



SOLIDEO | EXCELLENCE ENVIRONNEMENTALE | Stratégie & Mise en œuvre | Point d'étape - Octobre 2022

SOLIDEO
SOCIÉTÉ DE LIVRAISON DES
OUVRAGES
OLYMPIQUES

18, RUE DE LONDRES
75009 PARIS

www.ouvrages-olympiques.fr

 @SOLIDEO_JOP  @SOLIDEOHERITAGE

 Société de Livraison des Ouvrages Olympiques

SOLIDEO
SOCIÉTÉ DE LIVRAISON DES
OUVRAGES
OLYMPIQUES

EXCELLENCE ENVIRONNEMENTALE

Stratégie & Mise en œuvre

Point d'étape
Octobre 2022

#LesBatisseuses
#LesBatisseurs

EXCELLENCE ENVIRONNEMENTALE

STRATÉGIE & MISE EN ŒUVRE

POINT D'ÉTAPE - OCTOBRE 2022



PRÉAMBULE	4
I. VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE À L'HORIZON 2050	
A. DES OUVRAGES AUX AMBITIONS FORTES	8
B. UNE STRATÉGIE DANS LE TEMPS	8
1. Conception	8
2. Chantier	30
3. Exploitation et vie du bâtiment	36
C. BILAN PROVISOIRE	44
1. Produits de construction et équipements	44
2. Analyse sur l'ensemble du cycle de vie	45
II. PENSER LE CONFORT URBAIN EN 2050	
A. DES OBJECTIFS QUI ANTICIPENT LE CLIMAT À L'HORIZON 2050	48
1. Simuler le climat de 2050	48
2. Des objectifs quantitatifs pour les bâtiments	50
3. Des objectifs qualitatifs pour les espaces extérieurs	50
4. Un point d'attention sur la qualité de l'air	51
B. UNE STRATÉGIE ADAPTÉE À CHAQUE ÉCHELLE ET À CHAQUE PROJET	51
1. Le bioclimatisme au cœur de la conception	51
2. Espaces extérieurs : lutter contre les îlots de chaleur	55
3. Un réseau de froid dès les Jeux et pour l'Héritage	57
4. Qualité de l'air intérieur et extérieur	59
C. ÉTAT DES LIEUX	61
III. FAIRE DE LA VILLE UN SUPPORT DE BIODIVERSITÉ	
A. RESTAURER ET CRÉER DES ÉCOSYSTÈMES	64
B. LA BIODIVERSITÉ AU CŒUR DE LA CONCEPTION URBAINE	65
1. Des continuités écologiques à toutes les échelles	65
2. Créer des sols fertiles	68
3. Transformer le bâti en support de biodiversité	70
C. DES ÉCOSYSTÈMES RICHES ET ÉQUILIBRÉS	72
1. Des habitats cohérents	73
2. Des habitats complexes et diversifiés	74
3. Des habitats adaptés aux espèces cibles	75
4. Le respect de la trame noire	76
5. Pérenniser les habitats : la gestion différenciée	76
SYNTHÈSE	79

PRÉAMBULE

Face aux grands défis climatiques, énergétiques et environnementaux contemporains, la SOLIDEO a souhaité agir au-delà de sa mission première : la livraison des 64 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 conçoit et réalise, en collaboration avec l'ensemble des maîtres d'ouvrage, la ville frugale et résiliente dont nous avons impérativement besoin.

Quatre enjeux 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, affirmant une singularité française dans l'histoire des Jeux et offrant une vitrine exceptionnelle au savoir-faire national dans les filières de l'aménagement et de la ville.

1 VERS LA VILLE POST-CARBONE : QUELLE ÉTAPE EN 2024 ?

En matière d'atténuation du changement climatique, les ouvrages olympiques s'inscrivent résolument dans une démarche de réduction de l'impact carbone non seulement en phase construction mais également sur l'ensemble de leur cycle de vie. Ils représenteront, dès 2024, une étape ambitieuse sur la trajectoire vers la neutralité carbone à l'horizon 2050. L'aménagement du Village des Athlètes réduit ainsi de 43% son impact carbone par rapport à une opération classique. Des seuils exigeants - fixés comme objectifs pour chacune des opérations - font des Jeux un véritable progrès dans la trajectoire bas carbone.

2 VERS L'ÉPUISEMENT DES RESSOURCES : QUEL MÉTABOLISME URBAIN ?

L'approche circulaire préside à chaque étape des projets, de la déconstruction sélective jusqu'à la mise en œuvre de matériaux issus du réemploi. 96% des matériaux générés par la déconstruction sur le Village des Athlètes ont ainsi été orientés vers des filières de valorisation. Les ouvrages olympiques constituent, par leur ampleur, un catalyseur inédit pour l'affirmation de l'économie circulaire, et la généralisation de la démarche de réemploi à l'ensemble des projets urbains.

3 VERS UN NOUVEAU CLIMAT : QUEL CONFORT URBAIN EN 2050 ?

Tous les projets supervisés par la SOLIDEO prennent en compte la réalité du changement climatique et la nécessaire adaptation de la ville. Les simulations thermiques, réalisées à chaque étape des projets, ont orienté les choix de conception pour assurer le confort des futurs occupants des logements, bureaux et équipements. Ainsi, sous le climat de 2050, les périodes d'inconfort n'excéderont pas 3% du temps au sein du Centre Aquatique Olympique ou de l'Arena Porte de la Chapelle. L'intégration systématique du climat futur dans la conception est une démarche inédite à cette échelle. Elle stimule d'importantes évolutions méthodologiques au sein de la filière.

4 VERS LA 6^{ÈME} EXTINCTION DE MASSE : QUELLE BIODIVERSITÉ URBAINE ?

Dans le contexte spécifique de zones densément urbanisées, les ouvrages olympiques sont démonstrateurs d'une stratégie d'amplification de la biodiversité à grande échelle. En travaillant sur les sols, les continuités, les palettes végétales et leur adaptation à l'environnement et au climat, les projets suscitent la création d'écosystèmes urbains complets où l'humain et la nature coexistent en bonne intelligence.

Afin de répondre à ces quatre grands enjeux, la SOLIDEO a choisi l'innovation.

Les ouvrages olympiques donnent à voir plusieurs innovations de rupture. Ces projets, aux surcoûts financés par le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO, font la démonstration de systèmes constructifs jamais éprouvés, proposent des solutions techniques directement issues de la recherche et développement, au niveau des matériaux, de l'énergie, du traitement de l'air ou de l'eau, du recyclage... Si leur niveau de maturité ne permet pas toujours une réalisation dans les délais des Jeux, le travail de conception apporte des enseignements précieux pour de futures réalisations, voire pour une généralisation de ces pratiques.

Dans des délais très contraints et dans une économie classique de la construction, les

ouvrages olympiques ont réussi à massifier et généraliser des procédés éprouvés à plus petite échelle, démontrant ainsi leur maturité. C'est par exemple le cas de techniques constructives faisant appel au bois, en structure ou en façade.

Dans une logique de retour d'expérience et de partage de la connaissance, la SOLIDEO documente les réussites et les obstacles rencontrés autour des ouvrages olympiques afin de laisser en héritage des clés de compréhension.

En date d'octobre 2022, alors que la plupart des chantiers est lancée, le présent document constitue un point d'étape. Il sera amené à être complété au fil des projets et jusqu'à leur livraison.





VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE À L'HORIZON 2050

VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE À L'HORIZON 2050

A. DES OUVRAGES AUX AMBITIONS FORTES

La SOLIDEO a instauré une stratégie de réduction des émissions carbone, pour l'ensemble des ouvrages olympiques pérennes, sur l'ensemble de leur cycle de vie. Cette stratégie, mise en application par le maître d'ouvrage, se traduit par la définition d'un « budget carbone ». Il fixe un seuil en valeur absolue exprimé en équivalent tonnes de CO₂. Un scénario de référence définit un niveau de performance à atteindre pour chaque opération en phase conception, chaque mode constructif et chaque typologie. Le scénario de référence répond aux standards 2019 du secteur de la construction, conforme à la réglementation thermique en structure béton. Pour chacun des ouvrages, la SOLIDEO a déterminé d'une part un budget « socle » à ne pas dépasser, d'autre part un budget carbone dit « innovant », plus faible, correspondant à une cible à viser pour le

maître d'ouvrage. En fonction des typologies d'ouvrage et des leviers disponibles en matière de bilan carbone, la réduction entre l'objectif « socle¹ » et le scénario de référence varie de 10% (infrastructures, aménagements paysagers) à 50% (lots immobiliers du Village des Athlètes).

En parallèle, lorsque les typologies d'ouvrage s'orientent vers le résidentiel, tertiaire ou scolaire, les opérations s'inscrivent dans les démarches de référentiels pertinentes² telles que E+C-³, Bâtiment à Énergie Positive et Réduction Carbone, ou BBCA, Bâtiment Bas Carbone. La SOLIDEO et les maîtres d'ouvrage fixent, à partir de ces référentiels, des objectifs spécifiques. Les logements du Village des Athlètes visent ainsi les niveaux E3C1, au moins conformes au niveau de performance « énergie 3 » E3C2 du référentiel E+C.

B. UNE STRATÉGIE DANS LE TEMPS

L'aménagement post-carbone passe par la mise en œuvre d'une stratégie reposant sur des leviers multiples et tenant en considération chaque phase de la vie des projets : conception, chantier, exploitation.

1. Conception

Adapté à chaque typologie d'ouvrage, le processus de conception des projets olympiques vise en premier lieu l'économie de matière, et privilégie ensuite le recours aux matériaux les moins carbonés possibles.

Économie de matière

Rénover au lieu de construire

La sélection des sites olympiques est réalisée lors de la phase de candidature, par le comité d'organisation. La construction de nouveaux équipements s'inscrit dans une maquette qui compte 95% d'équipements sportifs existants. L'ambition est d'organiser des Jeux sobres et durables, répondant aux besoins urbains du territoire, à l'héritage aligné sur l'Accord de Paris et les grands enjeux environnementaux

du siècle. Sur les 64 ouvrages que supervise la SOLIDEO, une vingtaine de sites sont en cours de rénovation, dont d'emblématiques ensembles architecturaux : la piscine Georges Vallerey - construite pour les Jeux 1924 - le stade départemental Yves du Manoir, la grande Nef de l'Île des Vannes et la halle Maxwell.

La candidature de Paris marque une rupture avec une longue tradition associant l'accueil des Jeux avec une surabondance d'infrastructures nouvelles. La construction d'équipements temporaires permet à la ville de ne pas sacrifier de terrain qui, trop monofonctionnel, ferait ensuite défaut aux citoyens. Un objectif carbone (estimé en m²) a été fixé, dès que possible, aux ouvrages en restauration, inférieur à celui des réalisations neuves.

Frugalité et réversibilité

La réduction du bilan carbone réside sur des choix structurels : économiser la matière, offrir aux ouvrages un potentiel important de modularité des espaces, de réversibilité d'usage.

Le parti-pris constructif du Village des Athlètes et du Village des Médias anticipe la réversibilité d'usage entre les Jeux et leur Héritage, en privilégiant les structures poteaux-poutres-planchers ou poteaux-dalles. Évitant voiles et refends, le mode constructif économise de la matière et offre un potentiel de modularité et de réversibilité important aux parkings enterrés, aux locaux d'activité des socles ainsi qu'aux bureaux et logements⁴.

Penser la réversibilité, transmettre l'Héritage

Pensés pour l'Héritage, les ouvrages doivent évidemment répondre aux objectifs d'accueil des Jeux Olympiques et Paralympiques. Cette « double vie » des aménagements olympiques est déterminante dans la façon de concevoir les ouvrages.

Pour le Village des Athlètes, il s'agissait de prévoir des bâtiments qui accueilleront 14 250 athlètes et accompagnants pendant 3 mois et qui seront dédiés, dans un second temps, aux besoins de la population locale en matière de logements, bureaux et locaux d'activité.

En phase Jeux, de nombreux équipements indispensables en configuration Héritage ne seront ainsi pas encore installés, comme les cuisines. En revanche, d'autres, comme des cloisons ou salles de bain, seront ajoutés de façon temporaire.



- Le permis à double état, une innovation administrative exceptionnelle

Le permis à double état est une innovation administrative liée au caractère exceptionnel des ouvrages olympiques. Créé par l'article 15 de la loi n° 2018-202, dite loi Olympique, le permis à double état fait partie des outils spécialement prévus en matière d'urbanisme pour faciliter l'organisation des Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024.

Ce permis innovant fusionne, en une seule et même autorisation d'urbanisme, les deux états successifs des futurs ouvrages : le provisoire, destiné à accueillir les manifestations olympiques, et le définitif, dédié aux besoins des habitants. Les opérateurs immobiliers doivent ainsi anticiper l'état définitif des installations dès la conception. La loi portant évolution du logement de l'aménagement et du numérique (Elan) du 23 novembre 2018 et son décret d'application n° 2018-512 du 26 juin 2018, ont précisé les spécificités de ce permis, sans toutefois créer de régime dérogatoire autonome à proprement parler. La volonté du législateur était d'inventer un nouvel outil qui réponde aux préoccupations des collectivités territoriales quant à la reconversion des sites des Jeux Olympiques et Paralympiques. Il devait, dans le même temps, autoriser deux versions successives d'une même construction : la version Jeux Olympiques et Paralympiques et la vocation Héritage.

1 - Objectif fixé pour le bilan carbone correspondant à la mise en œuvre de bonnes pratiques environnementales pour un résultat satisfaisant

2 - Compte tenu de leur calendrier de réalisation, les ouvrages olympiques ne sont pas soumis à la RE2020. Les objectifs ont été fixés dans le cadre des ambitions de la Stratégie Nationale Bas Carbone.

3 - Label énergie positive et réduction carbone (E+C-)

4 - Afin de répondre aux enjeux de l'organisation des Jeux Olympiques et Paralympiques, les ouvrages sont pour la plupart aménagés temporairement dans une configuration spécifique pour la période des Jeux. C'est le cas notamment des logements familiaux et des bureaux du Village des Athlètes, voir page suivante.

Le permis sécurise ainsi les groupements de promotion et d'investissement car il garantit juridiquement la réalisation (et donc la commercialisation) de la phase ultime « Héritage » mise en œuvre cinq ans après la délivrance des permis de construire. Notons que le dispositif autorise naturellement des permis de construire modificatifs sur chaque état.

Le Village des Athlètes est le site d'expérimentation principal du permis à double état. La programmation destinée à accueillir les chambres d'athlètes en phase Jeux était également dédiée à des immeubles de logements familiaux et tertiaires en phase Héritage. Les coûts de réversibilité associés

à ces travaux ont été forfaitisés, ce qui induit de la part des opérateurs et constructeurs à se montrer performants et innovants. La capacité de réversibilité des bâtiments éprouvée et évaluée sur une échelle de deux ans favorise, sur le long terme, une multiplicité des usages à coûts maîtrisés. Cette agilité dans la réponse aux besoins des générations futures représente un gage de durabilité des bâtiments.

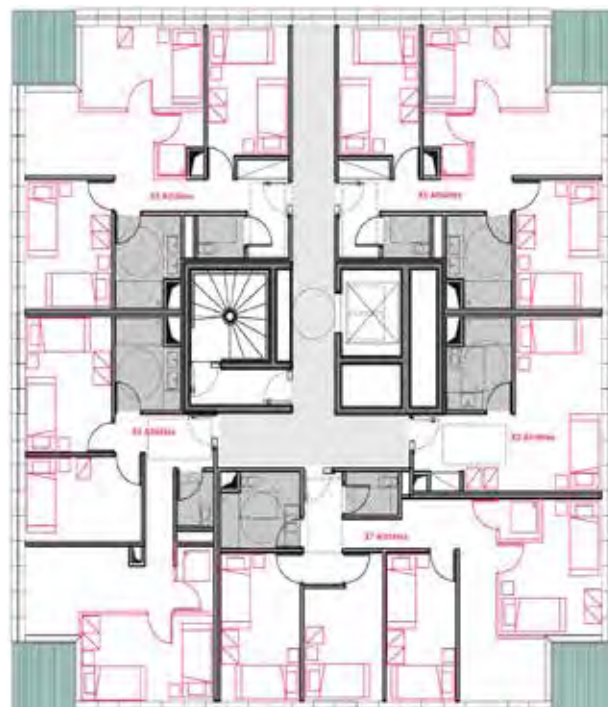
Notons enfin que la loi Olympique précise : « le bénéficiaire du permis de construire ou d'aménager dispose d'un délai maximal de trois ans à compter de la date de la cérémonie de clôture des jeux Paralympiques pour réaliser le projet dans son état définitif.

12 permis de construire à double état, pour une surface totale de 330 000 m² SDP¹ ont été déposés à l'été 2020, instruits à l'automne et obtenus entre fin 2020 et 2021 pour le Village des Athlètes. Deux correspondent à des opérations de bureaux sur près de 40 000 m² de surface de plancher.

La réversibilité Jeux/Héritage ne concerne pas seulement le Village des Athlètes. La capacité d'accueil du public du Centre Aquatique Olympique est plus importante en phase Jeux qu'en Héritage. A travers le dépôt et l'obtention d'un permis à double

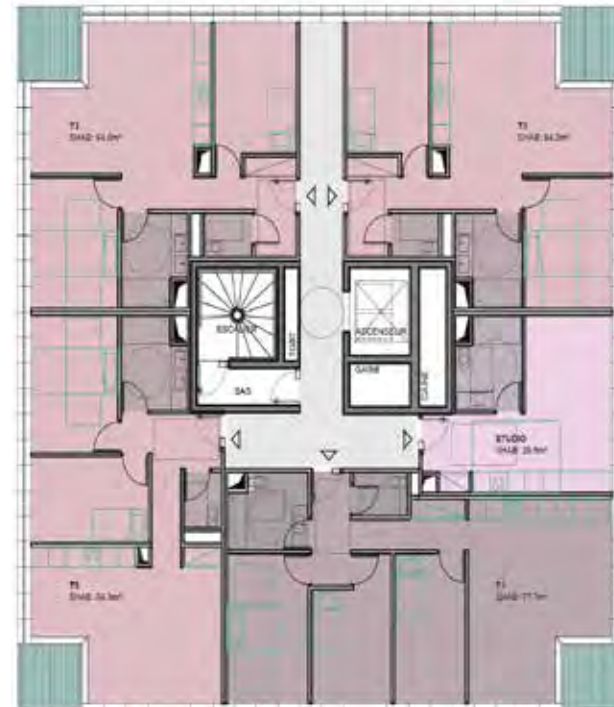
état, la conception de l'ouvrage prévoit cette évolution qui réduit le nombre de gradins pour créer une salle annexe dédiée à d'autres usages. En phase Jeux, des tribunes de 6 000 places seront installées avec une jauge ensuite ramenée à 2 500 places assises dans une configuration « fer à cheval » de type Arena. Saint-Denis bénéficiera donc après les Jeux d'un nouvel équipement de deux bassins (un de 50 m et un bassin de plongeon de 25 m). Modulable, l'ouvrage pourra tout de même accueillir jusqu'à 5 000 personnes en cas d'événements majeurs organisés *in situ* après 2024, tels que des championnats d'Europe.

Réversibilité sur un étage de logements



EN PHASE JEUX

- 2 athlètes par chambre
- 1 salle de bain pour 4 athlètes
- 1 espace de vie (hors équipements cuisine)



EN PHASE HÉRITAGE (exemple pour un T4)

- 3 chambres
- 2 salles de bain
- 1 espace de vie (avec équipements cuisine)



Centre Aquatique Olympique en configuration Héritage

• La réversibilité entre les Jeux et l'Héritage, paradigme d'économie circulaire

La réversibilité Jeux/Héritage dans l'opération du Village des Athlètes implique la dépose de nombreux éléments temporaires, en particulier salles de bain et cloisons. La SOLIDEO a fixé l'objectif de 75% de matériaux démontés et réemployés, en priorité sur la ZAC Village Olympique et Paralympique, pour l'ensemble des matériaux mis en œuvre pour les chambres d'athlètes. Cloisons, ascenseurs, salles-de-bains, portes, serrurerie, revêtements de sols, équipements électriques sont ainsi concernés. Plusieurs solutions sont envisagées par les opérateurs immobiliers pour anticiper leur réemploi :

- la reprise par le fournisseur : c'est le cas pour les ascenseurs, certaines moquettes et salles

de bain. Ces solutions ont, pour la plupart, déjà été contractualisées, notamment sous la forme de contrats de location pour la moquette.

- la reprise par l'entreprise pour ses futurs chantiers, c'est le cas de l'entreprise Paris Ouest Construction sur le lot B2R du Village des Athlètes, qui a identifié un chantier à Villemoisson en 2025 où réutiliser les éléments de plomberie et de serrurerie.

- la reprise par des artisans ou particuliers via des plateformes web ou physiques de réemploi. La mise en place d'un magasin de réemploi en rez-de-chaussée du Village est à l'étude pour écouler directement les matériaux pendant la phase de réversibilité.



Focus sur les cloisons démontables

Les industriels et entreprises de construction se sont fortement impliqués pour trouver des solutions de réemploi des aménagements intérieurs temporaires. Les contrats de location de matériaux ou d'équipements sont très rares dans le secteur de la construction. Le réemploi des matériaux temporaires génère une double économie de CO₂ : non mise en décharge et substitution à des matériaux neufs. Cette économie de CO₂ sera calculée lorsque les filières auront été plus clairement identifiées par les opérateurs immobiliers.

