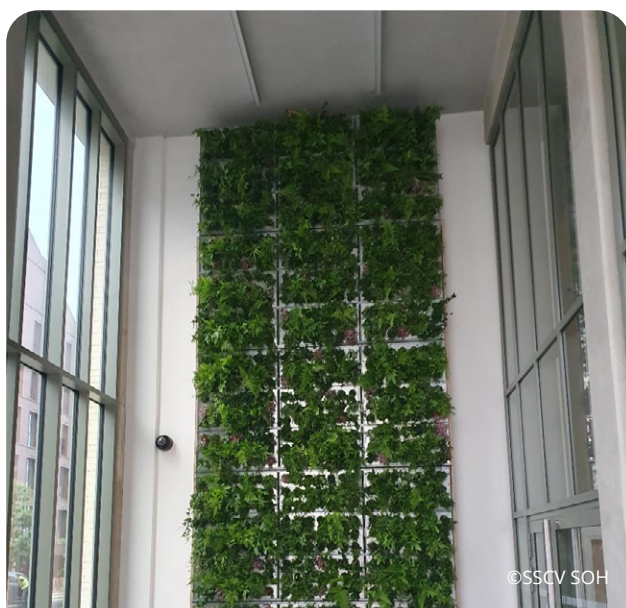


©AQC

5.2

FAIR'PLAY

Objectifs SOLIDEO



Présentation

Le projet met en place sur le LOT E3, 3 solutions de filtration distinctes associées aux centrales de traitement d'air (CTA) :

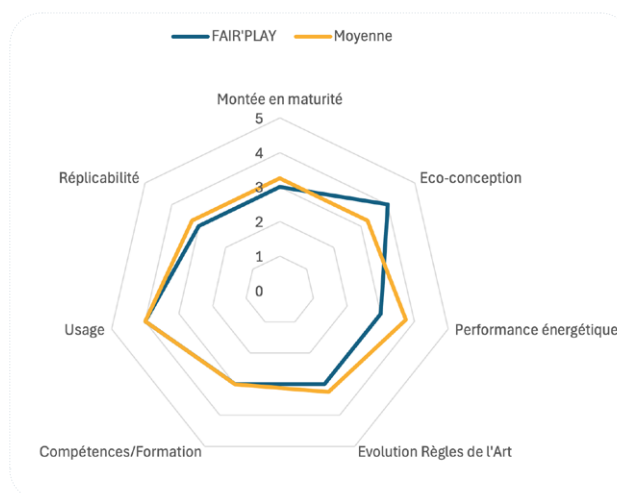
- une solution de phytoremédiation pour la CTA du RDC,
- des filtres absolus dans un des compartiments du bâtiment,
- des filtres classiques F7, F9 sur les autres centrales d'air.

Des mesures fiables en temps réel (utilisation de capteurs mesurant les polluants de l'air extérieur et intérieur) et un pilotage prédictif auto-apprenant sont également réalisés.

Le but est de renouveler l'air avec une vision précise et prédictive des besoins internes, tenant compte de la qualité de l'air entrant (pollution extérieure) et de la pollution intérieure. Cela permet de ventiler au bon moment en prévision des pics de pollutions, dans le double objectif d'amélioration mesurée de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI) et de réduction de la consommation d'énergie liée à la ventilation.

Le groupement propose une garantie de la QAI, pendant une durée de deux ans en phase exploitation.

Ouvrage olympique	Village des athlètes
Porteurs / MOA	NEXITY - CDC HABITAT
MOE	Dalkia Smart Building
Entreprise	Eiffage Construction
Montant dotation (€ HT)	1 134 480
Date réception	4 ^e trimestre 2024



Performances

L'innovation porte essentiellement sur un aspect sanitaire de la performance environnementale globale, en visant une très bonne qualité de l'air intérieur.

Les tests réalisés en laboratoire indiquent pour la solution de phytoremédiation une disparition totale du NO₂ pour une concentration inférieure à 30 ppm et un très fort abattement au-delà, ainsi qu'une diminution de 86 % des polluants COV de la pièce sur une durée de 3 heures, avant stabilisation.

Pour les filtres absolus, les taux d'abattement en particules fines se situent entre 65 et 95 % selon leurs tailles. Des mesures in situ sont prévues en phase héritage pour confirmer ces valeurs.

La solution a également un impact sur la consommation énergétique du bâtiment avec un gain théorique de 12 %.

12 %



de gain énergétique

100 %



d'abattement
théorique
NO₂ < 30 ppm

entre
65 et 95 %



d'abattement
des PM



5.2 FAIR'PLAY

Enjeux de développement et perspectives

Le projet prône une augmentation des débits d'insufflation par rapport à ceux règlementaires, régulièrement mis en question, dans un but d'amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI). Un compromis est toutefois encore à trouver avec les consommations d'énergie correspondantes ; ce point sera à vérifier au bout des deux années de suivi prévues.

Par son caractère exploratoire le projet présente par ailleurs une certaine complexité ; l'interopérabilité des différents capteurs et systèmes de pilotage en est un exemple.

Le projet intègre en effet des solutions techniques très diversifiées et peu systématisées. Lors de la fin de la période de garantie il y a un vrai enjeu de transmission d'information à l'exploitant et à l'entreprise en charge de l'entretien et la maintenance. L'installation pourrait demander des compétences particulières (multiplication de capteurs, de filtres, d'éléments de régulation...).

L'étalonnage des différents capteurs peut également être un enjeu, la QAI et le pilotage de la CTA étant directement dépendants. Bien qu'a priori un calibrage électronique tous les deux ans soit suffisant, pour certaines, il s'agit de technologies récentes dont il convient de suivre les potentielles dérives. Un contrôle annuel ou biennuel des paramètres, par une mesure comparative avec d'autres capteurs pourrait s'avérer pertinent.

Au regard des résultats qui seront obtenus lors de l'expérimentation des différentes technologies de filtration, captation, pilotage, il convient de s'interroger sur la possibilité de basculer l'ensemble du bâtiment sur la/les solutions(s) qui se révéleraient la/les plus pertinentes(s), après analyse comparative. Les difficultés techniques rencontrées pour la solution de phytoremédiation ont d'ailleurs déjà conduit à l'abandonner.

Au final, ce projet présente une dimension exploratoire dont la répliquabilité semble limitée en termes techniques et financiers.

Le suivi *in situ* qui a eu lieu lors de la phase JOP, de très courte durée, n'a pas permis d'évaluer l'efficacité et la répliquabilité des différentes innovations qui pourront être mieux évaluées une fois que le suivi *in situ* aura eu lieu en phase exploitation.

Au regard des conditions nécessaires soulevées, son intérêt peut s'avérer limité ou peu réaliste dans certaines situations.

Le modèle économique de ce type d'installation reste également à valider sur le long terme, d'autant plus que les coûts initiaux élevés pourraient freiner sa mise en œuvre.

La garantie de performance de QAI est la dimension qui présente une meilleure répliquabilité, sous réserve d'une bonne implication et appropriation par le gestionnaire du bâtiment et les occupants.



Objectifs SOLIDEO



5.3

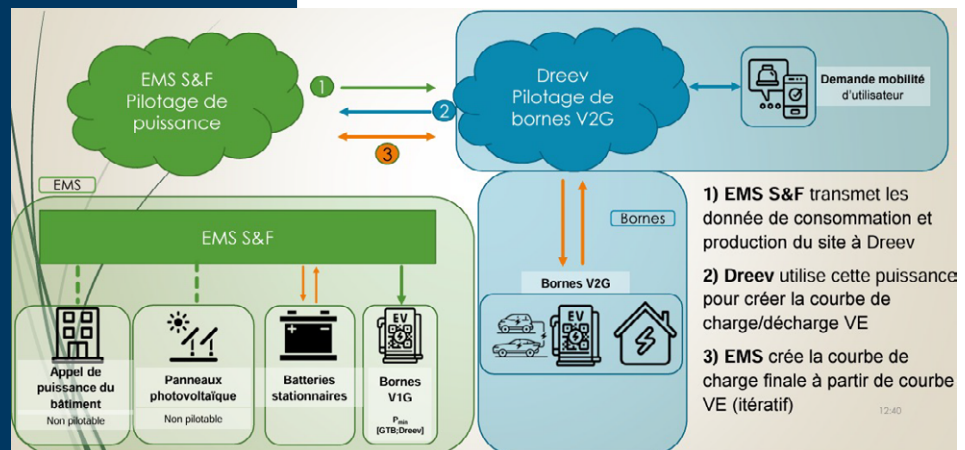
FLOWCAST

Présentation

L'innovation prend place sur le bâtiment E3 qui accueille un parc de stationnement et des bureaux en phase héritage. Le bâtiment est équipé de panneaux photovoltaïques en toiture et de bornes de recharge pour véhicules électriques de type V2G (Vehicule-To-Grid) permettant d'utiliser les véhicules électriques comme moyen de stockage et de réinjection de l'électricité. Les bornes bidirectionnelles permettent de contrôler la charge et la décharge des véhicules électriques. Différents types de services sont alors possibles afin d'apporter de la flexibilité au système électrique.

L'innovation repose sur une rationalité de la coordination et l'arbitrage des outils pour atteindre une performance énergétique et carbone dynamique et réelle, dépassant ainsi une simple agrégation de technologies de pointe. Elle vise en d'autres termes à avoir une approche en puissance de la conception et savoir piloter en temps réel l'appel de puissance d'un bâtiment en particulier avec l'arrivée de nouveaux usages. Ainsi, l'objectif est la mise en place de la Garantie de Puissance Optimisée (GPO) sur le bâtiment.