Une réflexion a réuni l'ensemble des acteurs de la construction pour délimiter les chambres d'athlètes avec des cloisons démontables dans les futurs bâtiments de logements ou de bureaux.

À titre d'exemple, Saint-Gobain, a développé un nouveau type de produit, spécifiquement pour les Jeux, qui n'altère pas les sols et plafonds après pose et dépose. L'entreprise a également structuré une filière de réemploi dans son centre de formation via sa fondation.

Joints, plinthes et cornières requièrent des systèmes de fixations qui n'altèrent pas la qualité des plaques de plâtre et préservent leur potentiel de réemploi. Après discussion, Paris 2024 a autorisé une évolution de l'esthétique des cloisons temporaires (absence de plinthes).

Les entreprises doivent à présent anticiper le démontage de ces cloisons et leur évacuation des bâtiments.

Anticiper les transformations d'usages

La généralisation des structures poteaux-poutres sur les opérations d'aménagement des deux Villages facilite les modifications spatiales comme les changements de typologies. Elle permet d'aller plus loin, en imaginant à terme la requalification d'immeubles de logements en bureaux. Le potentiel de réversibilité détermine la performance de durabilité du bâtiment face à l'accélération des mutations dans les usages. Pour les locaux d'activité situés dans les socles, les transformations d'usages sont favorisées

par une conception qui vise d'emblée une forme générique, limitant au maximum les descentes de poutres et par la prévision de locaux techniques et de gestion des déchets.

Dans le secteur D du Village des Médias porté par le groupement Manifesto, un bâtiment propose d'aller plus loin dans la réversibilité avec un niveau de parking en R+1, au premier étage au-dessus des commerces et services. Le stationnement sera transformé à terme en locaux d'activité avec la réduction de l'utilisation de la voiture individuelle et donc des besoins de parking.



Parking réversible en R+1 sur le secteur D du Village des Médias

Matériaux bas carbone

Le déploiement de la stratégie se poursuit avec le recours à des matériaux faiblement émissifs et biosourcés dès lors que cela est possible au regard des conditions de réalisation des projets. Le bois tient une place de premier choix parmi ces matériaux responsables. Il est utilisé en structure, en façade mais également pour l'isolation et le second œuvre.

Bois

Le recours au bois mobilise les acteurs et se concrétise sur de nombreux projets

- La SOLIDEO a permis l'anticipation des évolutions réglementaires en matière de protection incendie en vue d'une massification de la construction bois de moyenne et grande hauteur.

La réglementation incendie française se fonde sur une description des moyens mis en œuvre : la conception, les matériaux et produits de construction utilisés, la réduction des risques de départ d'incendie, l'évacuation des occupants et l'intervention des services de secours. Les constructions en bois de moyenne et de grande hauteur (respectivement de plus de 28 et 50 mètres) sont systématiquement considérées comme des constructions innovantes : il existe peu de retour d'expérience et chaque cas est traité séparément, en adaptant la réglementation incendie, ce qui complique la réalisation de projets bois conséquents et génère de l'incertitude pour les investisseurs.

Compte tenu de l'ampleur des chantiers olympiques, notamment celui du Village des Athlètes, et de la massification à venir de la construction bois de moyenne et grande hauteur, il est apparu nécessaire d'anticiper des évolutions réglementaires venant encadrer et stabiliser en amont les règles constructives.

Afin de répondre à cet impératif de clarification normative, dans un calendrier compatible avec la conception des bâtiments et le dépôt des permis de construire du Village des Athlètes, la SOLIDEO a engagé dès 2018 un processus de concertation entre l'État, la filière bois et les organismes compétents, notamment les pompiers. Ces travaux ont finalement conduit à la publication début 2020 par France Bois



Secteur Universeine - Village des Athlètes

2024 des Notes de préconisations pour la sécurité en cas d'incendie pour les immeubles bois prévus dans le cadre des prochains JOP de Paris en 2024.

Ce document explicite les exigences en matière de sécurité incendie et les contraintes techniques pour les immeubles de moyenne et grande hauteur utilisant massivement du bois :

- moyens actifs de défense incendie, très forte incitation à l'usage de systèmes d'extinction automatique à eau (sans obligation) à fort impact sur la gestion des copropriétés et augmentation des risques eau/bois ;
- mesures de gestion : visites périodiques de type immeuble de grande hauteur (tours de bureaux) plus complexes dans un cadre de logement privé ;
- dispositions passives : ferme-portes afin d'assurer la fermeture systématique des portes et préserver ainsi leur capacité de résistance au feu, doublage systématique des structures en bois par du plâtre.

Les contraintes se révélant trop fortes au regard des délais et de l'ampleur du projet pour les bâtiments de moyenne hauteur (plus de 28 mètres), l'usage du bois en structure a concerné les bâtiments de moins de 28 mètres du Village.

La mise en œuvre de ces éléments de structure bois présente un surcoût par rapport à une structure béton traditionnelle. Ils ont été anticipés au moment de la définition des projets. Des opérateurs évoquent des prix autour de 230 €/m² pour des planchers bois CLT¹, contre 100 à 120 €/m² pour des planchers en béton.

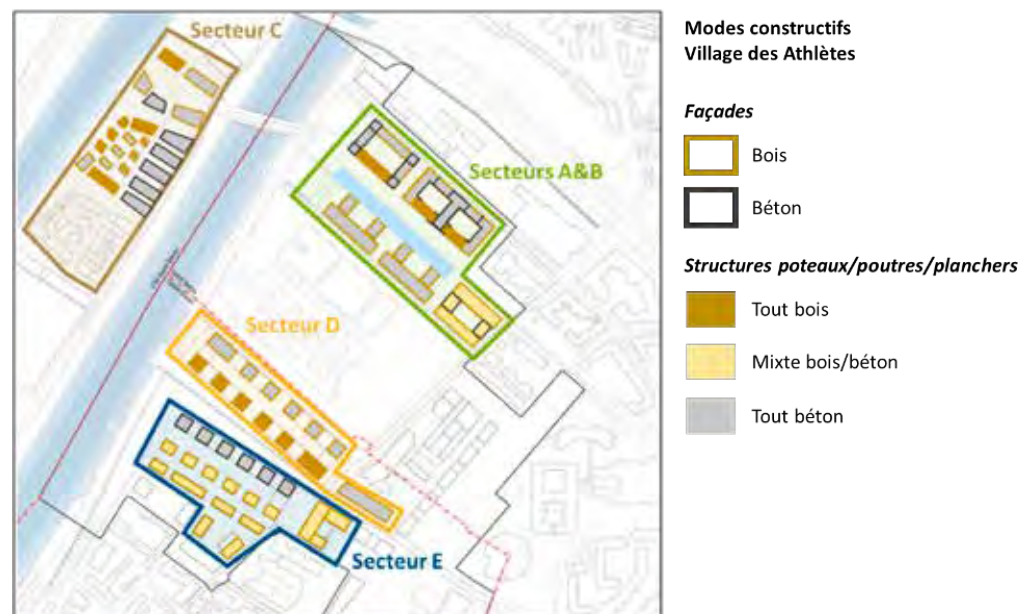
Ainsi, sur la ZAC Village Olympique et Paralympique, 100% des bâtiments de logements de moins de 28 mètres font intervenir le bois en structure. Parmi ces bâtiments, près de la moitié présente une structure tout bois (poteaux, poutres et planchers, hors socle et noyau). Pour certains futurs bâtiments de bureaux, la mise en œuvre de bois en structure complexifierait trop les travaux de réversibilité (en matière

incendie et acoustique) et n'a donc pas été retenue. Au total, 15 000 à 20 000 m³ de bois devraient être mis en œuvre dans le Village des Athlètes.

La Préfecture de Police a publié une nouvelle doctrine datée de juillet 2021 et ne s'appliquant donc pas aux ouvrages du Village. Elle rend plus complexe l'intégration du bois et des biosourcés en structure.

Le matériau bois est présent en structure sur de nombreux ouvrages olympiques. Sur le Village des Athlètes, sur un total de près de 280 000 m² SDP de programmation de bureaux et de logements :

- 200 000 m² SDP font intervenir du bois en façade
- 80 000 m² SDP utilisent du bois en structure (poteaux et/ou poutres et/ou planchers)



L'usage du bois dans les lots privés du Village des Athlètes

De nombreux autres ouvrages olympiques accordent une place importante au bois, notamment en structure. Le bois est ainsi utilisé sur des typologies de programme et de bâtiment variées : logements, bureaux, groupes scolaires, hall d'exposition, centre aquatique...

Dans le Hall 3 du Parc des expositions du Bourget, la charpente fait intervenir 2 440 m³ de bois, évitant 1 600 Téqu CO₂¹ par rapport à une charpente en béton et 5 600 Téqu CO₂ par rapport à une charpente métallique, solutions habituelles pour ce type d'ouvrage. La piscine

de Marville est aussi portée par une structure poteaux poutres et une charpente en bois pour la halle du bassin, soit 448 m³ de bois au total.

Le bois est également utilisé en charpente sur les écoles du Bourget, du groupe scolaire de Saint-Ouen ou dans des ouvrages emblématiques tels que l'Arena Porte de la Chapelle (charpente des gymnases annexes) et le Centre Aquatique Olympique (cf. encadré page 18).

Le bois présente un intérêt indéniable en matière de réduction du bilan carbone. Pour les

planchers d'ouvrages usuels, des opérateurs estiment un poids carbone de 30 kg CO₂/m² en bois CLT contre 50 kg CO₂/m² pour le béton.

Des exigences en matière de traçabilité

Dans le cadre de la promotion du bois comme levier de réduction du bilan carbone des opérations, la SOLIDEO a imposé des prescriptions qui viennent renforcer et garantir le caractère vertueux de l'utilisation du bois de construction :

- la certification PEFC ou FSC, garantes d'une gestion durable des forêts, pour l'ensemble des approvisionnements ;
- l'interdiction des bois d'origine exotique et boréale, hors contrainte technique majeure² ;
- la mise en œuvre d'un minimum de 30% de bois français.

Les documents contractuels établis (conventions d'objectifs, promesses de vente) ont tous adopté ce cadre, voire des dispositions plus contraignantes.

Les maîtres d'ouvrage sont engagés dans une démarche de traçabilité suivie par la SOLIDEO et qui fera l'objet d'un retour d'expérience. L'organisme France Bois 2024 a créé un outil de traçabilité qui n'a pas été retenu au profit de méthodes déjà mises en place par les entreprises, telles que l'étiquette Traçabilité, et d'une vérification complémentaire assurée par l'institut technologique FCBA.

Des démarches partenariales

- La SOLIDEO partenaire de la filière bois



La forte demande en bois générée par les ouvrages olympiques et paralympiques a encouragé la structuration de la Filière Bois.

Son Contrat Stratégique 2018/2022 identifie comme projet structurant le fait de « réaliser de manière exemplaire les ouvrages olympiques et paralympiques des JOP Paris 2024 avec les solutions constructives bois et d'aménagements en bois ». Cette



Travaux de charpente sur le Hall 3 du Parc des Expositions Paris-Le Bourget



Recours au matériau bois dans les écoles du Bourget



Charpente bois de l'Arena Porte de la Chapelle

ambition a notamment conduit à la création de France Bois 2024, dont les missions sont :

- le développement de préconisations techniques auprès de la SOLIDEO et des donneurs d'ordre publics et privés,
- l'accompagnement et la communication auprès des entreprises de la filière,
- la formation.

La SOLIDEO a donc travaillé en étroite collaboration avec France Bois 2024 sur l'ensemble de ces sujets, afin de permettre, dans une logique d'Héritage, la montée en puissance de la filière bois française.

2 - Cette prescription a été respectée sur l'ensemble des ouvrages. Sur le Village des Athlètes, aucune contrainte technique justifiant une dérogation n'a été identifiée sur les lots immobiliers. Sur les espaces publics, dans le cas particulier du platelage bois des berges de Seine, une contrainte technique relative à la pérennité du dispositif dans le cadre de maintenance prévu a conduit à identifier une essence exotique, le tali, comme solution alternative proposée aux entreprises dans le cadre de la consultation.

En matière de formation, France Bois 2024 porte des initiatives soutenues par la SOLIDEO qui se charge notamment de la bonne mise en relation avec les opérateurs du Village. Parmi ces actions et à titre d'exemple :

- la publication d'un guide méthodologique relatif aux études PAC EXE réalisé par Ingénierie Bois Construction début 2021 ;
- l'organisation d'une journée technique dédiée aux conducteurs de travaux sur le Village en septembre 2021 ;
- La rédaction de fiches « retours d'expérience sur interfaces sensibles » pour une diffusion prévue en octobre 2022.



La SOLIDEO s'inscrit également dans un partenariat étroit avec FIBOIS Île-de-France.

Signataire du Pacte Bois-Biosourcés, elle prend l'engagement au niveau « Or » pour l'opération du Village des Athlètes, avec obligation de résultats en matière d'intégration du bois dans la construction et obligations de moyens pour la formation et le retour d'expérience.

D'autres maîtres d'ouvrage des Jeux sont signataires de ce pacte : la Région Île-de-France, la Métropole du Grand Paris, la Ville de Paris, Plaine Commune et Icade.

• La SOLIDEO en lien étroit avec les organismes techniques

La SOLIDEO est accompagnée par l'Agence Qualité Construction (AQC) sur les sujets de maîtrise des risques, notamment en matière de modes constructifs. L'AQC a accompagné la SOLIDEO dans le traitement des questions relatives à la mise en œuvre de façades à ossature bois, l'élaboration de la démarche de guides de conception, le suivi des risques identifiés par les contrôleurs techniques en matière d'humidité dans les façades (cf. page 19).

L'AQC accompagne également l'analyse des projets présentés au Comité d'innovation de la SOLIDEO en vue d'un financement par le Fonds Innovation et Écologie. Elle apporte une expertise technique et économique sur les projets présentés, les freins à lever, les risques associés en matière de faisabilité technique mais aussi assurantielle.

Dans le cadre du développement des guides de conception, la SOLIDEO travaille également en lien étroit avec le CSTB par l'intermédiaire de marchés de coopération entre pouvoirs adjudicateurs. Ce partenariat a permis l'élaboration des guides et de l'Héritage méthodologique de la SOLIDEO concernant la construction bois.

Des réalisations innovantes



La SOLIDEO va permettre le passage en technique courante de plusieurs procédés de façades à ossature bois

Compte tenu de l'état actuel des techniques de construction, et afin d'offrir aux concepteurs du Village des Athlètes une grande richesse architecturale tout en assurant la généralisation du recours au bois en façade (ossature bois), la SOLIDEO et les opérateurs immobiliers se sont engagés dans une démarche d'obtention d'Appréciations techniques d'expérimentation (ATEX)¹.

La SOLIDEO a engagé en 2020, avec la participation des opérateurs immobiliers du Village, une démarche de coopération avec le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Cette démarche a abouti en

novembre 2020 à la publication de guides qui accompagnent les équipes opérationnelles dans la mise au point des dossiers d'ATEX, en vue de leur obtention.

Co-financée par le CSTB, la filière, les opérateurs et le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO pour un montant total de 450 000 €, cette initiative s'inscrit dans la logique d'Héritage pour l'ensemble des acteurs de la construction bois. Elle favorise aussi la généralisation du recours au bois en façade avec une diversité architecturale indispensable à la réussite d'un projet de quartier de l'ampleur du Village des Athlètes.

16 dossiers d'ATEX relatifs à des dispositifs d'ossature bois en façade ont été portés par les opérateurs du Village des Athlètes. La coordination entre le CSTB, la SOLIDEO et les maîtres d'ouvrages a permis d'anticiper leurs dépôt et instruction, ce qui a autorisé la validation des dossiers entre l'été 2021 et le printemps 2022.

La démarche menée a permis l'obtention d'ATEX de cas B (valables pour une seule opération), les délais de dépôt des dossiers ne permettant pas la réalisation de dossiers de cas A. La révision prochaine des documents normatifs relatifs à la construction bois devrait classer les techniques mises en œuvre sur le Village en tant que techniques courantes et ainsi assurer leur répliquabilité sans procédures complémentaires.



Secteur D du Village des Athlètes, depuis les berges de Seine (tous les bâtiments sont en façades à ossature bois)



Le Village des Athlètes préfigure la généralisation de douches accessibles sur plancher bois

En l'état actuel des pratiques de construction, il était jusqu'à présent impossible de réaliser des douches à ressaut très faible ou nul sur un plancher bois. Dans un souci d'accessibilité universelle, notamment par la réalisation de douches, la SOLIDEO a souhaité promouvoir une démarche d'innovation qui bénéficiera à l'ensemble de la filière.

Un nouveau partenariat a été conclu entre la SOLIDEO et le CSTB. Il vise, dans une perspective d'héritage, à faciliter l'appropriation par les maîtres d'ouvrage de techniques de mise en œuvre de douches accessibles sur plancher bois, souhaitées sur les opérations

du Village des Athlètes et exploitables au-delà des Jeux Olympiques et Paralympiques.

Cette action, co-financée par le CSTB, la filière et le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO pour un montant total de 87 500 €, se matérialisera à l'automne 2022 par un document d'aide à la conception. Ce guide facilitera la construction d'une jurisprudence technique et, par conséquent, la généralisation de l'innovation. Cette action accompagne la démarche d'ATEX menée par la SCCV Quinconces auprès du CSTB afin de mettre en œuvre les dispositifs visés sur le projet du secteur D du Village des Athlètes.



La charpente en bois du Centre Aquatique Olympique : une innovation de rang mondial en matière de construction bois

La charpente du Centre Aquatique Olympique, porté en maîtrise d'ouvrage par la Métropole du Grand Paris, bénéficie d'une dotation de 7,3 millions d'euros du Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO.

Cette charpente (90m de portée, 10m à 15m de hauteur libre) sera la plus grande structure en catènes du monde et la seule entièrement conçue en bois. Sa géométrie concave s'adapte aux différents usages et permet de réduire le volume intérieur chauffé et ventilé de 30% par rapport à une géométrie horizontale, pour une plus grande sobriété. La toiture accueille par ailleurs l'une des plus

vastes centrales photovoltaïques de France sur bâtiment sportif en autoconsommation (4700 m² de panneaux).

La charpente est réalisée par l'entreprise Mathis, qui fabrique l'ensemble des pièces bois et métal sur son site en Alsace avant acheminement entre le printemps et l'automne 2022 pour la charpente primaire.

Cette innovation fait la démonstration de la résistance du bois en tension sous charges permanentes. Elle illustre l'adéquation entre construction bois et réalisations architecturales exceptionnelles et emblématiques.



Le Centre Aquatique Olympique, et sa charpente concave en bois

La grande majorité des ouvrages olympiques avec du bois en structure fait intervenir, pour des raisons de programmation, des éléments en béton en infrastructure ce qui conduit à des chantiers mixtes bois/béton. En s'affranchissant des contraintes liées à l'infrastructure - par exemple pour le stationnement - une évolution vers des chantiers tout bois peut être envisagée, avec des gains en termes de cadences et modalités de gestion.

Autres matériaux biosourcés et géosourcés

Les ouvrages olympiques et paralympiques mettent en valeur les matériaux biosourcés et leurs bénéfices en matière de carbone. L'intégration de ces matériaux intervient dans les éléments non structurels et de second œuvre : menuiseries, isolants ou encore revêtements.

D'importantes réalisations mais un calcul non systématique

Afin d'atteindre les ambitieux objectifs de réduction carbone, les matériaux biosourcés sont largement utilisés sur les ouvrages olympiques.

La laine de bois est principalement utilisée pour l'isolation. Les menuiseries extérieures et intérieures sont le plus souvent en bois, ainsi que les volets ou lames brise-soleil, comme sur le Centre Aquatique Olympique.

Les revêtements de sol sont également majoritairement biosourcés (parquet ou en linoléum). La proscription du PVC prévue initialement a été levée à la marge, notamment sur les circulations collectives d'immeubles de logements, où il reste préférable à la moquette en matière de bilan carbone¹.

Lorsque les ouvrages recherchent la labellisation Bâtiment Biosourcé, le suivi des quantités de matériaux biosourcés mis en œuvre est assuré et permet d'obtenir des valeurs fiables au fil de la conception. Certains ouvrages dépassent même largement l'objectif minimal de la labellisation et atteignent :

- le niveau 2 pour l'Arena Porte de la Chapelle avec 31 kg de matériaux biosourcés par m² SDP ;

- le niveau 3 pour le CAO, la piscine de Marville et les écoles du Bourget avec respectivement 69, 56 et 135 kg/m² SDP, un record parmi les ouvrages olympiques grâce à la structure bois.

Lorsque les ouvrages ne visent pas la labellisation Bâtiment Biosourcé, le suivi des quantités biosourcées mises en œuvre n'est en revanche pas systématiquement assuré. Le label n'a pas été imposé par la SOLIDEO dans le cadre des conventions d'objectifs lorsque les coûts de procédure étaient disproportionnés au regard des enjeux.