Source : Dalkia



Performances

Le projet repose sur 3 axes :

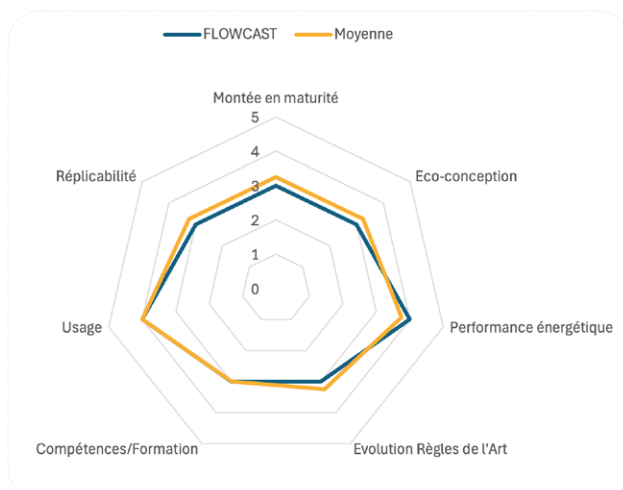
- concevoir les bâtiments de façon dynamique selon des scénarios d'usages réels, sur l'ensemble des postes de consommation et en se basant sur la performance réelle en énergie finale et non conventionnelle, avec un gain énergétique global de 12 % ;
- freiner le surdimensionnement excessif et systématique des infrastructures ;
- définir la place exacte du Vehicle to Grid et du couple mobilité/bâtiment dans le modèle de demain.

Il doit également permettre de limiter la puissance appelée par le bâtiment.

12 %



de gain énergétique



5.4

100 % ENR



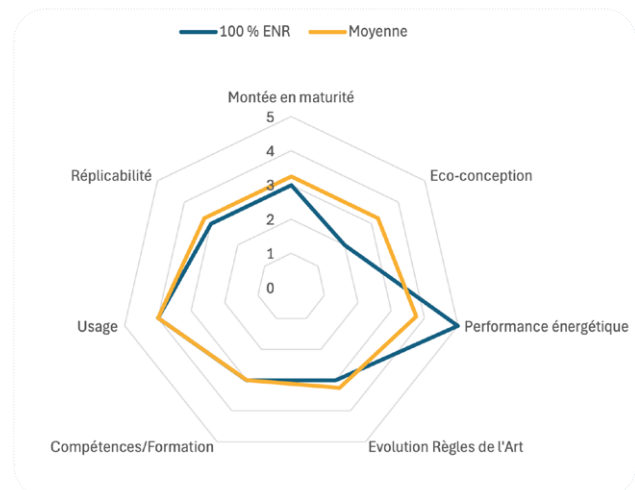
Présentation

Ce projet concerne l'implantation dans l'ARENA Porte de la Chapelle d'une usine de production de froid, par l'intermédiaire d'une installation géothermique, qui permet de produire 100 % des besoins en froid de l'ARENA et qui sera alimentée en partie par 1 850 m² de panneaux solaires photovoltaïques en toiture. L'installation géothermique (via une récupération thermique + PAC) permettra à terme de couvrir les besoins en chaud de l'Aréna.

À noter qu'un raccordement au réseau de chaleur de la Compagnie parisienne de chauffage urbain (CPCU) est toutefois nécessaire pour 50 % des besoins de chaud, au moins au début. L'ECS est produite par le CPCU (40 %), le réseau froid (40 %) et des ballons électriques (20 %).

Si une partie des installations techniques a déjà été réceptionnée avec le bâtiment début 2024, l'innovation prendra tout son sens avec le raccordement aux réseaux de chaleur et de froid prévu en 2026.

Ouvrage olympique	Arena Porte de la Chapelle
Porteur / MOA	Ville de Paris
Entreprise	Bouygues Construction
Autres intervenants	Climespace - CPCU
Montant dotation (€ HT)	2 055 310
Date réception	2026



Performances

Le porteur indique pouvoir couvrir à terme **100 %** des besoins énergétiques par des ENR, soit au total 900 MWh/an.

100 %



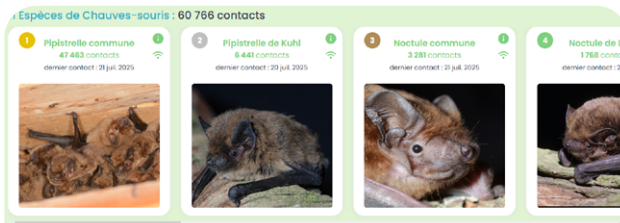
des besoins couverts
par des ENR

ENGAGEMENT ET SENSIBILISATION DES CITOYENS EN PHASE HÉRITAGE



6.1

DÉVELOPPEMENT DE LA BIODIVERSITÉ ET SENSIBILISATION DES CITOYENS



Présentation

Pilier de la stratégie environnementale de la SOLIDEO, la préservation de la biodiversité et la sensibilisation à la préservation des écosystèmes a pu se matérialiser à travers ce projet. Le projet mêle biodiversité et sciences participatives, en permettant le suivi de la faune et de la flore, qui sera réalisé en partie par les usagers et gestionnaires des espaces verts. L'objectif est de favoriser l'appropriation des nouveaux espaces verts en phase héritage des Jeux Olympiques et Paralympiques, notamment grâce à la sensibilisation et l'implication des usagers et résidents dans le choix des stratégies de gestion de la biodiversité locale.