Des calculs menés par la SOLIDEO sur la base des bilans carbone fournis par les opérateurs immobiliers du Village des Athlètes montrent des ratios biosourcés autour de 60 à 70 kg/m² SDP pour les bâtiments faisant intervenir du bois en structure et en façade, ainsi qu'en aménagements intérieurs, et 20 à 30 kg/m² SDP pour les bâtiments faisant intervenir le bois en façade et à l'intérieur.



Le projet des écoles du Bourget

Le cas particulier de l'isolant biosourcé sur les façades à ossature bois

Une partie des façades à ossature bois (FOB) ou des murs à ossature bois (MOB) du Village des Athlètes fait appel à un isolant biosourcé. La mise en œuvre de ces dispositifs a fait l'objet des guides de conception réalisés par le CSTB et de différents dossiers d'ATEX. Cette démarche a permis d'identifier et d'anticiper des questions liées à la gestion de l'humidité en phase chantier. En conséquence, un certain nombre d'isolants ont été substitués et un suivi étroit dans la durée est mis en place.

Plus précisément, le complexe de façade faisant l'objet des guides de conception du CSTB est préfabriqué en usine et comprend un pare-vapeur, des plaques de plâtre (BA13), l'isolant ainsi que le pare-pluie. Ces modalités de préfabrication, peu usuelles, destinées à respecter les délais liés aux opérations du Village, impliquent la mise en œuvre sur chantier d'un complexe de façade dans lequel l'isolant n'est pas accessible.

En phase chantier, il existe un risque spécifique d'humidification de la paroi et de l'isolant. Celui-ci n'est pas lié à des infiltrations d'eau liquide en raison de précipitations mais à la propagation de vapeur d'eau (une fois le bâtiment « fermé », avec les menuiseries) lorsque les conditions suivantes sont simultanément réunies :

- la réalisation de certains éléments de second œuvre (chapes, peintures...) entraîne des émissions importantes d'humidité à l'intérieur du bâtiment et/ou ne permet pas l'ouverture des menuiseries ;

- la situation météorologique entraîne des périodes où la température extérieure devient plus importante que la température intérieure.

Cette situation peut provoquer des inversions de flux de vapeur dans la paroi (non plus uniquement de l'intérieur vers l'extérieur, avec une paroi transpirante, mais de l'extérieur vers l'intérieur). Ces inversions de flux peuvent conduire à de la condensation contre le pare-vapeur à l'intérieur de la paroi de la façade, ce qui peut remettre en cause ses performances en matière d'isolation.

La gestion de ce risque nécessite de la part des entreprises un suivi très fin de l'humidité lors du chantier. Ce suivi implique :

- la mise en œuvre d'un important dispositif de monitoring, consistant à placer des capteurs dans les façades des bâtiments pour suivre l'évolution des taux d'humidité, en fixant des seuils d'alerte (il est à noter que ce dispositif de monitoring n'est pas une innovation en soi, et que son principe est connu des acteurs de la filière) ;

- des mesures correctives à mettre en place en fonction du dépassement de ces différents seuils :

- la ventilation naturelle des espaces par l'ouverture des menuiseries afin de préserver au maximum l'équilibre hygrothermique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ;

- la mise en place de dispositif de chauffage et de déshumidification dans le bâtiment, afin d'empêcher les inversions de température et donc de flux de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur ;

- lorsque cela est nécessaire, et après sondage, le remplacement d'éléments de façades endommagés.

L'ensemble de ces mesures implique un engagement fort de la part des entreprises ainsi que, probablement, la programmation de formations spécifiques.

Les contraintes importantes de coactivité et de délais des chantiers olympiques, combinées aux durées importantes de travaux et aux impératifs de phasage complexifient la mise en œuvre de l'isolant biosourcé. Il n'y a pour autant pas d'impossibilité technique : des solutions existent qui permettent le maintien de l'isolant biosourcé sur une large majorité des plots du Village.

Un retour d'expérience, en coordination avec les acteurs techniques et les entreprises, sera organisé au cours de la phase de second œuvre pour consolider les protocoles de suivi et ainsi faciliter la mise en œuvre sur de futures opérations.

Retour d'expérience sur la mise en œuvre de béton de chanvre

La SCCV Saint-Ouen Héritage, en charge de la réalisation du secteur E du Village des Athlètes, a mis en œuvre sur un bâtiment le remplissage en béton de chanvre des façades murs à ossature bois (MOB). Ce projet a fait l'objet d'une dotation au titre du Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO, d'abord pour une phase de R&D puis pour la mise en œuvre du dispositif de façade.

La SCCV a donc engagé une démarche d'innovation autour du dispositif, avec pour objectif l'obtention d'une ATEx permettant la réalisation du projet. La constitution du dossier d'ATEx, au cours de l'année 2021, a requis un grand nombre d'études et de modélisations dont les conclusions se sont révélées non satisfaisantes au regard des choix constructifs retenus.

Pour plus de précisions : de nombreux essais autour de la propagation de l'humidité dans le bois d'ossature ont été réalisés et ont conduit à des résultats non satisfaisants concernant la

préservation de l'intégrité du bois en ossature (BauBuche en hêtre, bois lamellé-collé). Des travaux de modélisation des transferts d'humidité dans le dispositif de façade ont également été menés mais la complexité des processus à l'œuvre n'a pas permis de corroborer les observations faites lors des essais.

Le comité d'ATEx a donc émis un avis défavorable et le projet d'innovation n'a pas été mis en œuvre, les contraintes de délais n'autorisant pas la poursuite des études. Toutefois, les premiers résultats - qui seront complétés dans le cadre d'un retour d'expérience plus complet demandé à la SCCV - ne remettent pas en cause l'utilisation du chanvre sur mur à ossature bois. Ils permettent d'identifier un certain nombre de dispositions à respecter, dans le choix des essences de bois et les modalités de mise en œuvre du chanvre.

L'objectif de la SOLIDEO est d'inscrire ce type de retour d'expérience dans le cadre de son héritage immatériel, permettant ainsi de contribuer à la mise en œuvre de cette pratique vertueuse à l'avenir.

Matériaux géosourcés

Au contraire des matériaux biosourcés, massivement mis en œuvre dans les projets des ouvrages olympiques, les solutions constructives avec matériaux géosourcés sont moins nombreuses et tiennent lieu de démonstrateurs.

Sur le secteur E du Village des Athlètes, les murs du socle d'un bâtiment abritant la crèche du secteur sont réalisés en pierre porteuse issue de carrières situées en Seine-et-Marne.



Mise en œuvre de façades à ossature bois (FOB) sur le secteur D du Village des Athlètes (Les Quinconces)



Des cloisons en terre crue sur l'Arena Porte de la Chapelle

Grâce à un financement du Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO, la Ville de Paris va mettre en œuvre des cloisons intérieures en terre crue sur l'Arena Porte de la Chapelle. 300 m² de cloisons sont ainsi prévus en briques de terre crue non porteuses. C'est la première fois que ces briques seront prévues sur une si grande hauteur (cinq mètres) et pour des cloisons devant respecter un coupe-feu 1h.

Les briques proviennent de la fabrique Cycle Terre située sur la commune de Sevran et qui propose différents matériaux de second œuvre issus des déblais des chantiers du Grand Paris Express.

Le projet valorisera une ressource géosourcée en démontrant la pertinence du recours à une ressource locale et largement disponible.

Béton bas carbone

La généralisation du recours aux bétons bas carbone sur les ouvrages olympiques

• Une stratégie fine de recours aux bétons bas carbone est mise en place afin d'atteindre les objectifs fixés par la SOLIDEO

Lorsque le recours au béton est nécessaire, l'utilisation de béton bas carbone, voire ultra bas carbone¹, est privilégiée. Tout au long des différentes phases de conception, la SOLIDEO a suivi les projections de bilan carbone réalisées par les bureaux d'études et les entreprises de construction. Ces projections ont mis en évidence la nécessité d'une utilisation ambitieuse de bétons bas carbone.

En phase conception, le suivi a porté sur les études produites par les opérateurs et leurs conseils, intégrant les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) des bétons ainsi que les quantitatifs estimés pour le projet, avec validation de la maîtrise d'œuvre. La méthodologie de calcul du bilan carbone, commune à l'ensemble des ouvrages olympiques, a été suivie par un groupement d'assistance à maîtrise d'ouvrage spécialisé sur le volet environnemental et partagée avec le CEREMA.

En raison de la réduction de la quantité de clinker intégrée au ciment, le temps de séchage des bétons bas carbone est allongé par temps froid, ce qui peut ralentir les cadences usuelles de chantier (nécessité de coffrer plus longtemps, besoin de plus d'éléments de coffrage). En conséquence et au regard de leurs plannings, les constructeurs recourent à la stratégie du « meilleur béton au meilleur moment ». Cette stratégie implique notamment l'utilisation sur les chantiers d'un nombre très important de bétons différents (jusqu'à plusieurs dizaines), ce qui permet d'adapter le coulage :

- aux conditions météorologiques ;
- à la qualité des terres en contact dans le cas de l'infrastructure (coulage de bétons bas carbone plus complexe au contact de terres polluées notamment) ;

Les bétons bas carbone mis en œuvre de manière généralisée sur les projets olympiques atteignent des niveaux moyens inférieurs à

150 kg CO₂/m³,
contre près de 250 kg CO₂/m³ pour des bétons classiques.

Des solutions innovantes sont également mises en œuvre, avec un poids carbone inférieur à 100 kg CO₂/m³.

- aux classes de résistance souhaitées en fonction de l'ouvrage réalisé.

Au regard des faibles marges mises en évidence en conception (quelques kg CO₂/m² SDP sur des objectifs autour de 700 kg en moyenne, soit quelques pourcents), la SOLIDEO a engagé, avec les opérateurs des lots immobiliers des Villages, un suivi du bilan carbone au cours du chantier. Une démarche similaire a été directement engagée par les entreprises et les maîtres d'ouvrage pour d'autres bâtiments intégrant massivement les bétons bas carbone, tels que le Centre Aquatique Olympique et l'Arena Porte de la Chapelle.

Cette démarche de reporting trimestriel, inhabituelle pour ce type d'opérations, permet :

- de mesurer l'atteinte des objectifs de bilan carbone au fil de la réalisation du projet, et d'identifier des pistes d'optimisation ;
- d'élaborer un retour d'expérience d'une opération bas carbone.

A la date de ce rapport, le niveau d'informations obtenu de la part des opérateurs immobiliers permet de dresser un premier constat quantitatif et qualitatif de l'utilisation des bétons bas carbone. Il devra toutefois être renforcé au cours des étapes ultérieures de mise à jour.

• Les ouvrages olympiques montrent une généralisation du recours aux bétons bas carbone de type CEM III, pour des poids carbone inférieurs à 150 kg CO₂/m² SDP.

Le béton bas carbone présente une grande diversité de procédés de mise en œuvre. Il peut être fabriqué sur site, dans des centrales programmées pour réaliser l'ensemble des bétons d'un chantier, ou arriver en camion-toupie sous la forme de béton prêt à l'emploi (BPE).

Sur le chantier de l'Arena Porte de la Chapelle, l'entreprise Bouygues Construction réalise dans sa centrale sur site la fabrication de bétons bas carbone dont les formulations, et notamment la part de laitiers, sont en permanence adaptées aux conditions de coulage.

Ils atteignent de manière générale pour les CEM III des niveaux de carbone situés entre 120 et 150 kg CO₂/m²SDP.



La collecte des informations dans le cadre du suivi trimestriel du CPEE devrait permettre d'affiner prochainement ces résultats et d'obtenir, à la fin du gros œuvre, des moyennes à l'échelle des bâtiments et des secteurs.

À travers une démarche d'anticipation dès la conception (adaptation des plannings, multiplication des bétons) et en adaptant la logistique de chantier (production sur site, plus d'éléments de coffrage), il apparaît qu'une généralisation du recours aux bétons bas carbone est réaliste sur des chantiers comparables à ceux des ouvrages olympiques.

Des projets innovants en béton ultra bas carbone

Plusieurs projets mettent ponctuellement en valeur des formulations de bétons à des niveaux de carbone inférieurs à 100 kg CO₂/m² SDP. On retrouve dans ces projets deux bétons innovants : la gamme Exegy, de VINCI Construction France, et le béton H-UKR de l'entreprise Hoffmann Green.

Le clinker est entièrement remplacé par du laitier. Le liant de substitution peut ensuite être un liant sur-sulfaté (CSS), un liant sulfo-activé ou un liant alcali-activé (L2A). Dans les deux cas présents, il s'agit de liants alcali-activés de types différents. Le ciment H-UKR de Hoffmann fait intervenir du silicate de soude, tandis que le béton Exegy utilise du carbonate de sodium.

Les deux bétons possèdent des propriétés mécaniques et des performances environnementales similaires : Exegy propose deux typologies à 70 (pour le UBC) et 90 kg CO₂/m²SDP (pour le B3 BIS) tandis que le H-UKR annonce dans ses FDES obtenues fin 2020 une performance de 80 kg CO₂/m²SDP. En l'état actuel des données disponibles, le béton Exegy présenterait un surcoût moindre par rapport au H-UKR.

Mise en oeuvre de béton ultra bas carbone Exegy développé par VINCI Construction sur le secteur Universeine du Village des Athlètes

1 - En matière de carbone, le ciment présente le poids le plus important dans la composition du béton (98% du poids carbone). C'est donc sur la composition du ciment que reposent les innovations en matière de béton dit bas carbone. De manière générale, la réalisation d'un béton bas carbone consiste à remplacer le clinker (élément carboné du ciment, devant être chauffé à très haute température) par des produits de substitution comme les laitiers de hauts fourneaux, co-produits de l'acier. Dans le cas de bétons dits ultra bas carbone, tels que ceux développés par VINCI Construction France ou Hoffmann Green, la substitution est totale.



Le béton ultra bas carbone Exegy sur Universeine

Le béton ultra bas carbone innovant Exegy est mis en œuvre pour l'ensemble des planchers des bâtiments neufs tertiaires du secteur B (B1A, B1B, B2T) du projet UNIVERSEINE du Village des Athlètes. La solution Exegy UBC portée par la SAS Ampère est utilisée pour l'ensemble des planchers (soit 10 828 m³ de béton) et la gamme Exegy B3 BIS pour les radiers (6 000 m³).

De nombreux défis techniques liés à la prise du béton par temps froid sont apparus. Ils ont nécessité :

- des bâches chauffantes après le coulage afin de permettre la prise du béton pendant les périodes froides de l'hiver ;

- un nombre beaucoup plus important de banches et éléments de coffrage par rapport à un projet classique afin de coffrer les éléments plus longtemps et permettre leur bonne prise tout en préservant les cadences de chantier. Après une première expérimentation sur le chantier du siège de VINCI, il s'agit de la première utilisation de grande ampleur de la gamme Exegy. Dans le cadre du suivi du projet au titre de son financement par le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO (à hauteur de 993 000 €), la SAS Ampère et VINCI Construction France remettront dans les prochains mois un rapport qui permettra d'alimenter le retour d'expérience autour du projet pour faire progresser l'ensemble de la filière.



Coulage de voiles en béton très bas carbone Hoffmann Green par temps froid sur le secteur de l'Aire des Vents du Village des Médias



Le recours au béton très bas carbone Hoffmann Green

Au Village des Médias, sur le secteur porté par le groupement emmené par Sogeprom et Demathieu&Bard Immobilier, l'entreprise Demathieu & Bard Construction a testé avec succès le coulage de voiles en béton très bas carbone Hoffmann Green par temps froid.

La Ville de Paris a également fait appel à Hoffmann Green pour un volume de béton de 770 m³ pour la grande salle de l'Arena Porte de la Chapelle.

Matériaux de second œuvre

Les objectifs carbone ambitieux fixés par la SOLIDEO nécessitent, comme l'a montré la partie dédiée aux matériaux biosourcés, un rigoureux travail de sélection des éléments de second œuvre. Cette nécessité est renforcée par la mise en place par la SOLIDEO de prescriptions complémentaires, telles que la proscription du PVC pour l'ensemble des menuiseries (fenêtres et portes) et l'obligation de recourir à des solutions bois ou bois-aluminium sur le Village des Athlètes.

Comme pour un projet classique, les entreprises choisissent leurs produits en cours d'exécution sur la base des recommandations et des contraintes établies par l'opérateur immobilier,

son architecte et son AMO Environnement (qui applique un visa sur ces choix) dans le cadre des marchés passés.

Si, à la date de la rédaction de ce rapport, ce travail est toujours en cours, il est déjà possible de noter quelques points de vigilance :

Compte tenu de la faiblesse des marges au regard des objectifs carbone, il existe un enjeu important autour de l'identification de produits disposant d'une FDES¹ spécifique ou étant couverts par une FDES collective afin de s'affranchir des marges prises en compte dans les FDES par défaut ;

À titre d'exemples, le passage d'une FDES par défaut à une FDES collective peut permettre une division du poids carbone par trois pour un bardage en terre cuite, ou par deux pour des volets persiennes. Pour la peinture en phase aqueuse, le passage d'une FDES collective à une FDES individuelle produite par Circouleur (peinture recyclée) peut permettre une division par 13 du facteur d'émission.

Le suivi de la mise en œuvre des produits bas carbone renforcera le retour d'expérience autour du choix des matériaux de second œuvre. À ce stade, les principaux matériaux à enjeux identifiés sont les revêtements de sols, les peintures, les éléments de serrurerie, ou encore les dalles de faux planchers et de faux plafonds pour les bureaux.

Le cas particulier de la rénovation

Dans les projets de rénovation, la méthode constructive doit prendre en considération les techniques et matériaux anciens et se montrer, le cas échéant, respectueuse de la valeur patrimoniale du bâti.



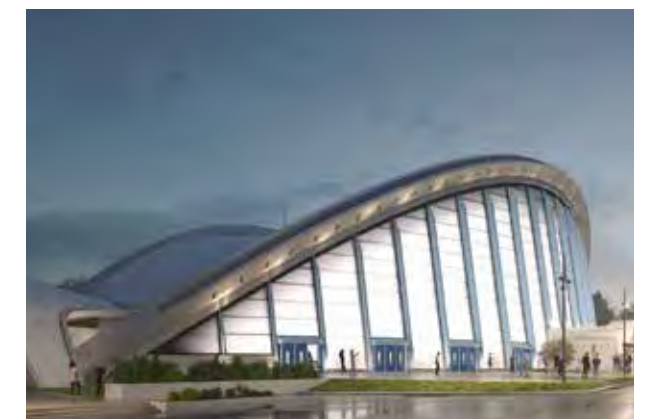
La Grande Nef de l'Île-des-Vannes à Saint-Ouen pendant les travaux de rénovation

En ce qui concerne la rénovation des stades (Stade de France, Pierre de Coubertin), le périmètre des opérations repose principalement sur la mise en conformité des ouvrages (en matière d'accessibilité notamment), au remplacement de systèmes d'éclairage ou de production de chaleur ou encore à quelques modifications des tribunes. La performance bas carbone est recherchée via les optimisations suivantes :

- pour les lots architecturaux comme la restructuration des tribunes, la réduction de l'empreinte carbone passe essentiellement par la sobriété et le recours à des matériaux locaux et bas carbone ;
- pour les lots techniques (éclairage et systèmes énergétiques par exemple), la performance carbone passe par l'amélioration de la performance globale de l'ouvrage (isolation, éclairage basse consommation, performance des systèmes de production ou de distribution de l'énergie...).

La rénovation de la Grande Nef de l'Île des Vannes, halle sportive et grande salle de spectacle des années 1970 inscrite à l'inventaire supplémentaire des Monuments historiques, offre une belle illustration de l'équilibre complexe à trouver entre respect architectural et objectifs bas carbone.

Ce bâtiment nécessite la rénovation des façades d'origine en panneaux de polycarbonate, fortement carbonés. La maîtrise d'œuvre, en accord avec le ministère de la Culture, a proposé une façade en polycarbonate répondant aux exigences de préservation du patrimoine tout en améliorant la performance thermique du bâtiment, jusqu'à une consommation six fois inférieure en exploitation.



La Grande Nef après restauration (vue d'architecte)

Recours à l'économie circulaire des matériaux

Réemploi

En complément de l'objectif de 75% des matériaux provisoires installés pour la phase JOP démontables et réemployables, la SOLIDEO a fixé des objectifs d'utilisation de matériaux issus du réemploi.

Ces objectifs varient en fonction des typologies de projet.

- Pour les espaces publics du Village des Athlètes, en phase conception, le réemploi est un levier majeur de performance carbone. Plusieurs solutions ont été privilégiées :

- le recours à des matériaux modulaires en réemploi, notamment les pavés, les platelages et certains parements ;

- le réemploi de mobilier notamment en acier et bois ;

- les mâts d'éclairage, fabriqués à partir d'éléments d'échafaudages en métal. Cette démarche, enclenchée avec les équipes de conception, est rendue possible par une forte anticipation. Le designer a conçu des mâts adaptés, cohérents avec l'ensemble du mobilier, à partir d'un gisement abondant et disponible. Cette pratique largement répliquable peut aboutir à la création d'une gamme de produits d'éclairage de réemploi.

Des critères de jugement des offres ont été inscrits dans les consultations, permettant de favoriser les meilleures propositions en termes de réemploi et établir un système incitatif de pénalités.



Mât d'éclairage issu du réemploi, fabriqué à partir d'éléments d'échafaudages en métal

- Au Village des Athlètes, les opérateurs immobiliers doivent intégrer 10% en masse d'équipements réemployés pour 4 familles d'aménagements intérieurs et 3 familles d'aménagements extérieurs.

Les opérateurs immobiliers font le choix des familles de produits en réemploi. A la date de rédaction de ce rapport, plusieurs pistes sont encore en réflexion et les entreprises ont pour objectif la réservation des produits à l'automne 2022. Plusieurs facteurs entrent en considération :

- la disponibilité des matériaux dans des quantités suffisamment importantes. Il existe au-

jourd'hui des matériaux facilement démontables et abondants en déconstruction. Les équipements de salle de bain (WC, lavabos, etc.) sont par exemple disponibles sur les plateformes de réemploi en quantité suffisante et avec des modèles relativement standards.

- la possibilité de requalification technique et l'assurabilité. Certains matériaux de structure et d'étanchéité associés à des performances techniques élevées (fenêtres) ne sont pas garantis en réemploi. Les opérateurs se tournent donc naturellement vers des produits dédiés à l'aménagement intérieur ou à la décoration pour lesquels les exigences sont moindres.

- l'existence de filières déjà matures. Seules quelques filières de réemploi sont passées à l'échelle de l'industrialisation : moquette, faux plancher, peinture.

- Les exigences de futurs preneurs. Les produits de réemploi peuvent ne pas correspondre aux exigences esthétiques prévues initialement sur le projet.

La démarche a soulevé beaucoup d'interrogations au sein des entreprises qui n'avaient que très peu d'expérience sur le sujet. La plupart envisage de se tourner vers les solutions les plus simples à mettre en œuvre :

- pour les aménagements intérieurs : moquette, faux plancher, peinture, chemins de câble, extincteurs, etc. ;

- pour les aménagements extérieurs : graves de réemploi, mobiliers réalisés par des industriels en bois de réemploi.

Aujourd'hui, tous les opérateurs du Village des Athlètes se sont tournés vers une des seules filières industrialisées de réemploi : les faux planchers techniques. L'unique fournisseur (Möbius) délivre des produits garantis après léger ré-usinage. En juin 2022, les opérateurs étaient à la recherche de plus de 37 000 m² de faux plancher mais le fournisseur n'était pas en mesure d'assurer l'approvisionnement d'une telle quantité.

Les volumes ont donc dû être revus à la baisse faute d'anticipation sur les commandes.

Les entreprises ont parfois insuffisamment anticipé leur stratégie de réemploi. Elles ont aussi rencontré des difficultés dans la recherche de gisements importants de matériaux de réemploi. Enfin, l'intégration du réemploi est un processus qui implique un travail avec l'ensemble des parties prenantes : architectes et bureaux d'études pour la conception, contrôleur technique et assureur pour la requalification des matériaux, fournisseurs et démolisseurs pour la recherche de gisements, client pour la validation des produits. La remise en cause d'un des maillons de la chaîne peut mettre en difficulté l'ensemble de la démarche. Par exemple, une entreprise s'est vu refuser la mise en place de blocs autonomes d'éclairage de sécurité (BAES) de réemploi par son contrôleur technique. La réussite de la démarche de réemploi repose donc sur l'anticipation et le travail en coopération de tous les acteurs du projet.

Un calcul des économies de CO₂ générées par la mise en place de matériaux de réemploi en substitution au neuf sera réalisé lorsque les familles de produits et les volumes seront arrêtés. Ces économies peuvent dans certains cas être substantielles : le faux plancher de réemploi peut entraîner une diminution de 10% du bilan carbone d'un bâtiment tertiaire.



Une cellule spécifique JOP au sein du Booster du réemploi



La SOLIDEO a proposé la construction d'une cellule spécifique JOP au sein du Booster du Réemploi¹. Cette cellule a été initiée en 2022 pour répondre aux problématiques communes des maîtres d'ouvrage et identifier les pistes de mutualisation.

Les acteurs sont ainsi accompagnés sur plusieurs enjeux : le sourcing de fournisseurs, la recherche de gisements, les aspects techniques des matériaux de réemploi, les solutions de logistique ou de stockage ainsi que les enjeux assurantiels.

Les 3 premières sessions de travail ont permis de travailler sur plusieurs filières : cloisons provisoires, substrats et faux planchers.

1 - Le Booster du Réemploi est né d'une coalition de 40 maîtres d'ouvrage et a pour objectif l'accompagnement à la prescription du réemploi dans les projets.

Les autres ouvrages intègrent des objectifs ambitieux en matière de réemploi

Au Village des Médias, le projet de la SAS Paysages ambitionne de mettre en œuvre trois tonnes de matériaux et produits de réemploi. Les matériaux visés sont les mobiliers des espaces publics, les graviers et les éléments de mobilier et de décoration des halls.

Sur le groupe scolaire de Dugny, l'ensemble des façades est conçu avec un camaïeu de briques ou plaquettes de réemploi. Ces matériaux sont issus des fins de stocks d'une entreprise du Val de Loire.

Les espaces publics de plusieurs ouvrages font également appel à des matériaux de réemploi :

- des pavés de réemploi, un revêtement réalisé en *opus incertum* avec des blocs de béton issus de démolition prennent place sur l'Écoquartier fluvial, à L'Île-Saint-Denis ;

- des pavés, de l'*opus incertum*, des pontons en gabions et des mobiliers en bloc béton aménagent les abords du canal Saint-Denis.

Les espaces publics se prêtent facilement à l'économie circulaire car de nombreux revêtements sont réutilisables. Le nombre croissant de sollicitations, lié à la construction des ouvrages olympiques, entraîne la montée en puissance de filières, parfois encore peu structurées jusqu'à présent, notamment pour ce qui concerne les pavés.

Concernant les bâtiments, les matériaux choisis et les volumes concernés ont valeur de démonstrateur sans permettre encore le passage à l'échelle de nouvelles filières.

Recyclage

Les ouvrages olympiques ont tous recours à des matériaux issus du recyclage, tels que l'acier de ferrailage. Certains ont adopté une démarche spécifique.

La couverture du court Suzanne Lenglen sera portée par une structure métallique de 940 tonnes. En phase conception, la Fédération Française de Tennis et la SOLIDEO ont retenu des objectifs ambitieux avec 100% d'acier recyclé pour les poutres et poutrelles en acier et 50% d'acier recyclé minimum au total. Lors de la première phase de chantier, 145 tonnes d'acier ont été approvisionnées, dont 56% recyclées.

Le secteur du Plateau sur le Cluster des Médias a développé une démarche d'économie circulaire centrée sur les halls d'immeuble. Ils seront revêtus de 300 m² d'un terrazzo réalisé sur mesure selon la technique Marbre d'ici imaginée par Stefan Shankland. Le Marbre d'ici est un produit réalisé à partir des déchets de chantier (chute de briques) et transformé en nouvelle matière première locale à haute valeur ajoutée, esthétique, écologique, patrimoniale et sociale.

Dans les filières historiques comme les métaux, l'incorporation de matériaux recyclés est bien ancrée et leur valorisation passe avant tout par un bilan carbone très avantageux (division par trois du poids carbone de l'acier par exemple).

Concernant d'autres produits de gros œuvre, plâtrerie ou isolation, l'utilisation de matières issues du recyclage est moindre. D'une part, la réalisation de FDES collectives ne permet pas d'identifier les avantages d'un produit en particulier. D'autre part, l'utilisation de matières recyclées peut n'avoir qu'un très faible impact sur l'empreinte carbone globale du produit. C'est notamment le cas pour le béton dont l'impact carbone est largement tributaire du ciment, bien que l'utilisation de granulats recyclés apporte une amélioration considérable de l'impact sur les ressources naturelles. La comptabilité carbone n'est donc pas toujours l'outil pertinent pour faire apparaître les économies réalisées sur les flux de matières.



Des sièges de gradins en plastique recyclé pour le Centre Aquatique Olympique et l'Arena Porte de la Chapelle

Avec l'appui du Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO, les sièges de gradins de l'Arena Porte de la Chapelle et du Centre Aquatique Olympique seront intégralement réalisés par l'entreprise SAS Minimum à partir de déchets plastiques locaux.

Une collecte de bouchons est notamment organisée au niveau local. Près de 14,6 T de CO₂ sont ainsi économisées pour le CAO (2 500 sièges) et 46,4 T de CO₂ (8 000 sièges) pour l'Arena Porte de la Chapelle.

La portée de cette innovation est triple :

- d'un point de vue environnemental : le taux de 100% de matières recyclées dans ce type de produit constitue une première ;
- au niveau du process qui utilise la technique de la thermo-compression en s'affranchissant des étapes de régénération du plastique ;
- dans sa portée sociale et locale, en utilisant le « circuit court » à la fois pour la collecte et la transformation des déchets.



Sièges de gradins de l'Arena Porte de La Chapelle, réalisés à partir de déchets plastiques locaux

2. CHANTIER

L'impact environnemental d'un chantier de déconstruction, rénovation ou construction est principalement lié à la production de déchets et à leur transport. Des flux très importants sont générés dans les chantiers de déconstruction ou de réhabilitation : gravats de béton, plâtre, ferrailage et bois. Les terres excavées lors de la phase de viabilisation et de terrassement constituent le plus grand gisement de déchets. Les chantiers de construction neuve génèrent des déchets en quantité moindre : chute de découpe, emballage, etc.

Déconstruction sélective et valorisation des matériaux

Une quinzaine de bâtiments présents sur la ZAC Village Olympique et Paralympique ont été déconstruits : entrepôts, bureaux, hôtel ou résidence. La déconstruction, contrairement à une simple démolition, permet de valoriser au maximum les matériaux. Après un premier curage pour réemploi, puis un curage classique et un tri des éléments de second-œuvre, sont intervenus la démolition et le concassage des bâtiments.

- Curage pour réemploi

Des diagnostics ressources ont été effectués pour chaque bâtiment afin d'évaluer le potentiel de réemploi et fixer les objectifs du marché de déconstruction. L'entreprise de démolition Prodemo et son sous-traitant Backacia ont procédé au curage et à la revente des éléments valorisables en réemploi. Le déconstructeur a procédé à des déposes soigneuses et les matériaux ont été mis en vente aux particuliers et artisans dans trois showrooms présents sur le Village.

Plus de 860 tonnes de matériaux connaissent ainsi une seconde vie : sanitaires, radiateurs, luminaires, etc.

Plusieurs éléments emblématiques ont été préservés comme des escaliers métalliques, des box médicaux ou encore une très grande quantité de racks de stockage en acier retournée auprès du fabricant pour rénovation et vente d'occasion. Ces matériaux ont été majoritairement revendus à des entreprises (85%), mais aussi à des particuliers (13%) et des associations (2%).

La démarche a rencontré un véritable succès et les objectifs fixés ont été atteints pour une grande majorité des bâtiments déconstruits.

La déconstruction du bâtiment « 5 Seine » qui présentait des équipements de très bonne qualité a généré 50 tonnes de matériaux destinés au réemploi pour un revenu de revente de près de 50 000 €. Plusieurs difficultés ont cependant été soulevées lors du chantier et notamment les fortes contraintes de planning ne permettant pas les déposes délicates de verrières ou d'escaliers.



Curage et revente d'éléments valorisables en réemploi

MATÉRIAUX RÉEMPLOYÉS
Portes, sanitaires, radiateurs, etc.

860
TONNES RÉEMPLOYÉES

DÉCHETS DANGEREUX
ET NON DANGEREUX
Métaux, bois, plâtre, etc.

6 826
TONNES ÉVACUÉES

66%
DE VALORISATION

DÉCHETS INERTES
(HORS TERRES)
Béton, briques, tuiles, etc.

58 760
TONNES ÉVACUÉES

99%
DE VALORISATION

SOIT

96%
DE VALORISATION
DES DÉCHETS (HORS TERRES)

- Curage et tri des éléments de second-œuvre

La déconstruction génère d'autres déchets - métal, plâtre, bois - triés sur site puis dirigés vers les filières de valorisation existantes. Malgré l'essai de plusieurs filières émergentes pour le recyclage de la laine de verre et du verre, un grand nombre de déchets n'ont pas pu être triés et ont été évacués en mélange.

Finalement, 32% des déchets issus des éléments de second œuvre sont entrés dans des filières de recyclage. Cela s'explique d'une part par l'agglomération de matériaux rendant impossible leur valorisation : polystyrène collé au béton, fibralith collée au plâtre, etc. et d'autre part par la qualité du tri à la source. Au total, en ajoutant la valorisation énergétique, 66% de ces déchets ont été valorisés.

- Démolition et concassage des matériaux inertes

La déconstruction des bâtiments situés sur la ZAC Village Olympique et Paralympique a généré 58 760 tonnes de déchets inertes (béton, briques, tuiles, etc.). 99% de ces matériaux ont été recyclés :

- Concassés sur site, les granulats ont été directement réutilisés en sous-couche de voirie sur le projet ;

- Évacués à Bruyères-sur-Oise, les gravats ont été concassés et font l'objet d'une expérimentation pour la production de substrat pour accueillir les plantations des espaces publics du Village des Athlètes.



Dépose du parquet de la Grande Nef de l'Île des Vannes, en vue de son réemploi

Valorisation des terres excavées

Après les opérations de déconstruction des bâtiments, une phase de viabilisation est nécessaire pour préparer les terrains. Sur la ZAC Village Olympique et Paralympique, le dénivelé du terrain induit un volume important de terres excavées. Le passé industriel de la zone a, en outre, entraîné une pollution étendue des sols. En raison de délais trop contraints, la dépollution des terres s'effectue hors chantier sur des plateformes dédiées.

Ainsi 568 904 tonnes de terres provenant de la viabilisation des espaces publics et des lots immobiliers ont été évacuées. Des plateformes ont été mises en place pour stocker les lots de terres dans l'attente des résultats d'analyses de pollution. Elles ont ensuite été dirigées vers les filières adéquates : valorisées en remblaiement de carrière pour les terres inertes, traitées en biopile pour les terres polluées ou stockées en déchets non dangereux.

Malgré les difficultés de calendrier, la pollution - plus importante que ne présageaient les études - et l'exiguïté des zones de stockage, la gestion des terres excavées sur la ZAC Village Olympique et Paralympique est un véritable succès accompagné d'une stratégie exemplaire d'évacuation par voie fluviale (cf. page 34).

Déchets de chantier en phase de construction

Contexte et objectifs

La gestion des déchets de chantier est un point clé dans la mise en place d'un chantier d'excellence environnementale.

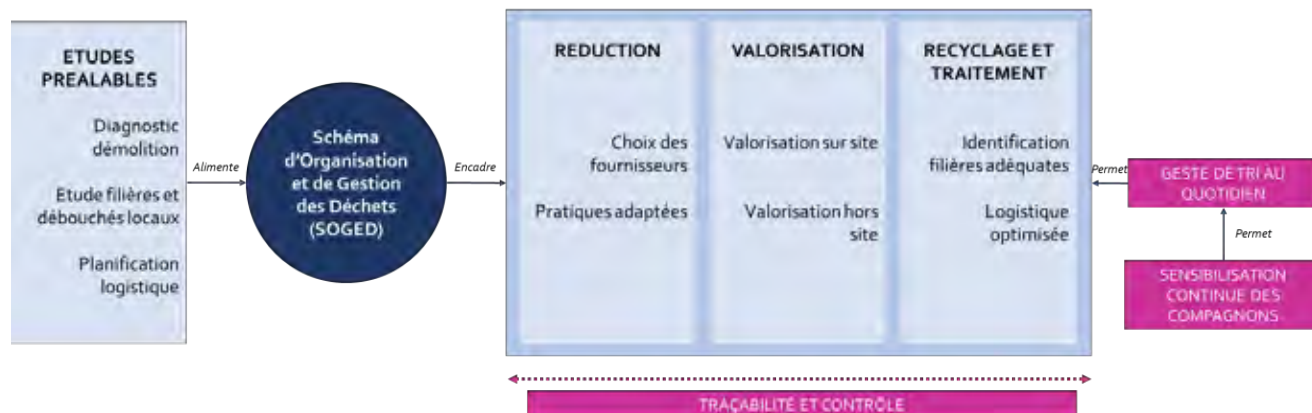
La stratégie de gestion des déchets pour les chantiers olympiques et paralympiques est encadrée d'une part par un Schéma d'Organisation et de Gestion des Déchets (SOGED) et, d'autre part, par des exigences fixées dans le cadre de la Charte Environnementale d'Organisation et de Logistique Chantier (CEOLC).

Le SOGED, réalisé en amont du chantier par l'entreprise, s'appuie sur une connaissance fine du site, et prend en compte la place disponible sur le chantier, les objectifs du constructeur et les filières de traitement des déchets disponibles.

L'article 79 de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) adoptée par la France en 2015 établit un objectif de 70% de valorisation des matières et déchets produits sur les chantiers de construction dont l'État et les collectivités territoriales sont maîtres d'ouvrage.

Porteuse d'ambitions d'excellence environnementale, la SOLIDEO a fixé dans la CEOLC un objectif de 90% de réemploi et de valorisation des déchets issus des chantiers olympiques et paralympiques. Cet objectif n'inclut pas le traitement des déchets dangereux, ni la valorisation *in situ* de terres excavées, ni la valorisation du béton en remblais (dans le cas d'une déconstruction préalable).

Stratégie de gestion des déchets de chantier



Suivi et résultats

- Méthode de suivi

Le suivi environnemental du chantier est réalisé par la SOLIDEO pour les opérations sous sa responsabilité en tant qu'aménageur, le reste des opérations étant suivi par chacun des maîtres d'ouvrage compétents. Il inclut des visites et un reporting mensuels avec un suivi complet des engagements environnementaux. L'analyse des données hebdomadaires offre une bonne capacité de réaction lorsqu'une anomalie est détectée.

- Des objectifs atteints sur la ZAC Village Olympique et Paralympique

L'ambition de valorisation minimale de 90% des déchets non dangereux de chantier a été relevée et atteinte. L'analyse des données déchets de la SAS Ampère, de la SCCV Quinconces et de la SCCV Saint-Ouen Héritage sur la période allant de septembre 2021 à avril 2022 en atteste. 94,61% c'est le taux de valorisation des 3 626,34 tonnes de déchets valorisés sur 3 832,83 produites par les 3 principaux opérateurs immobiliers du Village des Athlètes.

- Des enseignements sur les méthodes de tri

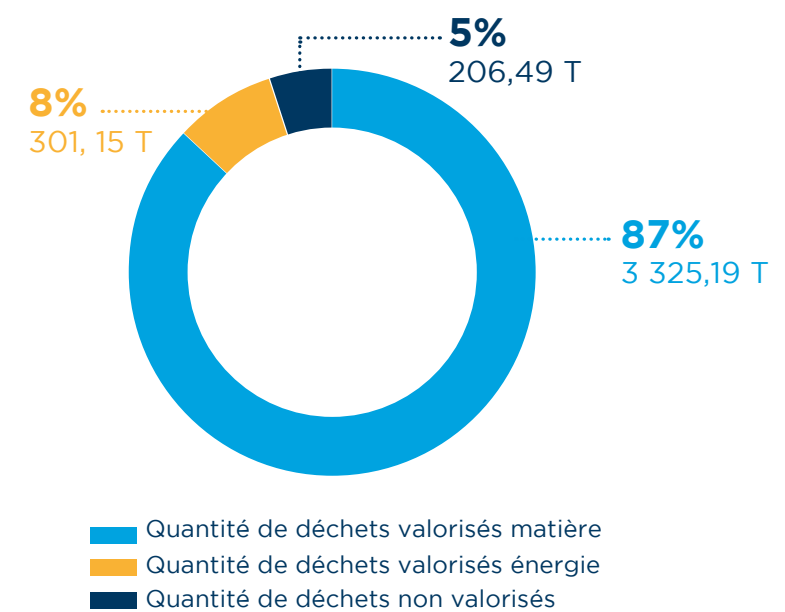
La juste répartition des déchets dans les bonnes filières permet de limiter les enfouissements et de préserver les ressources naturelles par la conception de matériaux et équipements de construction intégrant de la matière recyclée.

Des méthodes différentes sont identifiées sur les opérations des Villages¹ :

- sur la ZAC Village Olympique et Paralympique, le tri en phase gros œuvre est assuré sur site par la présence de 4 bennes pour les flux majoritaires des déchets produits (ferraille, bois, gravats minéraux et Déchets Industriels Banaux résiduels). Les déchets dangereux sont traités spécifiquement ;

- sur le Village des Médias, le tri n'est à ce jour pas réalisé directement sur site. La distinction selon les différents flux de déchets et la valorisation sont assurées par les plateformes de tri à la réception des bennes².

Répartition des déchets valorisés parmi le total des déchets produits au cours des mois de septembre 2021 à avril 2022 sur le secteur continental du Village des Athlètes (hors béton et déchets dangereux)



1 - Le suivi des terres excavées est réalisé de manière indépendante et n'intervient pas dans les résultats présentés ici.
2 - Il est à noter qu'au regard de la temporalité des chantiers du Village des Médias, la consolidation des données sera réalisée ultérieurement.