Le projet lie en effet le suivi de la biodiversité à la gestion des espaces extérieurs favorables à la biodiversité et à la sensibilisation du public à la biodiversité selon le concept de gouvernance transformative.

Cette approche s'effectue par l'intermédiaire :

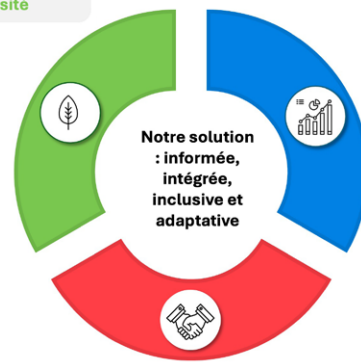
- de la formation des équipes d'entretien des espaces verts à la gestion différenciée ;
- du suivi en continu de la biodiversité, notamment des chauves-souris, via les capteurs Leko ;
- de l'animation d'ateliers pour former les citoyens au suivi de la biodiversité grâce aux sciences participatives ;
- du développement d'indicateurs de suivi de la biodiversité ;
- du suivi de la fonctionnalité des sols créés sur les Villages à partir de matériaux issus de la déconstruction ;
- de la mise en place d'une plateforme numérique permettant la codécision, la consultation des résultats de suivi de la biodiversité.

Objectifs SOLIDEO



Ouvrage olympique	Village des athlètes Village des médias
Porteur	SOLIDEO
Entreprises et partenaires	CDC Biodiversité + Museum national d'histoire naturelle, Birdz, Genesis, Mosaic
Montant dotation (€ HT)	1 166 700
Date réception	Phase héritage

Engagement citoyen et suivi participatif de la biodiversité



Production des données et d'indicateurs

Gestion innovante et codécision

Performances

Au total 6 capteurs sont installés proches des réservoirs de biodiversité des Villages des médias et des athlètes. Ces installations peuvent d'ores et déjà détecter :

- 29 espèces de chiroptères ;
- 42 espèces de sauterelles ;
- 2 espèces de mammifères ;
- 13 espèces d'oiseaux ;
- 10 « autres » (papillons, ver luisant, amphibiens).

Ces différents capteurs permettront d'effectuer un suivi des espèces jusqu'à fin 2028 et ainsi d'évaluer l'établissement de la biodiversité dans le temps.

6



capteurs de la biodiversité

86



espèces détectables

6.2

PROJET ÉCO-CITOYEN



Présentation

Le projet ÉCO-CITOYEN est né de la volonté de la SOLIDEO de s'intéresser aux futurs usages et de créer les conditions favorables à une dynamique de transformation écologique sur le territoire de PLAINE COMMUNE.

Pour y parvenir, le programme visait notamment :

- la structuration d'un réseau social centré sur l'action et ancré sur nos territoires, qui met en visibilité ceux qui s'engagent et facilitent la transition écologique au quotidien ;
- le développement d'un écosystème d'échange sur les gestes et les pratiques réduisant l'empreinte globale et mettant en circularité l'économie, une communauté d'entre-aide pour concilier au quotidien écologie et économie ;
- la mobilisation de l'effet de réseau pour rassembler et engager toujours plus de monde dans la définition et la conduite de ces changements profonds de nos actions ;
- l'élaboration d'une intelligence artificielle territorialisée et maîtrisée localement, à haute exigence éthique et permettant de prendre collectivement de la hauteur, d'appréhender l'impact et la portée de nos actions individuelles et collectives et d'accompagner vers des changements de comportement.

Pour mener à bien ces objectifs, le projet territorial devait s'appuyer sur divers outils, à mobiliser en totalité ou en partie, selon le contexte local. On retrouvait notamment :

- une monnaie locale virtuelle, l'ÉCO ;
- une application dédiée, baptisée « CARTE ÉCO », et donnant accès à des services locaux et des recommandations ;
- un tiers de confiance, le Comité ÉCO, véri-

Ouvrage olympique	Tous ceux sur le territoire Plaine Commune
Porteurs	Plaine Commune / ITHAKE
Montant dotation (€ HT)	Plaine Commune : 1 435 622 ITHAKE : 1 869 400
Date réception	Innovation non menée à terme sur le territoire de Plaine Commune

table cœur de la méthodologie de mise en place et réunissant les citoyens, les acteurs socio-économiques locaux et les pouvoirs publics, afin de prendre les décisions cruciales concernant la mise en place et le fonctionnement sur la durée des outils territoriaux et numériques. Le Comité ECO était notamment chargé de la gestion et/ou de la supervision des dispositifs mis en place (monnaie locale, carte ÉCO, plateforme numérique...).

Un premier déploiement a été réalisé sur le territoire de PLAINE COMMUNE avec pour objectif de démontrer que la solution était viable puis répliquable à plus grande échelle dans d'autres lieux en Europe ou dans le monde.

Performances

Il convient de distinguer les performances liées au développement technologique et numérique, et les performances qui relèvent du déploiement sur le terrain.

En ce qui concerne le déploiement technologique, le prestataire ITHAKE a engagé de nombreux travaux de qualité et qui ont conduit à :

- une application « CARTE ÉCO » jouant le rôle de compagnon numérique facilitant l'exploration de l'écologie territoriale et permettant l'utilisation de la monnaie locale virtuelle ;
- la création de différents codes et protocoles ;
- une base de données des actions écologiques sur le territoire ;
- une intégration progressive des infrastructures numériques locales dans la plateforme ÉCO pour permettre des utilisations et exploitations gratuites et collectives ;
- le développement d'une *proof of concept* permettant de préserver l'anonymat des usagers ;
- une plateforme sur la gouvernance et la valorisation des données territoriales.

6.2 PROJET ECO-CITOYEN



En ce qui concerne la partie territoriale, les premières actions déployées ont rapidement trouvé un écho favorable auprès de la population et des commerçants avec :

- opérations d'apports volontaires de tissus à réemployer ;
- ateliers de cuisine contributive ;
- paiement en ÉCO (monnaie locale virtuelle) dans les magasins et chez certains restaurateurs ;
- création d'un réseau par la mise en relation des différents acteurs du territoire ;
- événements festifs et manifestations incitatives (ex : pour l'achat un plat végétarien, 5 ÉCO offerts).

Ces différents travaux et actions territorialisés, conçus et déployés sur une partie du territoire de PLAINE COMMUNE, ont permis d'ancrer l'action écologique dans le quotidien des usagers.

Au début de l'année 2025, le réseau était déjà constitué de 150 adhérents professionnels (associations, commerces, entreprises) et 800 particuliers, principalement habitants de PLAINE COMMUNE.

800



adhérents et 150
professionnels



Enjeux de développement et perspectives

La SOLIDEO a souhaité que le projet bénéficie d'une indépendance juridique et financière sur le long terme. Il a ainsi été demandé au porteur de disposer d'un statut de droit privé et de pouvoir justifier un *business model* dans lequel les subventions publiques sont exclues.

Ces prérogatives sont pertinentes dans la construction d'un projet de territoire dans la mesure où elles permettent une forme de dépolitisation du projet ainsi qu'une indépendance sur le plan économique. Elles supposent néanmoins de convaincre des investisseurs privés, de dégager une rentabilité et d'avoir une vision entrepreneuriale qui n'est pas évidente à appréhender dans le cadre d'une activité destinée à la sphère publique.

Comme tout projet innovant, ÉCO CITOYEN faisait l'objet de risques quant à sa pérennité, il exigeait de nombreuses ressources, à la fois humaines et financières mais répondait à des enjeux forts et d'actualités. N'ayant pas pu lever l'intégralité des fonds nécessaires qu'ITHAKE s'était engagée à trouver, le projet s'est arrêté en 2025.

Ces évolutions font que les enjeux actuels de la phase héritage diffèrent de ceux envisagés initialement. Au moment de la rédaction de ce rapport, l'enjeu est donc principalement de maintenir la dynamique créée par ÉCO CITOYEN, autour d'actions permettant de favoriser la mise en relation des différents acteurs du territoire et la promotion d'actions et de gestes permettant de réduire l'impact carbone, de favoriser l'économie circulaire et l'entre-aide sur le territoire de PLAINE COMMUNE.

Si ÉCO CITOYEN n'a pour le moment pas pu aller au bout de ses ambitions, il demeure un projet répliquable intéressant, à forts enjeux et en lien avec des sujets d'actualités. Il peut parfaitement s'adapter aux spécificités de n'importe quel territoire en France, à condition de prendre en compte les caractéristiques du territoire et d'y consacrer les moyens nécessaires.

6.3

GIVEVISION

Objectifs SOLIDEO



Présentation

L'innovation portée par la Ville de Paris, en collaboration avec l'entreprise GiveVision, a pour objectif de permettre un retour, ou une arrivée, dans les stades des personnes vivant avec d'importantes déficiences visuelles.

En effet, même s'il existe des dispositifs d'audio description, la majorité des personnes malvoyantes préfère utiliser leur vision résiduelle, que ce soit dans leur vie quotidienne ou pour des événements sportifs.

Ainsi, si la proportion de personnes avec une déficience visuelle est d'environ une personne sur 30 en France, on ne compte qu'une personne avec déficience visuelle sur 3 000 lors des événements sportifs et culturels.

Pour répondre à ces enjeux, un casque permettant d'améliorer le visionnage en temps réel a été développé par l'entreprise GiveVision. Grâce à l'utilisation de ce casque et de leur vue résiduelle, les personnes en situation de déficience visuelle voient leur expérience de spectateur grandement améliorée.

Ouvrages olympiques	Arena Porte de la Chapelle - Paris Bercy
Porteurs	Ville de Paris - GiveVision
Montant dotation (€ HT)	138 900
Date réception	Mars 2025

Performances

Pour atteindre ses objectifs, le projet doit d'abord bénéficier d'un développement technologique. En effet, l'intégration de la solution ne doit pas entraîner de contraintes technologiques et son déploiement doit être facile et facilité.