Consommations des fluides

En ce qui concerne les consommations des chantiers en eau et en énergie :

- de bonnes pratiques sont mises en œuvre sur l'ensemble des chantiers en matière de sobriété : détecteurs de présence, éclairage LED, récupération des eaux pluviales... ;

- la SOLIDEO réalise un monitoring des données afin de mettre en évidence des écarts dans un retour d'expérience sur les consommations des chantiers en vue de comparaisons futures. Les chiffres consolidés ne sont pas encore disponibles à date du rapport.

Logistique

Une nécessaire ambition logistique compte tenu de l'ampleur des chantiers

Afin de minimiser l'impact des chantiers sur les riverains et le trafic local et éviter le stationnement des camions sur les voies publiques, la SOLIDEO a mis en place un système complet de régulation des flux logistiques, Fluideo, développé avec Mobility by Colas. Ce système implique - pour l'ensemble des opérations de la ZAC Village Olympique et Paralympique - la réservation de créneaux de livraison sur une plateforme numérique, la planification et l'organisation des flux. Au cœur de ce dispositif, la SOLIDEO a installé une aire de régulation déportée.

L'ensemble des camions de livraison, hors rotation de béton, doit passer par cette aire de régulation située à Gennevilliers, limitant ainsi l'engorgement des voies de circulation.

Ce système de régulation permet de mesurer des indicateurs environnementaux : distance parcourue par camion, émissions de GES associées ainsi qu'émissions évitées par ce fonctionnement en aire de régulation. Le système est en cours de déploiement sur les différentes opérations et montera en puissance en phase de second œuvre. Un bilan des indicateurs environnementaux sera réalisé en phase d'exploitation.

Le recours à la logistique fluviale

- Évacuation des terres excavées

De janvier 2021 à avril 2022, 501 328 tonnes de déblais issus de cinq chantiers de la ZAC Village Olympique et Paralympique ont été évacuées par voie fluviale : viabilisation de la ZAC Village Olympique et Paralympique, lots immobiliers des secteurs D et E, viabilisation de la ZAC de l'Écoquartier fluvial et l'enfouissement des lignes de haute tension. 25 066 camions ont ainsi été évités dans les rues de Saint-Denis et Saint-Ouen. 95% des déblais liés aux travaux de viabilisation de la SOLIDEO ont été évacués par voie fluviale ainsi que 78% des déblais de travaux d'enfouissement des lignes de haute tension menés par RTE.



Évacuation des terres excavées par voie fluviale

- Approvisionnement fluvial

Le Village des Athlètes étant situé au bord de la Seine et à proximité d'un port, certaines entreprises de construction ont choisi la voie fluviale :

- Pour l'Écoquartier fluvial, la logistique fluviale permet l'approvisionnement d'éléments structurels en bois pour la construction des bâtiments directement via des ducs d'Albe installés le long des berges de l'Île Saint Denis ;

- Pour les secteurs D2 et B1/B2T du Village des Athlètes, les entreprises se sont tournées vers Saint-Gobain / Point P afin de s'approvisionner d'abord en matériaux de gros œuvre comme les parpaings puis en matériaux de second œuvre. Des livraisons régulières ont lieu jusqu'au port de Saint-Denis, la livraison du dernier kilomètre est ensuite effectuée par des camions roulant au biogaz.

La méthodologie usuelle ne permet pas de prendre en compte les gains carbone associés au transport fluvial. En effet, dans les Fiches de Données Environnementales et Sanitaires (FDES), le module de transport est moyenné à l'échelle nationale. Il est trop coûteux et peu intéressant pour les entreprises de s'engager dans la réalisation de FDES spécifiques pour

des chantiers présentant une chaîne logistique vertueuse. D'autant que le module transport ne représente que 5% environ de l'impact total du produit.

Dans une logique incitative, la SOLIDEO a ajusté la méthodologie de bilan carbone appliquée aux ouvrages olympiques afin de prendre en compte le gain associé au transport fluvial.

Ainsi, la SOLIDEO propose l'instauration d'un gain carbone forfaitaire de 5,5 kg par tonne de matériaux transportés par la voie fluviale sur la base des éléments de la chaîne logistique de Point P. Un premier bilan des économies de CO₂ sera réalisé une fois les livraisons plus avancées.

Que ce soit pour l'évacuation et l'approvisionnement fluvial ou la régulation logistique, ces démarches impliquent un travail de coopération entre une multiplicité d'acteurs : opérateurs fluviaux et port, collectivités et autorités publiques ainsi qu'entreprises et sous-traitants. Un dialogue constant est donc nécessaire ainsi que de nombreuses sessions d'information et périodes de test pour assurer une bonne appropriation des systèmes par les entreprises et leurs sous-traitants.

PRÈS DE

500 000
TONNES DE DÉBLAIS
évacuées du Village par voie fluviale

SOIT PLUS DE

25 000
CAMIONS ÉVITÉS

95%
DES TERRES issues des travaux de viabilisation des espaces publics de la ZAC Village Olympique et Paralympique évacuées par la voie fluviale

SOIT

146 000
TONNES DE TERRES

.....

78%
DES DÉBLAIS des travaux d'enfouissement des lignes de haute tension menés par RTE

3. Exploitation et vie du bâtiment

La réduction du bilan carbone des opérations doit s'envisager sur l'intégralité de la durée de vie des ouvrages. C'est-à-dire qu'il faut conjuguer une bonne performance énergétique des bâtiments à des sources d'approvisionnement énergétique vertueuses.

La SOLIDEO a fixé des objectifs de sobriété énergétique pour les ouvrages en construction ou en rénovation, avec la limitation des besoins en chauffage (<25 kWh/m²/an pour les logements) ou en rafraîchissement (<10 kWh/m²/an pour les bureaux).

En tenant compte des différents types de programmation et en préservant une mixité

des usages, la conception intègre également la production d'énergie solaire photovoltaïque.

Dès que cela est possible, de nombreux ouvrages s'appuient sur les infrastructures énergétiques existantes, avec des raccordements au réseau de chaleur existant ou des extensions de réseau accompagnées de nouvelles capacités de production (comme sur le Village des Athlètes ou l'Arena Porte de la Chapelle). La majorité des grands ouvrages neufs est raccordée à des réseaux existants, en extension ou en création, avec des taux d'énergie renouvelable compris entre 50 et 70%. Sur le Village des Médias, un réseau de chaleur est créé.

Sobriété énergétique

Performances énergétiques élevées

L'optimisation de la performance énergétique des ouvrages a été traitée avec soin dans le contexte d'opérations complexes qui implique de trouver un juste équilibre entre des enjeux souvent perçus comme antagonistes : réduction des besoins énergétiques (chaleur, froid et électricité), fonctionnalité et confort d'une part, réchauffement climatique à long terme, et notamment en 2050 date étalon à l'analyse réalisée, d'autre part.

Les prescriptions visent la sobriété énergétique en tenant compte des spécificités de chaque projet :

- Pour l'Arena Porte de la Chapelle, un ouvrage complexe du fait de son usage multifonctionnel en phase Jeux puis en phase Héritage, les objectifs ont été déterminés sur la base d'un parangonnage, réalisé avec la maîtrise d'ouvrage et ses AMO, et sécurisé par un dispositif de garantie de performance énergétique en exploitation ;

- Pour les écoles du Bourget, les objectifs ont été calés sur les meilleures pratiques actuelles en groupe scolaire ; à savoir la labellisation Passivhaus, associée à un mécanisme d'engagement énergétique ;

- Dans les stades mis en conformité et rénovés, les travaux influent peu sur les performances énergétiques. Les objectifs relèvent d'obligations de moyens, comme la mise en œuvre d'éclairage LED performant.

À ce stade, les calculs énergétiques doivent être précisés avec des performances susceptibles d'évoluer, notamment pour garantir le respect des exigences de confort thermique fixées par la SOLIDEO (cf. 2^{ème} partie, page 46).

Des écarts pourront être constatés dans la suite du projet mais devraient être limités par la conception performante de l'enveloppe des différents ouvrages et la mise en place de mécanismes de garantie de performance énergétique.

Cas particulier des centres aquatiques

Les centres aquatiques sont des projets complexes présentant des enjeux importants en matière de consommation énergétique : production de chaleur, déshumidification de l'air, consommation électrique des systèmes de ventilation, filtration...

En Île-de-France, une piscine « classique » avec un bassin de nage et un bassin ludique peut consommer plus de 3 000 kWh/m² de bassin par an pour le chauffage tandis qu'une piscine performante consommera environ 1 700 kWh/m² de bassin. Les consommations électriques, autres que celles de chauffage, sont de l'ordre de 1 600 kWh/m² de bassin. Ces ratios dépendent naturellement de la

programmation de l'opération : surface de bassin, présence de bassin nordique, zone de bien-être...

Les objectifs initiaux de consommation énergétique pour les piscines olympiques sont les suivants : une consommation annuelle de chaleur inférieure à 1 700 kWh/m² de bassin intérieur et une consommation électrique annuelle (hors chauffage) inférieure à 1 200 kWh/m² de bassin. Ces valeurs sont déclinées en concertation avec les différents maîtres d'ouvrage afin de tenir compte des spécificités de chaque opération. La déclinaison spécifique des objectifs pour chaque projet et les résultats associés feront l'objet d'une étude ultérieure approfondie.



Piscine de Colombes

Label Énergie-Carbone

En parallèle des objectifs carbone fixés selon la méthodologie SOLIDEO, les opérateurs immobiliers atteignent le niveau E3 du label Énergie-Carbone pour la grande majorité des ouvrages des Villages.

C'est également le cas des gymnases et bureaux de l'Arena Porte de la Chapelle qui affichent un niveau E3C1 et des écoles du Bourget qui atteignent un niveau E2C1.

Les autres ouvrages ne sont pas soumis à la réglementation thermique à laquelle s'adosse le référentiel Énergie-Carbone.

Des sources d'énergie vertueuses

Une stratégie en faveur des énergies renouvelables

La neutralité carbone implique une réflexion sur le contenu en CO₂ des sources d'énergie utilisées pour l'alimentation en chauffage, eau chaude sanitaire et rafraîchissement des ouvrages.

Certains équipements s'approvisionneront à différentes sources d'énergie pour améliorer le bilan carbone de leur exploitation. On note par exemple :

- la récupération de la chaleur fatale produite par les groupes froids des opérations en elles-mêmes ou des unités de production des réseaux urbains ;
- le raccordement aux réseaux de chaleur et de froid urbain existants.

Les deux Villages parviennent à un taux d'énergie renouvelable proche de 70%, grâce à l'extension ou la création d'un réseau

LES BÂTIMENTS DU VILLAGE DES ATHLÈTES SERONT CHAUFFÉS À

68%
PAR LA GÉOTHERMIE

d'énergie alimenté par des ENR réalisées par la SOLIDEO. Sur la ZAC Village Olympique et Paralympique, des thermofrigopompes hébergées dans la centrale de géothermie alimentent le réseau de chaleur et de froid (pour les bureaux et les logements dès la phase Jeux).

Par rapport à d'autres solutions - réseau de gaz ou chaufferies individuelles de type biomasse - la géothermie permet de réduire drastiquement le poids carbone de l'exploitation des ouvrages tout en offrant une solution collective qui limite les problématiques de gestion et de logistique pour le quartier.

De manière générale, les projets reposent sur la récupération d'énergie et les réseaux de chaleur existants pour couvrir les besoins énergétiques. La valorisation des sources d'énergie locales est systématiquement recherchée : captage de chaleur sur les eaux grises, eaux de fuite des bassins et pédiluves ou chaleur fatale des déshumidificateurs.

Des projets d'innovation poussent encore plus loin les ambitions de performance énergétique.



Un projet innovant de gestion énergétique d'un immeuble tertiaire sur le secteur E du Village des Athlètes

Le groupement mené par Nexity et Eiffage Immobilier, lauréat du secteur E du Village des Athlètes, va déployer sur l'un des bâtiments tertiaires en phase Héritage un projet innovant de gestion énergétique d'un immeuble tertiaire.

Un système de pilotage permettra d'ajuster en temps réel les besoins en électricité et les ressources du bâtiment pour décarboner l'électricité consommée, limiter les appels de puissance, et répondre à d'éventuelles

contraintes tarifaires ou environnementales. C'est la combinaison de solutions techniques pionnières - systèmes de charge réseau/véhicules électriques bidirectionnels, autoconsommation de la production photovoltaïque, utilisation de batteries zinc-air - et leur pilotage qui permet d'innover à travers une Garantie de Puissance Optimisée.

Cette innovation fait l'objet d'une dotation du Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO.



Un projet d'approvisionnement 100% EnR&R sur l'Arena Porte de la Chapelle

L'Arena Porte de la Chapelle présente un projet d'approvisionnement 100% EnR&R¹ au bout de 10 ans et la création d'une « pile verte urbaine » qui alimentera le Nord parisien. Cette innovation est financée par le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO.

Une usine de production de froid, implantée dans l'Arena, produira 100% des besoins en froid de l'Arena et sera en partie alimentée par des panneaux solaires photovoltaïques en toiture. La récupération de la chaleur fatale de cette installation (récupération thermique et pompe à chaleur) permettra à terme de couvrir l'intégralité des besoins en chaleur de l'Arena.

La production de chaleur est ainsi assurée en priorité par la récupération de l'énergie fatale du réseau de froid Fraîcheur de Paris.

Cette récupération permet de couvrir 50% des consommations de chaleur de l'Arena. Le complément est assuré par un raccordement au réseau de chauffage urbain CPCU. À terme, la récupération de chaleur fatale, associée à une pompe à chaleur, devrait suffire à couvrir

les besoins de chauffage et d'ECS². Les besoins de froid sont couverts par le réseau de froid Fraîcheur de Paris.

Ce mix énergétique présente un taux d'ENR&R évoluant au fil des ans du fait de l'augmentation de la chaleur fatale récupérable sur le réseau de froid urbain. Il est estimé à 92% pour la première année d'exploitation et à 100% à un horizon de 10 ans. Par ailleurs, une partie de la surface de la toiture est mise à disposition du Délégué de la Concession de Froid Urbain pour y implanter une centrale photovoltaïque. Ce projet est financé par le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO.

Ces performances peuvent être atteintes en raison de la sobriété énergétique du bâtiment. La conception de l'Arena s'attache ainsi à réduire les besoins de chaleur et de froid tout en favorisant les gains passifs, notamment par une réflexion sur la spatialité ainsi que par une enveloppe présentant un haut niveau d'étanchéité à l'air, des protections solaires fixes ainsi qu'une réflexion sur l'inertie et la ventilation naturelle.



Perspective de l'Arena Porte de la Chapelle

1 - Énergies renouvelables et de récupération
2 - Eau chaude sanitaire

Focus : énergie solaire photovoltaïque

Un déploiement généralisé préservant la diversité d'usage des toitures

L'ambition énergétique de la SOLIDEO se traduit par le déploiement massif de dispositifs de production solaires photovoltaïques sur les ouvrages.

Au Village des Athlètes, des installations photovoltaïques sont prévues pour l'ensemble des secteurs immobiliers avec l'objectif de couvrir 20 à 25% des consommations électriques tout usage. Ces installations ont été optimisées en fonction des différents objectifs régissant l'usage des toitures :

- la végétalisation de toitures non-accessibles, afin de contribuer à l'abattement des eaux pluviales, à la préservation et au renforcement de la biodiversité et enfin à la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain ;
- la mise en œuvre de terrasses partagées pour les occupants ;
- la mise en place de toitures photovoltaïques.

Les taux de couverture sont satisfaisants compte tenu de la densité du quartier (peu de toitures disponibles par rapport aux m² de surface de plancher), de l'absence de panneaux en façade et de la préservation d'un usage varié des toitures.

Sur la ZAC Village Olympique et Paralympique, l'ensemble des panneaux photovoltaïques (dont ceux déportés pour le secteur D) représente une production de 1 407 MWh par an soit l'équivalent de 599 ménages complètement couverts en énergie et une puissance de 1 403 kWc. Cette production photovoltaïque représente plus de la moitié de l'énergie photovoltaïque produite par la totalité des ouvrages supervisés par la SOLIDEO.

Pour les lots immobiliers de l'Écoquartier fluvial, le bilan de production ENR annuel s'élève à 286,7 MWh par an avec un taux de couverture de 22% des consommations électriques tous usages (1 622 m² de panneaux photovoltaïques).

Sur la Centrale de Mobilité, 2 500 m² de panneaux photovoltaïques pour une puissance d'environ 80 kWc sont installés sur une structure portante. La procédure de désignation du futur exploitant est lancée.

Le Centre Aquatique Olympique sera couvert par environ 4 700 m² de panneaux photovoltaïques, d'une puissance totale de 661 kWc. Les 620 MWh par an d'électricité ainsi produits seront principalement autoconsommés par le bâtiment. Il deviendra l'une des plus importantes centrales photovoltaïques de France sur bâtiment sportif en autoconsommation.



Panneaux photovoltaïques sur la toiture du Centre Aquatique Olympique

Des montages divers et ouverts

La SOLIDEO a pris le parti de ne pas prescrire le type de montage des projets. Il en résulte une diversité de choix chez les opérateurs immobiliers avec :

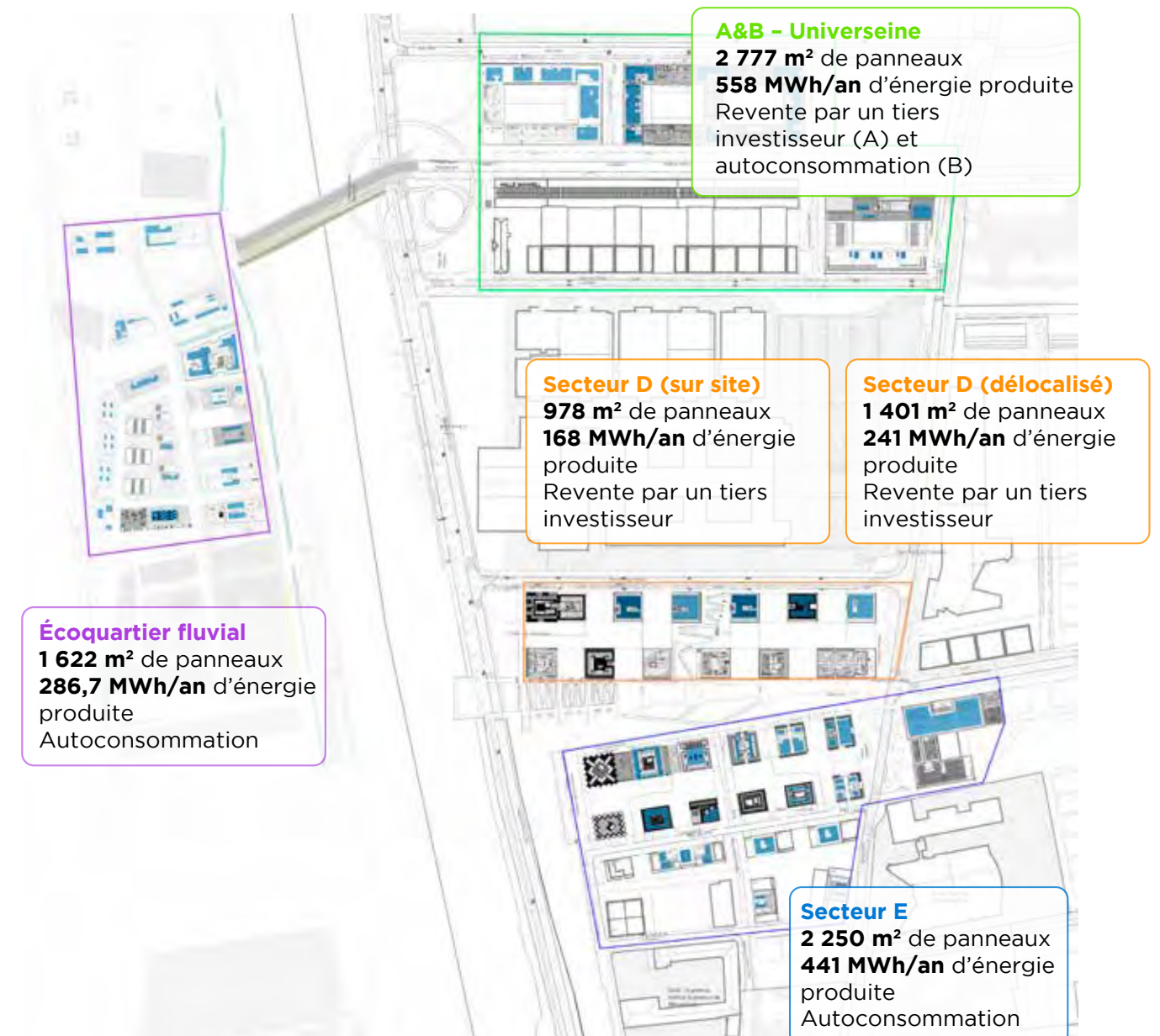
- des montages faisant intervenir un tiers investisseur opérant une revente au réseau :

o sur le secteur A du Village des Athlètes, avec un investissement d'Helexia ;

o sur le secteur D du Village des Athlètes, avec un investissement d'Atriohm, détenu par la Caisse des Dépôts et Akuo Energy et un contrat de revente avec Plum'Énergie ;

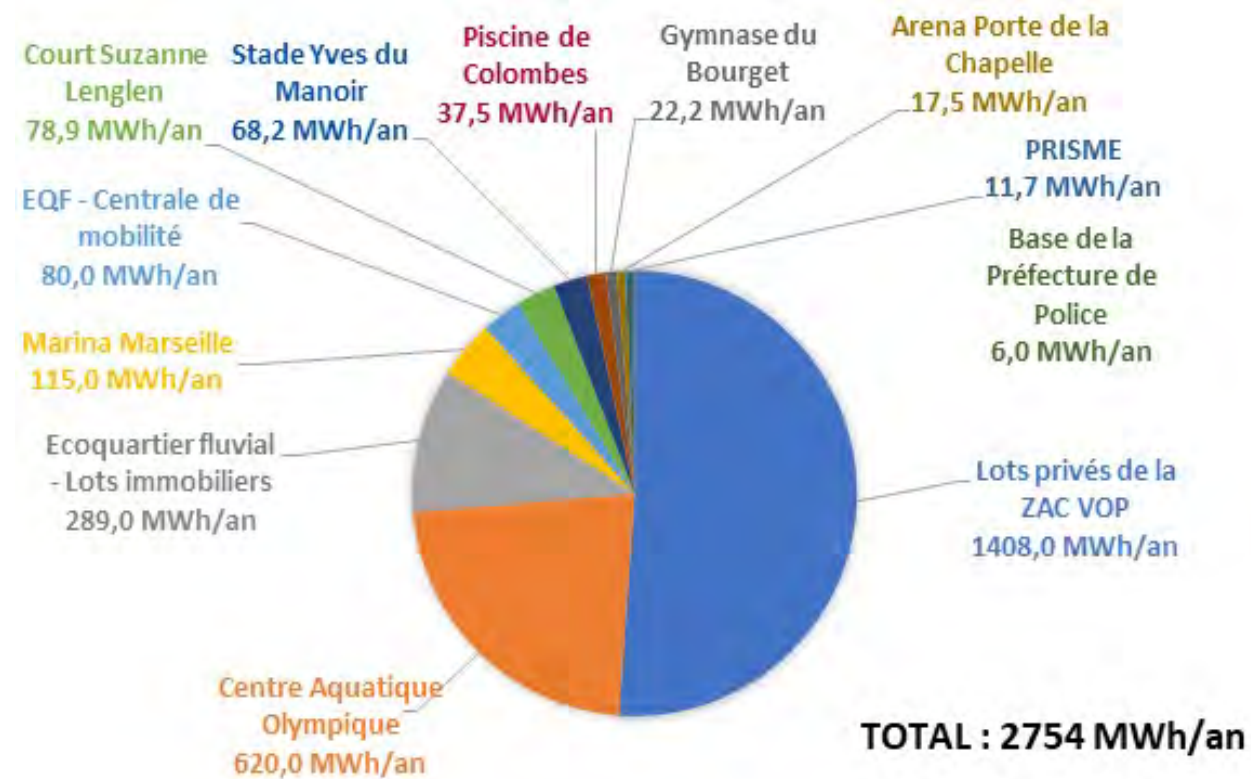
- des montages en autoconsommation individuelle ou collective, avec des contrats de maintenance passés auprès d'opérateurs énergétiques mettant en œuvre les panneaux (secteur E du Village des Athlètes - avec un investissement EDF -, Centre Aquatique Olympique,...).