La connectivité du casque se faisant par Wifi, un déploiement de ce dernier dans l'ensemble des infrastructures est indispensable sous peine de compliquer l'accès ainsi que de restreindre le choix des places à certaines zones.

Pour répondre à cette problématique, le projet ambitionne de développer un système de connectivité ultra-performant avec une qualité de signal qui pourrait couvrir à minima 50 % des sièges de l'infrastructure.

L'optimisation et à la sécurisation de l'utilisation doivent aussi être prises en compte et développées. Ainsi, le casque devra proposer un système d'assistance à distance intégré afin de permettre son optimisation en fonction des événements proposés mais aussi d'assurer l'identification de l'endroit où se trouve la personne pour l'aider en cas de difficultés avec le casque.

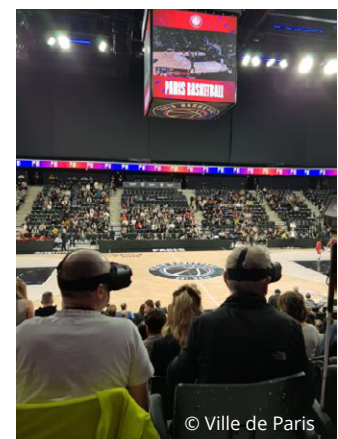
Dans ce cadre, les sites de l'Arena Paris Bercy et de l'Arena Porte de la Chapelle serviront de tests grandeur nature pour confirmer les scénarios de connectivité et de parcours utilisateurs pour une accessibilité universelle de la solution et sa répliquabilité sur d'autres sites.

Une expérience utilisateur notée

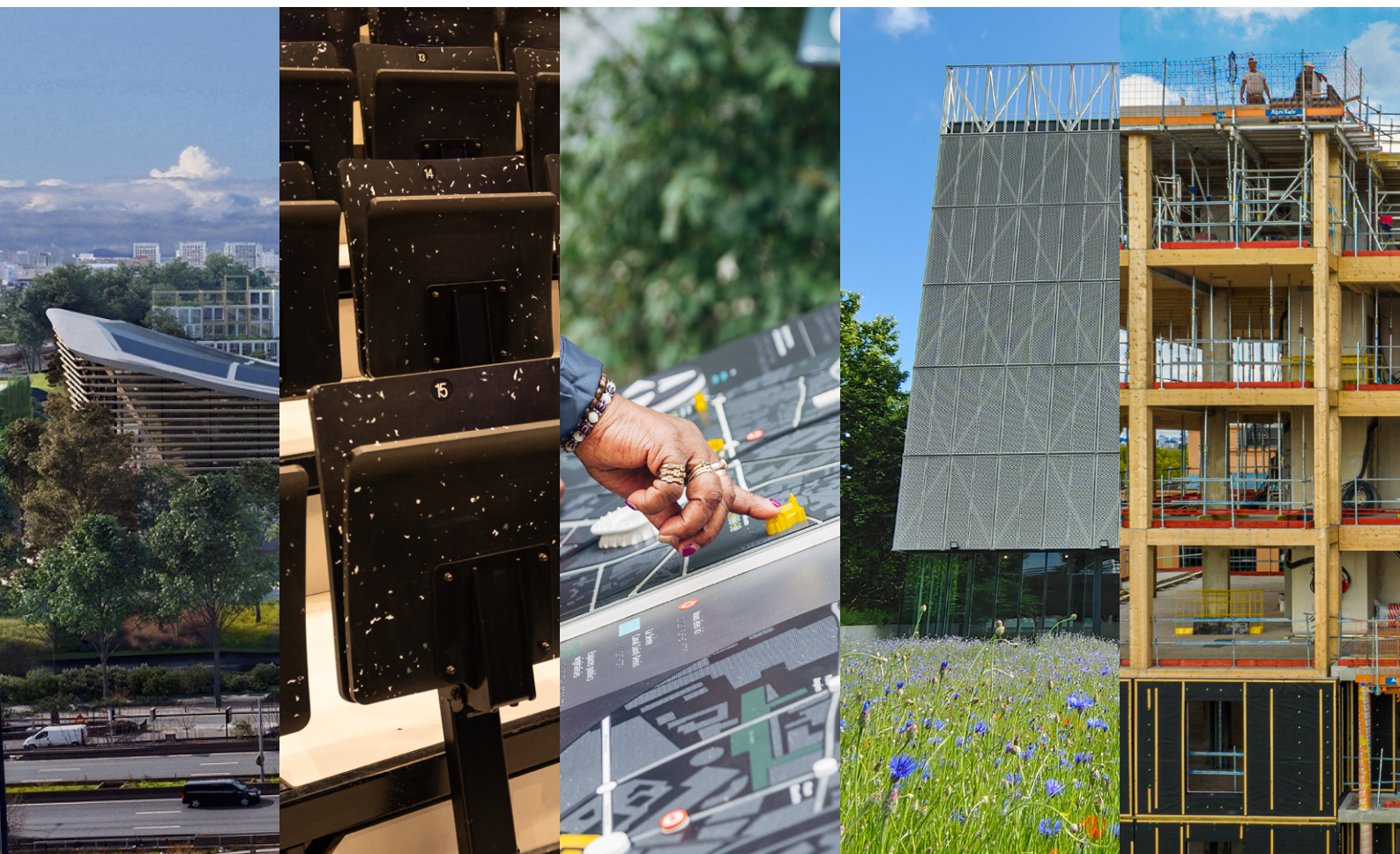
8,5/10



contre 3/10
en l'absence de
casque



BILAN, ENSEIGNEMENTS ET PERSPECTIVES



La réalisation des infrastructures pour les Jeux Olympiques et Paralympiques s'inscrit dans un cadre particulièrement contraint, tant sur le plan technique, financier que calendaire. Dans un tel contexte, une approche conservatrice, souvent perçue comme moins risquée, aurait pu être privilégiée par facilité.

Or, les défis urbains et environnementaux actuels rendent toute forme d'immobilisme intenable. L'innovation s'impose comme une exigence pour répondre aux attentes de durabilité et de performance. La devise olympique, en français « **Plus vite, plus haut, plus fort – Ensemble** », fait écho à cette dynamique de progrès, alignée sur les objectifs de transition écologique et d'adaptation des villes.

Il existe donc une cohérence forte entre les ambitions portées par les Jeux et les impératifs de transformation urbaine et environnementale. Relever ces défis demande une mobilisation collective, intégrant des solutions techniques innovantes et durables, déployées de manière structurée et reproductible.



ALLER PLUS VITE EN S'APPUYANT SUR DES MÉTHODES ÉPROUVÉES

Dès 2018, la SOLIDEO a identifié les organisations et les compétences clés pour bâtir des convergences efficaces et capables d'atteindre des objectifs ambitieux.

Le travail mené en collaboration avec les Filières Constructives et Industrielles, avec les maîtres d'ouvrage, les différents groupements de conception, les principales entreprises chargées de la réalisation et le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment a ainsi été crucial pour parvenir aux résultats développés dans ce rapport. Par ailleurs, la SOLIDEO s'est inscrite dans les cadres procéduraux existants,

sans passe-droit, garantissant la robustesse et la légitimité des démarches engagées.

Aussi, dès l'origine, un état de l'art a été mené avec la filière bois afin de recenser les procédés constructifs déjà reconnus et ceux à fort potentiel de développement industriel. Ce travail a orienté les prescriptions et préparé les conditions de reconnaissance lorsque les domaines d'emploi étaient dépassés.

ALLER PLUS HAUT EN ÉTANT CONSCIENT COLLECTIVEMENT DE L'EFFORT À PRODUIRE

Chaque famille prometteuse de procédés constructifs et d'équipements innovants retenue a été hissée plus haut que la situation initiale dans laquelle celle-ci évoluait avant la réalisation des ouvrages olympiques. Selon les cas de figure, la démarche d'innovation de la SOLIDEO a permis d'offrir un cadre pour prototyper des innovations de rupture, tandis que d'autres innovations prometteuses mais plus précoces ont pu être accompagnées de façon incrémentale en vue de leur déploiement à plus grande échelle.

Les projets innovants de revêtements extérieurs et les douches accessibles sur supports bois illustrent cela. Bien qu'ils aient déjà été mis en œuvre dans certains projets immobiliers localisés, l'absence de retour d'expérience probant – autrement appelé expérience reconnue et réussie – constituait un obstacle à leur reconnaissance en technique courante, et donc à leur acceptation de facto par les assureurs, nécessaire à leur répliquabilité.

Pour lever ce verrou, la SOLIDEO a commandé la rédaction de 3 guides techniques disponibles en open source. Ces documents listent de façon exhaustive l'ensemble des exigences et des points de vigilance qui doivent être pris en compte durant la conception et la construction afin de garantir la pérennité et la fiabilité des ouvrages.

Ces guides ont d'abord joué un rôle déterminant dans l'obtention des 16 Appréciations Techniques d'Expérimentation (ATEX) formulées favorablement pour les bâtiments du Village des athlètes (15 ATEX relatives à des complexes de façade et la dernière pour les douches zéro ressaut sur support bois). Cette initiative a également servi de catalyseur, notamment pour le Club des Industriels de la Filière Bois, qui a contribué à développer concrètement l'offre industrielle de tels procédés, dépassant ainsi le seul cadre de l'expérimentation de la démarche d'innovation de la SOLIDEO.

Sur les autres ouvrages, deux ATEX ont également été obtenues : l'une pour la charpente en bois du Centre Aquatique Olympique et une autre pour le complexe de toiture acoustique de l'Arena Porte de la Chapelle.