Même sans innovations particulières, les différents montages proposés par les opérateurs ont fait apparaître des difficultés en matière de propriété et de gestion des toitures. Elles ont pu être réglées notamment par la mise en œuvre de divisions en volumes.



Installations photovoltaïques sur le Village des Athlètes

Huit ouvrages supplémentaires portent des panneaux photovoltaïques en toiture : la Marina de Marseille, le court Suzanne Lenglen du stade Roland Garros, le stade départemental Yves du Manoir, la Piscine de Colombes, le Gymnase du Bourget, l'Arena Porte de la Chapelle, le bâtiment PRISME et enfin la base avancée de la Préfecture de Police. Ces différents ouvrages rassemblent une puissance totale installée d'environ 390 kWc. Leur production photovoltaïque annuelle cumulée est de l'ordre de 357 MWh/an soit l'équivalent de la consommation de 152 ménages.



Production annuelle d'énergie photovoltaïque sur les ouvrages olympiques et paralympiques

Une logique circulaire architecturale et programmatique

Le bâtiment Cycle

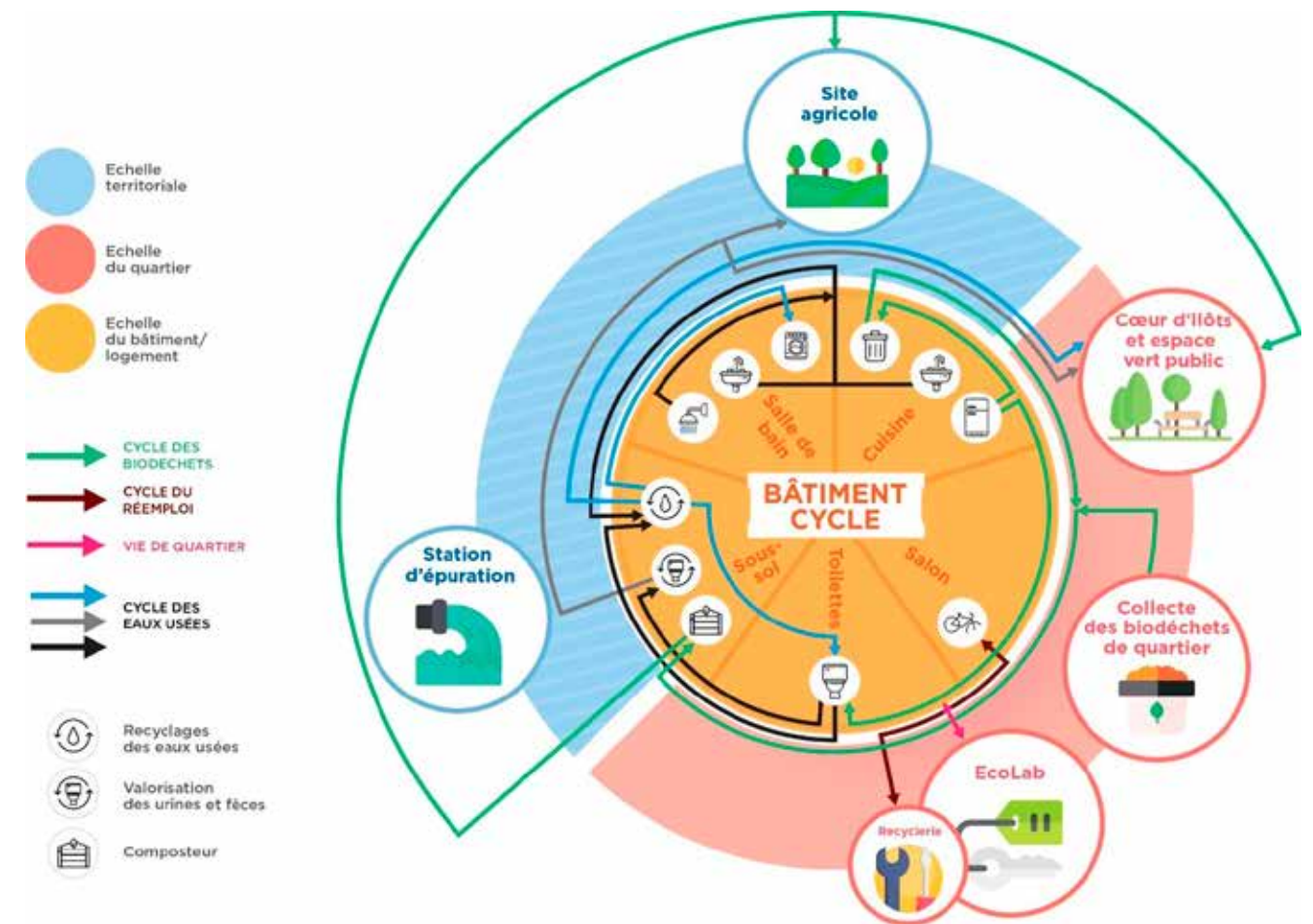


Un bâtiment démonstrateur de la circularité des ressources

Ce bâtiment démonstrateur illustre le paradigme de la circularité des ressources et initie une véritable transition vers des « Bâtiment Ressources » et « Zéro Déchet » en exploitation, limitant fortement les impacts environnementaux et recréant de la valeur locale ainsi que de nouveaux métiers. Il assure le recyclage de la totalité de ses eaux

usées (eaux noires et eaux grises) et permet d'économiser jusqu'à 60% de sa consommation d'eau potable.

Cycle est une réalisation du groupement Icade-CDC Habitat accompagné notamment par l'entreprise Nereus. Le projet est soutenu par le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO.



L'économie circulaire dans la programmation commerciale des rez-de-chaussée

Dès la phase offre des consultations immobilières du Village des Athlètes et du Village des Médias, les opérateurs immobiliers ont proposé des programmes d'activités artisanales et commerciales en cohérence avec les ambitions d'excellence environnementale. Plusieurs acteurs pressentis pour occuper ces espaces ont une activité directement liée à l'économie circulaire. La programmation étant liée à la phase Héritage, les modalités de contractualisation avec ces futurs preneurs ne sont pas encore concrétisées :

- L'Écolab : est conçu comme la régie environnementale du Village des athlètes, à la fois conciergerie pour l'ensemble des habitants et centre d'accompagnement dans la

pratique des écogestes au quotidien. L'Écolab sera un nouveau QG destiné à partager une culture commune autour de la transition environnementale ;

- La Recyclerie Sportive, présente sur le centre aquatique Olympique et sur le Village des Athlètes, offrira des équipements de sport de seconde main et organisera des activités avec les habitants ;

- D'autres activités de recyclerie et de réparation seront présentes sur le Village des Athlètes : Atelier Chutes Libres, la Textilerie et Solicycle ;

- L'offre de restauration du Centre Aquatique Olympique intègre une démarche Zéro déchet ainsi que de l'approvisionnement local en collaboration avec les Fermes de Gally.

C. BILAN PROVISOIRE

1. PRODUITS DE CONSTRUCTION ET ÉQUIPEMENTS

Afin de fonder l'analyse sur des données fiables, les chiffres ici présentés correspondent aux émissions liées aux produits de construction et équipements (PCE). Ce choix méthodologique est principalement motivé par l'hétérogénéité des données fournies par les équipes de conception selon les ouvrages. Les méthodologies de calcul diffèrent en matière de périmètre d'étude et d'hypothèses de calcul.

Le tableau ci-dessous synthétise, pour chacun des ouvrages, les résultats obtenus sur le périmètre des PCE en l'état des connaissances à date de juillet 2022 :

TYPLOGIE	RÉFÉRENCE (T CO ₂ eq)	PROJET (T CO ₂ eq)	GAIN projet/référence
Village des Athlètes	299 423	210 974	- 30%
Villages des Médias	73 467	63 647	- 13%
Équipements publics	46 730	31 471	- 33%
Équipements sportifs	116 914	92 301	- 21%
Piscines	70 087	58 761	- 16%
Espaces d'exposition	15 679	13 757	- 12%
Infrastructures	74 418	60 277	- 19%
Aménagements paysagers	2 648	2 390	- 10%
TOTAL	692 447	533 579	- 23%

Bilan carbone PCE

Les efforts réalisés par les maîtres d'ouvrage et leurs entreprises permettent d'éviter 23% des émissions des gaz à effet de serre par rapport à des projets classiques sur lesquels les solutions bas carbone ne seraient pas recherchées. Cela représente une économie d'environ 149 000 Teq CO₂.

Le bilan carbone actualisé au début de l'année 2022 s'appuie sur des données consolidées plus fiables que les années précédentes.

En effet, 42 bilans carbone ont été réalisés en phase Conception sur les 64 ouvrages répertoriés, soit 87% du bilan carbone global.

31 d'entre eux ont été réalisés en phase PRO/DCE¹, soit 80% du bilan carbone global.

Nous pouvons donc considérer à ce stade que 80% du bilan est déjà fiabilisé même si ces données seront actualisées jusqu'à la livraison des projets.

2. ANALYSE SUR L'ENSEMBLE DU CYCLE DE VIE

Les données liées à la phase Exploitation ne sont pas systématiquement intégrées dans les bilans carbone réalisés par les équipes en phase Conception. Afin de comparer des résultats à périmètres équivalents, lorsque la donnée n'est pas disponible, l'analyse prend en compte les émissions calculées pour le scénario « socle ». Ces données sont amenées à évoluer au fil de la réalisation des projets et jusqu'à leur livraison.

À l'échelle du programme olympique, les résultats par typologie sont les suivants :

TYPLOGIE	RÉFÉRENCE (T CO ₂ eq)	PROJET (T CO ₂ eq)	GAIN projet/référence
Village des Athlètes	544 072	300 328	- 45%
Villages des Médias	176 112	128 431	- 26%
Équipements publics	69 895	42 515	- 39%
Équipements sportifs	231 074	178 549	- 23%
Piscines	286 880	215 836	- 25%
Espaces d'exposition	18 573	15 999	- 14%
Infrastructures	78 573	70 745	- 10%
Aménagements paysagers	3 392	3 017	- 11%
TOTAL	1 408 571	955 420	- 32%

Bilan carbone ensemble du cycle de vie

Les ouvrages olympiques font ainsi la démonstration du savoir-faire français en matière de réduction de l'impact carbone de la Ville. L'objectif global de réduction de 50% des émissions de carbone par rapport à un scénario de référence est presque atteint sur le Village des Athlètes. Globalement les disparités de résultats observés correspondent à des contextes économiques et des typologies de projets différents.

Les Jeux sont l'occasion de mettre en lumière des savoir-faire et des performances carbone ambitieuses pour un panel important et varié de projets. Ils marqueront, dès 2024, une étape clé sur la trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les domaines de la construction et de l'aménagement.



**PENSER LE
CONFORT URBAIN
EN 2050**

PENSER LE CONFORT URBAIN EN 2050

A. DES OBJECTIFS QUI ANTICIPENT LE CLIMAT À L'HORIZON 2050

Consciente des conséquences du réchauffement climatique et des évolutions à prévoir en matière de confort urbain, la SOLIDEO inscrit résolument les projets olympiques et paralympiques dans une logique d'adaptation. L'ensemble des maîtres d'ouvrage est incité à considérer la résilience comme une question centrale dans la conception de projets adaptés aux évolutions climatiques à l'horizon 2050.

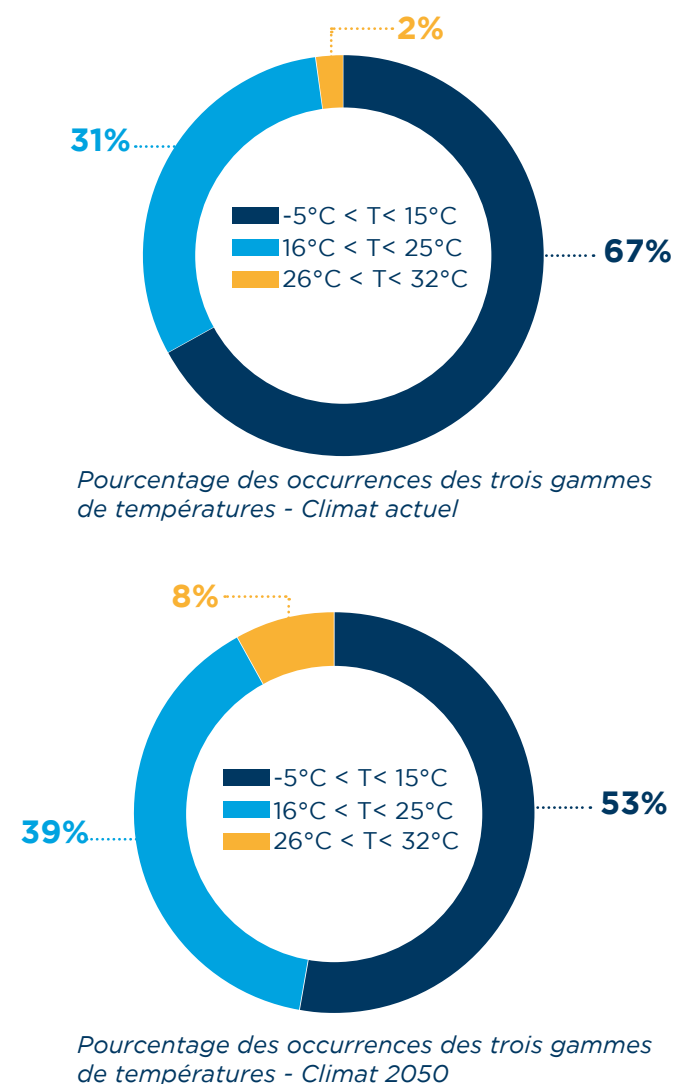
1. SIMULER LE CLIMAT DE 2050

Afin de garantir aux usagers des ouvrages olympiques et paralympiques à des niveaux de confort satisfaisants en 2050, la SOLIDEO a d'abord engagé avec Météo France un travail de simulation.

Le climat 2050 simulé dans le cadre des études est fondé sur le scénario RCP 8.5 (« Business as usual ») des travaux du GIEC. Ces calculs sont basés sur la moyenne de 200 simulations des années 2050 possibles. Un scénario dit « Climat 2050 Moyen » a été modélisé, dans le contexte territorialisé des ouvrages, et a servi de donnée d'entrée lors de la détermination des objectifs puis au cours de la conception des ouvrages. Il laisse entrevoir la normalisation à venir d'événements extrêmes tels que la canicule de 2003. Pour documenter la résilience des ouvrages en cas d'épisode extrême, un scénario correspondant à une année défavorable du climat de 2050, a également été construit.

Un climat en moyenne plus chaud

Les projections à l'horizon 2050 montrent une forte augmentation des périodes de forte température, notamment au-dessus de 28°C. Concernant le climat moyen actuel, le nombre d'heures où T>28°C est de 138 heures, contre 313 heures en 2050.

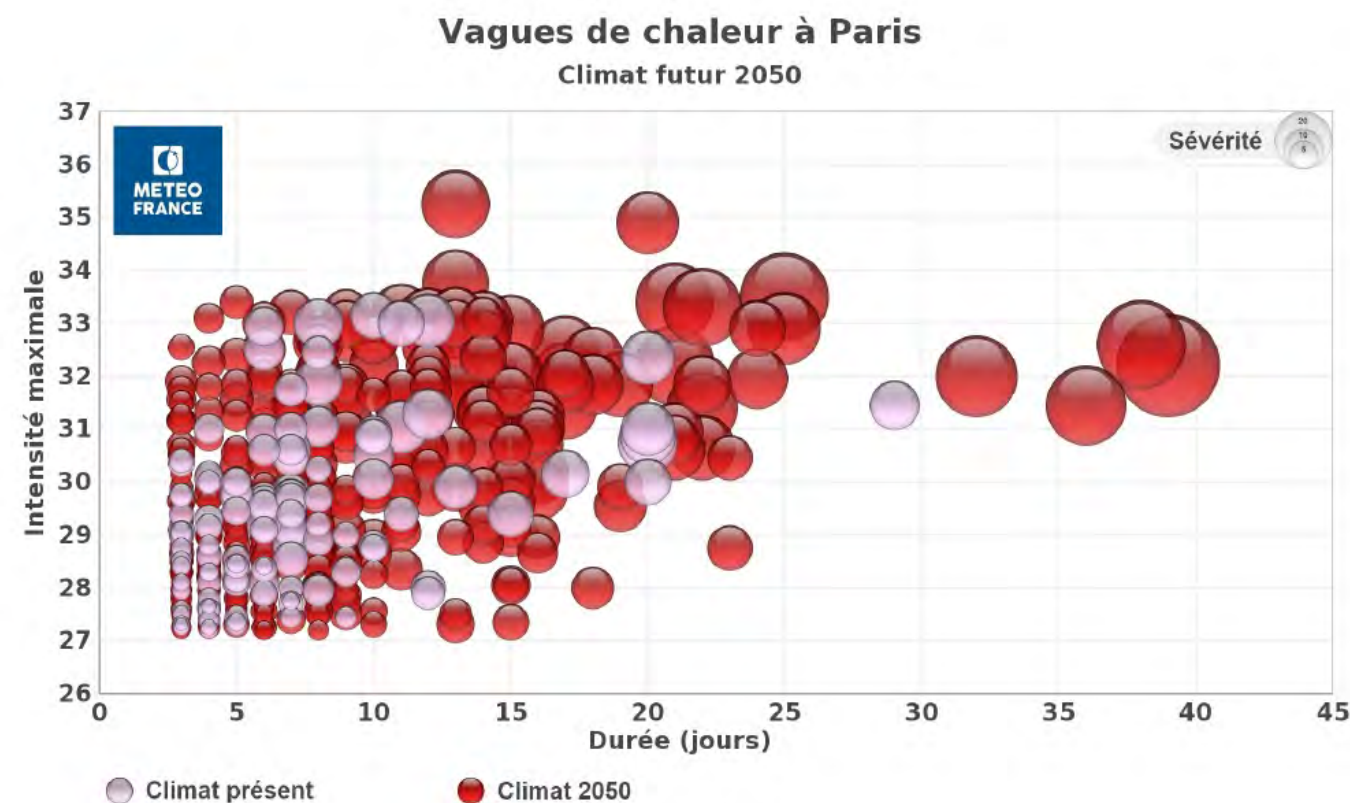


Des canicules plus intenses et plus fréquentes

L'analyse menée par Météo France a également porté sur les vagues de chaleur, de type canicule. Ce focus a mis en évidence l'augmentation du nombre de ces épisodes extrêmes. Leur fréquence augmente de 242% à l'horizon 2050 (484 cas identifiés sur la simulation de 200 années, soit 2,42 vagues de chaleur par an en moyenne), contre 74,5% en climat présent (149 cas identifiés sur la simulation de référence de 200 années en

climat présent, soit 0,75 vague de chaleur par an en moyenne).