ÊTRE PLUS FORT EN DÉMONSTRANT À CHAQUE ÉTAPE SA CAPACITÉ À FAIRE

L'expérience collective des ouvrages olympiques a rappelé que la démonstration de la maîtrise technique reste un exercice exigeant, souvent sous-estimé. Concevoir ou réaliser un ouvrage ne suffit pas. Il faut aussi être capable d'expliquer ses choix, de les justifier par rapport aux normes et réglementations en vigueur, et de les présenter de façon intelligible aux différentes parties prenantes du projet comme aux instances de contrôle.

Cette exigence de démonstration implique de rendre les étapes de mise en œuvre de l'innovation à la fois compréhensibles et opérationnelles pour l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur immobilière, et non pour le seul contrôleur technique construction. De la collectivité initiatrice à l'utilisateur final, en passant par les experts et les équipes de maîtrise d'œuvre, la capacité à démontrer le « savoir-faire » conditionne d'une part la faisabilité des solutions mises en œuvre et d'autre part leur fiabilité et leur reproductibilité. Un tel effort collectif est indispensable pour sécuriser les innovations et dépasser l'idée reçue selon laquelle les procédures d'évaluation – comme les ATEX – seraient systématiquement sources de surcoûts ou de dérapages calendaires, voire conduisent à justifier la dégradation des ambitions des projets.

Par ailleurs, la massification de solutions bas carbone émergentes représente un défi particulier : elle impose de constituer un corpus de preuves techniques à la fois compréhensible et réutilisable pour de futurs projets sur l'ensemble du territoire. La matérialisation de cette démarche passe par la documentation systématique de chaque projet innovant. Cette traçabilité constitue un actif stratégique, garantissant la robustesse des innovations et ancrant leur fiabilité dans la durée.

À titre d'exemple, la mise en place d'une gestion rigoureuse des risques liés à l'humidité et à l'incendie pendant les phases de chantier illustre bien l'importance d'une telle formalisation. L'élaboration de Plans d'Assurance Qualité précis et adaptés a ainsi contribué à prévenir de sérieuses déconvenues. Des manuels d'entretien et de maintenance détaillés complètent ce dispositif. Enfin, une animation continue demeure indispensable pour les faire connaître, appliquer et évoluer dans le temps long.

AGIR ENSEMBLE EN DÉFINISSANT UN LANGAGE COMMUN

Le partage d'un langage commun entre les acteurs de la construction est un préalable essentiel à tout progrès collectif. Cette compréhension commune, particulièrement cruciale dans le cadre de projets d'innovation, s'appuie

sur un socle de référence partagé : celui des normes et de la réglementation.

En valorisant ainsi le corpus normatif existant et en l'enrichissant avec discernement, il devient possible d'accompagner efficacement la diffusion de modes constructifs plus vertueux et durables. Ce choix permet à la fois de sécuriser les pratiques, de garantir la compatibilité avec les exigences existantes et de faciliter l'appropriation des solutions nouvelles par l'ensemble des professionnels.

Un cas d'application concret est celui de la sécurité incendie, notamment pour les bâtiments d'habitation dont la réglementation datait de 1986 avec une dernière modification partielle en août 2019. L'élaboration et la diffusion de notes dédiées intégrant les connaissances les plus récentes ont conduit à réexprimer les spécificités de modes constructifs mobilisant notamment le matériau bois. Réaffirmer la distinction fondamentale entre les objectifs de performance, de sécurité et les moyens pour y parvenir a permis d'ouvrir la voie à l'innovation de manière sécurisée et partagée.

CITIUS, ALTIUS, FORTIUS – COMMUNITER

L'innovation pilotée par la SOLIDEO au travers de son Comité Innovation et avec ses partenaires poursuivait un double objectif : maîtriser l'exécution des innovations et générer un progrès collectif.

Pour y parvenir, il a été nécessaire de réinterroger les fondements techniques et réglementaires souvent admis comme acquis. Pour chaque procédé innovant, distinguer les objectifs de performance (« le quoi ») des prescriptions de moyens (« le comment ») a permis de transposer les exigences de fiabilité avec précision et de développer des justifications techniques plus efficaces.

Le processus d'évaluation a démontré l'importance de rendre explicites des savoir-faire implicites, transformant la pensée en un « faire-savoir » transmissible.

Car ce qui a été possible ici, l'est bien partout ailleurs et d'autres territoires se sont d'ores déjà appropriés ces méthodes en poussant d'ailleurs même parfois plus loin ce qui en a fait la force. On peut citer Nantes Métropole Aménagement qui au sein de son opération Pirmil – Les Isles a créé un Comité Innovation & Qualité (CIQ), pour accompagner l'accélération de la structuration de filières locales bas carbone et fiabiliser les constructions.

C'est bien le propre d'un héritage que de constituer un socle de progrès.



18, RUE DE LONDRES 75 009 PARIS



Agence qualité
construction



L'Innovation Durable



INGÉNIEUR POUR BÂTIMENTS ENGAGÉS



www.ouvrages-olympiques.fr



@SOLIDEOHERITAGE



Société de Livraison
des Ouvrages Olympiques
- SOLIDEO



@SOLIDEO_JOP