L'analyse a aussi permis de mettre en évidence une augmentation en intensité et en durée à l'horizon 2050 des épisodes caniculaires (avec une moyenne plus élevée d'un jour en durée et d'un degré en intensité). Ces hausses de températures seront renforcées par le phénomène de l'îlot de Chaleur Urbain (ICU) accentué à horizon 2050.



Vagues de chaleur à Paris dans le climat présent ou sous le climat 2050 simulé selon le scénario RCP8.5

2. DES OBJECTIFS QUANTITATIFS POUR LES BÂTIMENTS

Au cours de la phase de conception, les ouvrages ont été mis à l'épreuve des simulations météorologiques pour anticiper le confort en 2050 et adapter le projet en conséquence. Ces simulations ont été réalisées sur la base de modélisations numériques des bâtiments, en adéquation avec la démarche BIM portée par la SOLIDEO pour l'ensemble des ouvrages.

Ainsi, la SOLIDEO a-t-elle fixé pour un grand nombre d'ouvrages des seuils d'inconfort thermique dont les dépassements en heures doivent être limités. Des seuils différents ont été fixés par la SOLIDEO pour le climat actuel et pour le climat de 2050.

L'inconfort correspond habituellement au dépassement d'une température intérieure de 28 degrés. Pour les ouvrages olympiques, cette approche est complétée par un indicateur sur le confort ressenti, avec un inconfort défini par $PMV > 1$ (*Predicted Mean Vote*). Le critère relatif au PMV permet notamment de valoriser dans la conception le recours à la ventilation naturelle ou aux brasseurs d'air lorsqu'ils sont nécessaires.

Sur les bâtiments de logement des Villages, les objectifs de confort correspondent à des seuils limites pour le nombre d'heures de l'année où la température dépasse les 28°C ou le PMV dépasse 1.

	SEUIL	SCÉNARIO CLIMATIQUE ACTUEL (2000-2009)	SCÉNARIO CLIMATIQUE 2050 « MOYEN »
PMV	> 1 (légèrement chaud)	< 110h	< 200h
TEMPÉRATURE OPÉRATIVE	> 28°C	< 70h	< 160h

Synthèse des seuils applicables aux bâtiments de logements des Villages

Sur les autres ouvrages, principalement les équipements accueillant du public, les seuils pouvant correspondre à une situation d'inconfort sont fixés à 2% et 3% du temps d'occupation annuel.

3. DES OBJECTIFS QUALITATIFS POUR LES ESPACES EXTÉRIEURS

La démarche de confort urbain concerne également les cœurs d'îlots privés, les espaces publics et les abords des ouvrages. Les niveaux de végétalisation et les modes de gestion des eaux permettent d'y préserver des capacités de rafraîchissement des espaces et facilitent la ventilation naturelle des bâtiments voisins.

L'ambition est d'aménager les espaces extérieurs en lieux agréables, y compris lors d'épisodes de canicule ou de pics de pollution. Si la diversité des situations a complexifié la détermination de cibles quantitatives concernant le confort de ces espaces, la SOLIDEO a veillé à ce que cet aspect soit pris en compte, à travers des engagements de moyens et des démarches de simulation.

4. UN POINT D'ATTENTION SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

La pollution atmosphérique est évidemment une préoccupation majeure. La SOLIDEO a fixé pour les ouvrages des prescriptions liées à la qualité d'air intérieur. Elles concernent les dispositifs de filtration, notamment à proximité des sources de pollution, et le recours à des matériaux de second œuvre vertueux : peintures, colles de mise en œuvre des revêtements de sols...

La SOLIDEO a également porté une attention spécifique à la qualité de l'air extérieur, à travers un objectif de pacification des quartiers, un suivi de la qualité de l'air en phase Chantier et une importante démarche d'innovation. La SOLIDEO est ainsi signataire, aux côtés de l'État et de Plaine Commune, du Protocole d'accord relatif à la qualité de l'air et du bruit autour du quartier Pleyel à Saint-Denis, en tant qu'aménageur du Village des Athlètes et au titre de l'opération olympique portée par la DIRIF sur l'échangeur Pleyel.

B. UNE STRATÉGIE ADAPTÉE À CHAQUE ÉCHELLE ET À CHAQUE PROJET

1. LE BIOCLIMATISME AU CŒUR DE LA CONCEPTION

Les enjeux de confort d'été en 2025 et en 2050 président à la réflexion sur la morphologie des projets tant à l'échelle du quartier qu'à celle de chaque bâtiment. Il s'agit ainsi de garantir les meilleurs niveaux de confort des ouvrages olympiques et paralympiques et de réduire leurs besoins d'apport en froid.

Des morphologies urbaines adaptées

Le dessin urbain

Dès le dessin urbain, en segmentant le projet en îlots auxquels des prescriptions sont attachées, la question du confort guide les prescriptions quant à la forme et la hauteur des bâtiments.

La démarche de conception bioclimatique s'illustre ainsi dans la morphologie urbaine du Village des Athlètes. L'orientation des axes publics internes au quartier instaure une dualité vis-à-vis de l'ensoleillement : un côté ensoleillé agréable pour la promenade au printemps et un côté ombragé et frais faisant office de réserve de fraîcheur l'été.

La conception des « îlots bateaux » s'inscrit également dans cette logique et atténue l'ensoleillement. Les îlots se composent d'immeubles en plots, qui ont fait l'objet de modélisations aérauliques et d'études d'ensoleillement et se montrent très efficaces d'un point de vue environnemental. Cette configuration établit un bon compromis entre compacité et ensoleillement et vues multiples, tout en assurant la ventilation du quartier.



La morphologie urbaine de la ZAC Village Olympique et Paralympique, sous la forme « d'îlots bateaux »

La modélisation à l'échelle du quartier

En appui de la conception, des simulations ont été réalisées afin d'évaluer la pertinence des orientations au regard des bénéfices attendus en matière de ventilation naturelle du quartier ou d'ensoleillement des bâtiments et des espaces publics.

Sur le Village des Athlètes, ces simulations ont permis de valider la pertinence du recours à la forme de plots de différentes hauteurs, notamment en matière d'ensoleillement. Pour ce qui concerne l'aérodynamique, les études ont mis en évidence la prédominance de vents en provenance de la Seine capables - grâce à la forme et à l'orientation des îlots - de rafraîchir l'ensemble du quartier.

Des bâtiments adaptés

Un confort pour tous

La méthodologie imposée par la SOLIDEO en matière de suivi des objectifs de confort constitue une réelle innovation pour la

conception de projet. Pour une large majorité des ouvrages, des simulations thermiques dynamiques qualifient et quantifient les niveaux de confort. Elles ont été réalisées à chacune des étapes de conception, de l'esquisse au stade du concours ou de l'offre, à la passation des marchés de travaux, en passant par l'ensemble des phases de conception.

Ces mises à jour très régulières, bien plus que dans la conduite habituelle des projets, ont permis d'orienter les choix de conception afin d'assurer les niveaux de confort adéquats, notamment en matière d'isolation, de taux de vitrage et de protections solaires.

Les études réalisées sont venues alimenter les réflexions des concepteurs sur de nombreux aspects :

- la conception des bâtiments et des logements, pour privilégier les plans traversants ou bi-orientés (généralisés sur les logements à partir du T2) ;

- la maîtrise des taux de vitrage, au regard également des objectifs de sobriété en chauffage, avec un équilibre à trouver (autour de 25% pour les lots immobiliers du Village des Médias par exemple), les niveaux d'isolation et le choix des performances ;

- le choix des protections solaires, au regard des conditions de confort d'usage du logement (volets roulants dans les pièces de nuit...).

Ces simulations reposent sur de nombreuses hypothèses quant à l'usage des bâtiments par leurs occupants, en particulier en matière de présence dans le logement, d'ouverture des menuiseries et d'abaissement des protections solaires. La SOLIDEO a élaboré une méthodologie générale qui a ensuite été adaptée aux spécificités de chaque projet.

Cette sensibilité des résultats des études aux hypothèses démontre que les performances de confort de bâtiments non climatisés dépendent fortement de leur bon usage. À titre d'exemple, la préservation de la fraîcheur

du bâtiment en période chaude dépend fortement de la fermeture des protections solaires pendant la journée, en particulier lorsque les apports solaires sont directs, ou de l'ouverture des menuiseries la nuit, lorsque la température extérieure baisse.

Dans ce contexte, la sensibilisation et l'accompagnement des usagers constituent des enjeux majeurs pour atteindre le confort et la sobriété espérés.

Parmi les équipements sportifs, l'opération de couverture du court Suzanne Lenglen à Roland Garros a constitué un défi difficile en matière de confort : le risque majeur était de créer une atmosphère surchauffée pour cet équipement sportif initialement à l'air libre. Des études thermiques dynamiques et aérodynamiques ont cependant confirmé que, lorsque la future toile de couverture sera fermée, les apports générés par le soleil et par les occupants sont compensés par la ventilation naturelle du volume : la température du volume couvert reste ainsi très proche de la température de l'air extérieur.



Intérieur logement sur le Village des Athlètes



La future couverture du court Suzanne Lenglen à Roland Garros

Des espaces refuges

La SOLIDEO a recherché, pour les ouvrages olympiques, des réponses aux enjeux d'épisodes caniculaires, plus fréquents, plus longs et plus chauds (en température moyenne) que la canicule de 2003. Il ne s'agit alors plus de confort mais bien de résilience.

Les espaces refuges sont des lieux facilement identifiables, ouverts ou fermés, adaptés à l'accueil du public. Ils peuvent présenter des caractéristiques telles que l'autonomie électrique grâce à des groupes électrogènes, des espaces rafraîchis pour les personnes vulnérables et permettent le rassemblement des populations lors de situations de crises diverses.

Les prescriptions initiales de la SOLIDEO prévoyaient ces espaces refuges dans les bâtiments de logements et de bureaux, sous la forme d'espaces communs équipés, mais également au sein des équipements publics et, en extérieur, sur les espaces publics.

La sanctuarisation d'espaces communs au sein des bureaux et logements n'a pas toujours été possible en raison des contraintes de compacité des bâtiments. Toutefois, les projets apportent des réponses partielles, avec l'équipement en eau d'espaces communs tels que des halls

d'entrée ou des espaces de circulation. Ces espaces restent modestes et leur équipement en général peu développé, pour des raisons de gestion. La conception a cependant esquissé une première brique de réponse que les futurs occupants et gestionnaires pourront renforcer.

Les équipements publics, dotés de systèmes de rafraîchissement passifs et actifs, joueront principalement le rôle d'espace refuge. Le groupe scolaire de Dugny, dans le Village des Médias, intègre ainsi des brise-soleil orientables, permettant d'obtenir un taux d'occultation de 90% en position fermée et de participer à un haut niveau de confort en situation chaude ou caniculaire. Le projet assure à tous les locaux un taux d'inconfort inférieur à 2% du temps d'occupation sous le climat projeté de 2050.

Pour aller plus loin, des zones refuges seront mises en place dans les dortoirs, les salles polyvalentes, les salles périscolaires et le restaurant, avec un rafraîchissement actif permettant de ne pas dépasser 26°C maximum sous le climat projeté de 2050. Au stade de l'APD¹ rendu par l'entreprise lauréate du marché de conception-réalisation, des précisions doivent encore être fournies, notamment en matière de gestion du dispositif.



Le groupe scolaire de Dugny

2. ESPACES EXTÉRIEURS : LUTTER CONTRE LES ÎLOTS DE CHALEUR

Dès la conception des bâtiments et des espaces publics, les enjeux d'îlots de chaleur sont pris en compte et traités par une large végétalisation des espaces extérieurs associée à des mesures de gestion de l'eau et à des dispositifs innovants sur des zones présentant des enjeux très forts. Les projets visent la création d'îlots de fraîcheur, accueillants et accessibles y compris en période de stress climatique.

Des choix de conception pour des lieux frais et confortables

Les espaces extérieurs sont pensés pour limiter au maximum la formation d'îlots de chaleur urbains et permettre le bon usage des espaces publics en période chaude ou caniculaire. Ainsi, les espaces publics des ZAC et des abords des ouvrages font-ils intervenir des matériaux aux teintes claires et multiplient les îlots de fraîcheur végétalisés. La large végétalisation, la maximisation des surfaces de pleine terre et la gestion des eaux pluviales (décrites au chapitre III) contribuent pleinement à la maximisation de l'évapotranspiration dans les espaces publics pour en faire des lieux agréables.

La modélisation pour orienter les décisions et comprendre les phénomènes

La SOLIDEO a réalisé en partenariat avec le CEREMA une étude innovante sur le Mail Finot du Village des Athlètes. L'étude croise des modèles d'évapotranspiration de la végétation et de microclimat urbain (projet COOLVEG) permettant de caractériser l'effet d'îlot de chaleur urbain à l'horizon 2050 et de définir une stratégie d'atténuation avec la végétalisation et le choix de matériaux et revêtements adaptés.

L'approche fait interagir des modèles numériques microclimatiques et hydrologiques. Le chaînage entre les modèles MARIE et SOLENE-microclimat a permis d'évaluer l'évapotranspiration des espaces végétalisés du Village en distinguant la strate arborée et les strates basses, et en considérant des conditions hydriques des sols tant optimales que sous stress hydrique.



À titre d'exemple, pour l'année 2050 simulée, la demande climatique d'évapotranspiration s'élève à 1 150 mm d'eau, alors que l'évapotranspiration réelle sur les espaces végétalisés du mail Finot sera limitée à 950 mm avec l'assèchement des sols. La modélisation montre que ce stress hydrique sera particulièrement prégnant lors d'une période de canicule, avec une réduction de 65% de l'évapotranspiration. Face à cet enjeu, des leviers pour favoriser l'évapotranspiration ont été identifiés et intégrés dans la conception des espaces publics :

- au travers du choix des essences d'arbres pour augmenter la densité des feuilles, réduire la résistance stomatique de la végétation ou ancrer les racines plus profondément, ce qui permet d'augmenter l'évapotranspiration annuelle, mais la réduit significativement lors des canicules (sauf pour les racines) ;

- au travers de la conception de chaque secteur pour favoriser le ruissellement des eaux pluviales et leur infiltration dans les espaces végétalisés, ce qui permet de significativement soutenir l'évapotranspiration.

L'enjeu est de créer un microclimat agréable même en période de canicule, en utilisant la végétation qui permet de réduire la température de l'air ambiant. L'étude a montré que la végétalisation permet de réduire de 5 à 10°C les températures à la surface des végétaux, et de plusieurs degrés l'air ambiant du mail, si l'évapotranspiration est maximale, c'est-à-dire sans stress hydrique. Ces résultats démontrent et quantifient l'importance de l'arrosage de la végétation, ils justifient les mesures mises en place en matière d'aménagement de noues et la mise en œuvre d'innovations.

La captation pour confirmer les hypothèses et préfigurer de nouveaux usages

Pour approfondir ses analyses en phase d'études et améliorer le suivi des performances, la SOLIDEO s'est dotée de dispositifs de mesure météorologique et de qualité de l'air sur le Village des Athlètes. Deux stations météorologiques, sur les berges de Seine et sur la rue Ampère, et six capteurs de qualité de l'air répartis à travers le Village permettront de mesurer plus d'une dizaine de valeurs relatives à la situation météorologique et aux concentrations des polluants usuels.

Installés sur le chantier au mois de juin 2022, les capteurs sont en cours de raccordement à la plateforme de données de la SOLIDEO.

L'enjeu est double : analyser les remontées de données des capteurs dès la phase Chantier, afin de tirer des conclusions sur les effets micro-locaux en matière d'îlot de chaleur ou de pollution et préfigurer un dispositif de monitoring pérenne, en lien notamment avec la démarche Smart Citizen.

Innover contre les situations caniculaires



Des solutions innovantes de lutte contre les îlots de chaleur sur le Village des Athlètes

Des solutions innovantes de lutte contre les effets d'îlots de chaleur seront déployées au Village des Athlètes. Elles reposent sur des matériaux adaptés, des revêtements drainants et le traitement *in situ* des eaux usées pour l'irrigation de la végétation. Ces solutions – dont certaines constituent des innovations de rupture – permettront de réduire la température ressentie et d'accroître le confort dans les espaces publics.

Les solutions retenues :

- Green Bow (entreprise Nereus) : traitement des eaux usées et réutilisation pour l'irrigation de la végétation. Le dispositif de vanne implanté sur le réseau d'eaux usées ainsi que le procédé de traitement par filtration céramique constituent de véritables innovations technologiques.

Avec l'utilisation des eaux usées d'une canalisation adjacente et la capacité du système Recynov de 1,2m³/h d'eaux usées retraitées, le projet permettra d'irriguer l'ensemble des espaces de la place Ampère et du Mail Finot, soit 108 arbres, 1 605 m² de gazon, 2 922 m² de massif (dont 1 238m² xérophils). Concernant l'irrigation des arbres, le système prévoit une injection souterraine autour de la motte.

L'apport sera hebdomadaire pour les arbres. Le but est de favoriser le développement racinaire dans les trois premières années pour coloniser l'intégralité de la fosse de plantation et ainsi réduire les situations de stress hydrique les années suivantes.

- Cool Ground (entreprise Emulithe) : regroupement de cinq solutions de revêtements urbains pour récupérer, stocker et redistribuer l'eau et ainsi créer un effet de fraîcheur direct. L'innovation réside dans la combinaison de ces solutions à l'échelle d'une rue au sein d'un dispositif piloté.

Les dispositifs mis en place rue Ampère sur un linéaire de 125 mètres au droit du collège Dora Maar combinent 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 et une station météo pour le pilotage de l'ensemble du dispositif.

L'idée est de stocker les eaux pluviales dans la chaussée afin de les restituer à la végétation et aux pavés environnants en période chaude et sèche, permettre leur « transpiration » et par conséquent le rafraîchissement de l'espace public.

3. UN RÉSEAU DE FROID DÈS LES JEUX ET POUR L'HÉRITAGE

Sur le Village des Athlètes, à Saint-Denis et Saint-Ouen, en parallèle de l'extension du réseau de chaleur du SMIREC sur le territoire de Plaine Commune, la SOLIDEO initie la création du réseau froid du secteur Pleyel. Le projet initial ne concernait que le raccordement des bureaux du Village au réseau de froid alimenté par la pompe à chaleur installée au niveau de l'installation de géothermie. Celle-ci permet la production de chaleur et de froid au cours du même cycle thermodynamique.

Dans un premier temps, la SOLIDEO et le SMIREC ont étudié l'opportunité d'un raccordement futur des programmes de logements au réseau de froid, à l'horizon 2030 ou 2040 et, dès la phase Jeux, l'installation de planchers réversibles (chauffants et rafraîchissants) dans les logements, en dimensionnant les réseaux en conséquence mais sans raccordement et modification du dimensionnement des installations de production dès à présent.

Si le confort soumis aux climats 2020 et 2030 est entièrement réalisé à partir des dispositions passives, les simulations thermiques dynamiques menées sur les logements en configuration Héritage ont mis en évidence la difficulté à atteindre le confort en 2050 uniquement avec des dispositions passives. Selon les simulations, certains logements (par exemple mono-orientés ou très exposés au sud) dépassent les seuils d'heures de confort fixés par la SOLIDEO.

Toutefois, deux spécificités relatives à l'usage des logements en phase Jeux ont conduit à la nécessité d'un raccordement des logements au réseau de froid dès 2024 :

- la « suroccupation » des locaux, grâce à l'ajout de cloisons temporaires, qui entraîne une augmentation importante des apports de chaleur internes (liés au corps humain en l'occurrence) et donc complexifie l'atteinte des niveaux de confort dans les logements ;

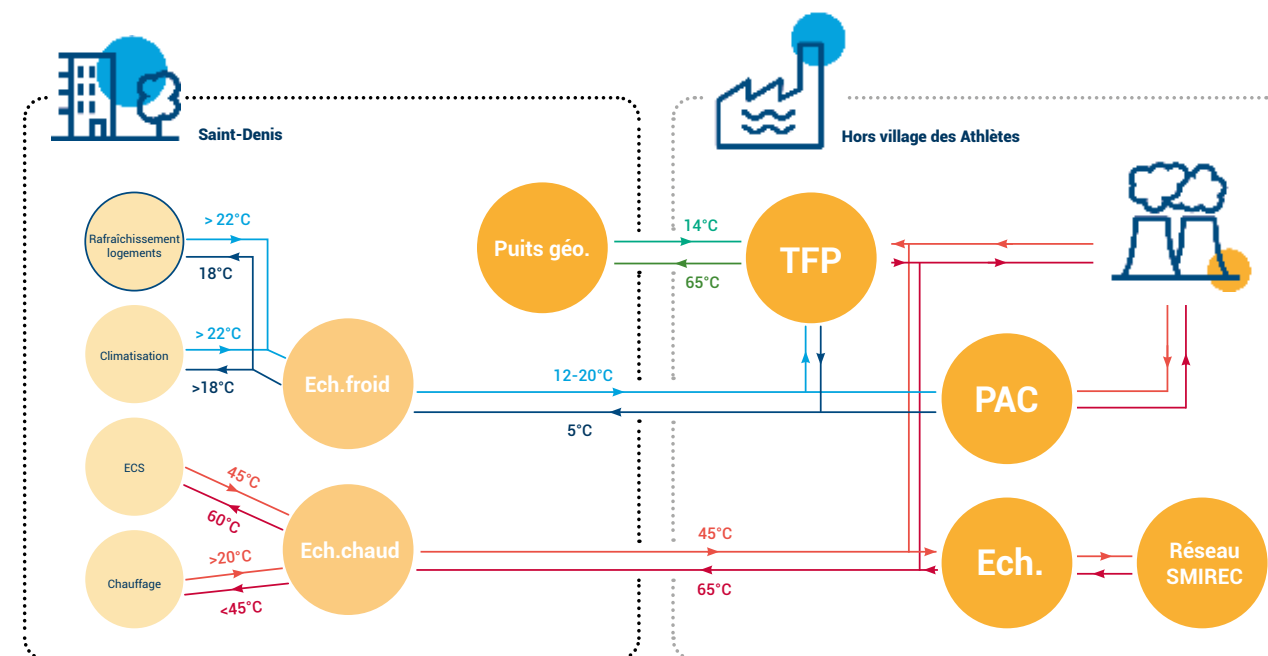


Schéma de principe du réseau de chaleur et de froid du Village des Athlètes

- la spécificité des objectifs de confort fixés pour les athlètes, plus contraignants qu'en Héritage, avec une température inférieure à 26°C lorsque la température extérieure est inférieure à 32°C et un écart minimal de 6°C entre l'extérieur et l'intérieur dès lors que la température extérieure dépasse 32°C.

Les simulations ont montré que ces contraintes entraînent, dans de très nombreux logements, le besoin d'un apport de froid. Ainsi, sans attendre 2050, de nombreux logements dépassent les critères de confort définis pour les athlètes (avec plusieurs dizaines d'heures de dépassement des seuils sur la période estivale).

Afin de limiter le recours à des équipements individuels plus polluants et émetteurs de chaleur dans l'espace public, la SOLIDEO et ses partenaires ont pris la décision de réaliser, dès 2024, le raccordement de l'ensemble des logements de la ZAC Village Olympique et Paralympique au réseau de froid. Ce raccordement de programmes de logements à un réseau de froid constituera une première

à l'échelle nationale. La SOLIDEO met ainsi un outil de résilience climatique innovant à la disposition de la collectivité, avec l'objectif de limiter au maximum un potentiel effet rebond tout en apportant dès 2025 aux habitants du quartier une source de rafraîchissement vertueuse.

Sur les logements en configuration Héritage, l'apport de froid complémentaire permet de rapporter l'ensemble des logements sous les seuils d'inconfort et même de réduire à presque zéro le nombre d'heures de dépassement de 28°C sous le climat de 2050.

L'intérêt de la démarche réside dans la capacité à apporter un niveau de confort très satisfaisant tout en limitant fortement la dépense énergétique, notamment par rapport à la climatisation. En effet, le rafraîchissement actif proposé sur le Village pourra développer une puissance de 16 W/m² contre autour de 100 W/m² pour de la climatisation classique. S'agissant de rafraîchissement, il ne permettra pas d'atteindre une température de consigne mais offrira aux occupants un vrai confort.



4. QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR ET EXTÉRIEUR

Qualité de l'air intérieur

La SOLIDEO a fixé des objectifs de moyens relatifs aux matériaux mis en œuvre afin de limiter les apports internes en polluants. Les matériaux de second œuvre (peintures, boiseries...) ainsi que les éléments de pose (colles...) prévus sont faiblement émissifs en composés organiques volatils (COV, formaldéhyde...). Il est à noter qu'une partie des apports internes (COV notamment) provient généralement du mobilier des occupants, pour lequel la SOLIDEO et le maître d'ouvrage ont peu de leviers d'actions.

L'enjeu est renforcé par les émissions de la circulation routière, de nombreux ouvrages se situant à proximité d'axes routiers majeurs (l'A1 pour le CAO et le Village des Médias, l'A86 pour le Village des Athlètes, le périphérique pour l'Arena Porte de la Chapelle). La destination du bâtiment est porteuse d'enjeux spécifiques. Dans le cas du Centre Aquatique Olympique, la Métropole du Grand Paris prévoit un outil de mesure en continu du taux de trichloramine, permettant à la fois de garantir une bonne qualité de l'air et d'agir sur les systèmes de ventilation pour améliorer l'efficacité énergétique.



Qualité de l'air sur l'Écoquartier fluvial

Une solution de filtration de l'air extérieur adaptée à des immeubles de logement en ventilation simple flux sera installée dans la ZAC de l'Écoquartier fluvial de L'Île-Saint-Denis et une partie des logements du secteur Universeine du Village des Athlètes (la plus exposée à proximité de l'A86).

Cette solution, portée par l'entreprise ALDES, comprend des filtres électrostatiques implantés sur l'ensemble des sorties d'air exposées. Elle permet d'atteindre les niveaux de filtration d'une ventilation de type double-flux, dont la généralisation serait complexe et coûteuse sur des programmes de logements (maintenance, visites régulières...).

La solution technique intègre des entrées d'air murales EHT électrostatiques en

façade et réduit ainsi les transferts de polluants atmosphériques vers l'air intérieur. Ces entrées filtrantes ont une action sur les particules fines présentes dans l'air, avec un taux d'abattement de 65 à 80% pour les PM2.5 et les PM10. L'absence de filtres évite la problématique courante de leur encrassement en exploitation. La maintenance, réduite au nettoyage par brossage et aspiration, est également facilitée.

La gestion de la qualité de l'air intérieur et de son renouvellement sont par ailleurs assurés, dans chaque chambre, par un registre RMD asservi à un capteur de CO₂ et à un capteur d'hygrométrie permettant de varier le débit d'air neuf en fonction des besoins réels et des usages.



F'AIR PLAY, une solution de gestion intelligente de la qualité de l'air intérieur

Sur le bâtiment de bureaux du secteur E du Village des Athlètes, les entreprises EDF et Dalkia Smart Building déploient une solution, appelée F'AIR PLAY, de gestion intelligente de la qualité de l'air intérieur, associant des mesures en temps réel, des solutions de dépollution et un pilotage prédictif autoapprenant.

Le projet F'AIR PLAY vise à bâtir une référence en matière de Qualité de l'Air Intérieur (QAI).

Il conjugue des mesures en temps réel, des solutions de dépollution innovantes (dont le choix est encore en cours de définition par le porteur de projet) et un pilotage prédictif autoapprenant.

L'ambition est de construire le cadre de référence national d'une garantie contractuelle de la qualité de l'air intérieur.

Qualité de l'air extérieur

La grande majorité des ouvrages olympiques est localisée en Ile-de-France dans des espaces de forte contrainte en matière de qualité de l'air extérieur. En complément des politiques publiques menées à l'échelle territoriale en matière de réduction des émissions liées au transport routier notamment, la SOLIDEO mène une démarche proactive en matière de qualité de l'air à travers plusieurs aspects :

- la conception d'ouvrages visant à favoriser les déplacements doux (aménagement et valorisation de cheminements piétons et de pistes cyclables, connexion facilitée aux transports en commun, pistes cyclables...);

- la mise en place, à une échelle très localisée, de solutions innovantes de traitement de l'air extérieur contribuant à préserver le confort et le caractère accueillant des espaces extérieurs.



Passerelle réservée aux mobilités douces pour franchir l'autoroute A1



Une démarche de dialogue compétitif pour déployer des solutions innovantes sur les espaces publics du Village des Athlètes

En ce qui concerne la qualité de l'air extérieur, la SOLIDEO a lancé une démarche de dialogue compétitif destinée à déployer des solutions innovantes sur les espaces publics du Village des Athlètes afin de créer des îlots d'air purifié à une échelle très localisée.

Trois solutions ont été retenues. Ces technologies innovantes distinctes permettent de s'adapter aux différents contextes et usages :

- ParaPM (entreprise Aérophile) : solution de capture par abatement électrostatique des particules fines en provenance de la circulation routière. Sous la forme d'ombrières surplombant un mobilier urbain, cette solution assainit la place des athlètes et la rend plus confortable. Fonctionnant avec l'électricité statique pour l'abatement et des ventilateurs à faible vitesse pour la circulation de l'air, le dispositif est peu consommateur d'électricité et permet de traiter des quantités très importantes d'air (plusieurs dizaines de milliers de m³ par heure, contre quelques centaines pour d'autres solutions).

- Module traitant (entreprise Suez) : au niveau d'une future aire de jeux pour enfants, cette solution de murs traitants combine plusieurs technologies d'abatement des particules fines et des oxydes d'azote. Elle présente l'intérêt de traiter une large gamme de polluants et de pouvoir être implantée sous la forme de mobilier urbain adaptable. Les volumes d'air traité sont moins importants que pour le ParaPM mais l'innovation réside dans la combinaison des technologies et la capacité d'adaptation à un espace de type aire de jeux.

- Terraio (entreprise Starklab) : la solution de traitement de l'air par lavage à l'eau et diffusion de l'air purifié dans l'espace public sera installée à proximité de la Seine dans le Village des Athlètes. Habillé par des mobiliers d'assise, le dispositif diffuse l'air purifié et rafraîchi au niveau des usagers. Il traite différents types de polluants (particules fines, oxydes d'azote ...) et sa capacité de rafraîchissement le rend très intéressant en périodes chaudes. Le travail de pilotage, afin d'assurer sa mise en fonctionnement aux moments les plus pertinents, sera affiné en phase Héritage.

C. ÉTAT DES LIEUX

Le soin particulier apporté à la conception des bâtiments de logements et de bureaux ainsi qu'aux équipements permettra d'offrir aux futurs habitants et usagers des niveaux de confort importants, y compris en période caniculaire.

Pour l'ensemble des projets, les conditions de confort d'été sont respectées à l'exception de quelques objets et espaces qui présentent des dérives de températures en cas de canicule.

Ces écarts font l'objet d'optimisations de manière à limiter au maximum les risques de surchauffe et favoriser l'évacuation de la chaleur, en priorité par des leviers d'actions passifs comme la ventilation naturelle, puis en dernier recours par un rafraîchissement actif plus important.

Une attention particulière est portée au confort thermique des piscines, lieux à la fois sensibles et adaptés à l'accueil des usagers en période de fortes chaleurs. Ainsi, pour les espaces « pieds mouillés », notamment la halle bassin, la mise en place de free-cooling permet d'évacuer la chaleur pendant les périodes d'occupation. Le taux d'inconfort est inférieur à 2% pour un fichier météo normal et inférieur à 3% pour un fichier météo caniculaire.

SOUS LE CLIMAT DE 2050,
LE SEUIL DE

160

HEURES D'INCONFORT
(au-dessus de 28 degrés)

est respecté sur l'ensemble des bâtiments de logements et de bureaux des Villages.

Pour les équipements, les temps d'inconfort ne dépassent pas

2%

DU TEMPS D'OCCUPATION
ANNUEL pour le climat actuel
et

3%

en 2050.



Centre aquatique l'Odyssée à Aulnay-sous-bois



**FAIRE DE LA VILLE
UN SUPPORT
DE BIODIVERSITÉ**

FAIRE DE LA VILLE UN SUPPORT DE BIODIVERSITÉ

A. RESTAURER ET CRÉER DES ÉCOSYSTÈMES

A l'heure de la sixième grande extinction des espèces, la SOLIDEO a considéré la réconciliation entre la ville et la biodiversité comme un impératif de sa mission.

Dès la conception des projets, et avec une stratégie adaptée pour chacun d'entre eux, la SOLIDEO a allié l'urbain au fonctionnement des processus écologiques du territoire dans l'objectif de préserver la préservation de la diversité du vivant. La systématisation du diagnostic écologique (inventaires faune / flore, analyses du sol, du climat ou encore de l'eau) a permis, pour chacun des projets, d'appréhender l'écologie à toutes ses échelles : de la parcelle jusqu'au territoire métropolitain.

C'est sur ce diagnostic complet que se fonde chaque projet pour développer les écosystèmes, définir les habitats cibles et améliorer les habitats existants appauvris par une biodiversité trop peu complexe.

La stratégie biodiversité s'articule autour de deux piliers complémentaires :

- l'intégration de la biodiversité à la conception urbaine ;

- la création d'écosystèmes de taille suffisante, cohérents avec les caractéristiques du paysage et l'histoire du territoire.

Avec une approche opérationnelle multifactorielle prenant en compte le diagnostic écologique, le changement climatique et les dynamiques post-aménagement, la stratégie de la SOLIDEO en matière de biodiversité innove et se distingue des méthodes classiques.



Espaces verts dans Le Village des Athlètes

B. LA BIODIVERSITÉ AU CŒUR DE LA CONCEPTION URBAINE

La SOLIDEO a identifié des enjeux spécifiques aux projets urbains, notamment en matière de trames environnantes, de sols (souvent pollués), d'intégration du bâti (dans toute sa diversité), et de paysage. La volonté est de créer des espaces naturels accueillants et de qualité.

1. DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES À TOUTES LES ÉCHELLES

• Remaillage des grandes trames écologiques

La stratégie environnementale de la SOLIDEO s'inscrit dans la démarche de renaturation menée à l'échelle territoriale par le vecteur des trames brune, verte, bleue et noire¹. L'extension des niches écologiques visée par les projets n'est possible que s'il existe une continuité entre les niches actuelles et l'écosystème. Les ouvrages olympiques sont pensés de manière à établir la connexion des espaces comme autant d'éléments de maillage des trames écologiques.

Au sein même des espaces, les sols sont connectés entre eux pour limiter la fragmentation de la trame brune. Les bandes plantées sont ainsi par exemple préférées aux arbres sous grilles individuelles.

• Pleine terre et continuités écologiques

La maximisation des surfaces de pleine terre est la condition du développement de milieux riches et divers - en palette végétale - tirant mieux parti des précipitations et participant à l'infiltration des eaux pluviales sur le site. Ces surfaces de pleine terre participent pleinement au renforcement des trames existantes et à la qualité du cadre de vie.

Pour la majorité des projets, un taux d'espaces verts et paysagers supérieur à 20% a été fixé, avec des espaces de pleine terre quand cela est possible.

1,2

HECTARE DE SURFACE DE PLEINE TERRE sur les lots immobiliers du Village des Athlètes

5,8

HECTARES D'ESPACES VERTS au sein du Village des Athlètes (partie continentale)

1 - Démarches visant à maintenir et à reconstituer des réseaux d'échanges pour que les espaces animales et végétales puissent circuler, s'alimenter, se reproduire, se reposer et assurer ainsi leur cycle de vie (source : ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires)

- L'exemple du Village des Médias

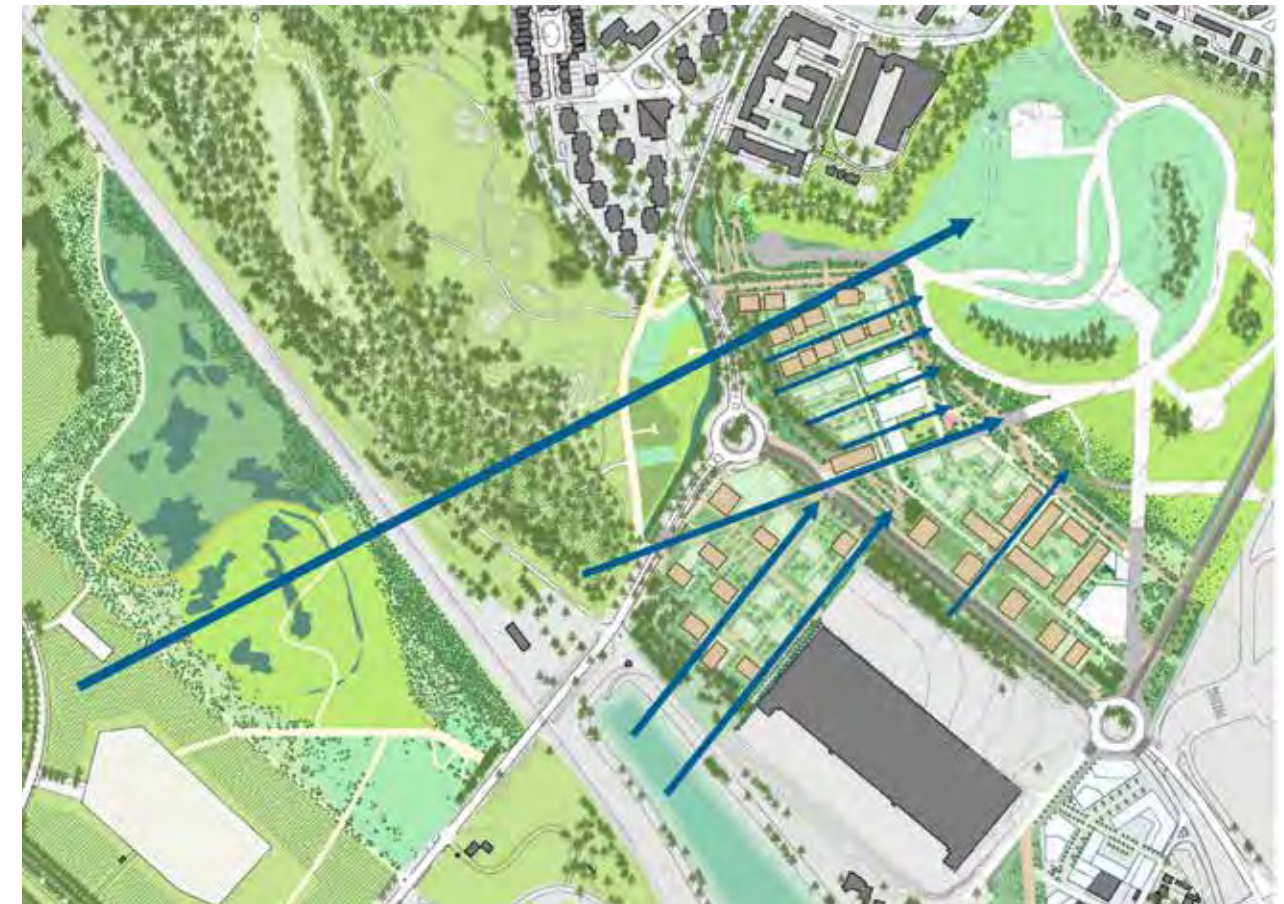
Pour assurer la continuité des trames verte et bleue au travers du Village des Médias, la SOLIDEO a choisi de ne pas urbaniser les zones de passage clés. La renaturation du Terrain des Essences et la protection de la Pigeonnière renforcent le lien entre l'Aire des Vents et le parc départemental Georges Valbon. Le parc, classé Natura 2000, ne subira aucune intervention pérenne afin de protéger la biodiversité existante. Seule la lisière Sud de l'Aire des Vents sera construite.



Restauration du lien entre l'Aire des Vents et le Parc départemental Georges Valbon

Au sein des lots immobiliers, les corridors écologiques régionaux sont préservés, notamment le Corridor du Vallon écologique, vers les bassins de la Molette et vers le parc de la Saussaie (voir les axes en orange sur l'image ci-dessus). C'est par lui que migrent les oiseaux des roselières dont le Blongios

nain, le plus petit héron d'Europe. Des axes écologiques perpendiculaires sont tracés pour préserver les perspectives paysagères et les micro-continuités au sein du Village (en bleu sur la figure suivante). Dans les lots A, B et C, ces perspectives ouvrent des vues vers les grands parcs voisins.



Continuités de la trame verte au sein des lots immobiliers. Les flèches représentent les perspectives paysagères et continuités préservées.

De grands espaces ont été pensés au sein des lots immobiliers afin d'ouvrir les vues et rendre le bâti perméable à la nature. Ces espaces participent à la « ville jardin » : le Village des Médias se compose ainsi de bâtiments inclus dans l'environnement naturel.

Les secteurs de transition entre les zones naturelles et les quartiers aménagés ont été pensés comme des lieux d'échange riches de cette biodiversité caractéristique des lisières. Entièrement végétalisés, ils assurent la perméabilité environnementale des espaces et conservent les continuités au sein du

Village. Ils forment même un habitat nouveau, qui accueille la flore et la faune naturelles du territoire.

Des haies vives assurent le rôle d'interfaces perméables entre les espaces publics et les jardins collectifs. Les limites naturelles que forment les talus sont reboisées et retrouvent un rôle protecteur et écologique de ceinture verte. Sur le secteur du Plateau, au dénivelé important, des terrasses successives marquent progressivement l'interface et laissent le passage à la faune, à la lumière, à l'eau et au végétal.

2. CRÉER DES SOLS FERTILES

Typologie des sols et réemploi des terres

- Terre d'origine

Pour garantir la qualité des sols et la continuité de la trame brune, la SOLIDEO a imposé des règles strictes en matière de traçabilité et d'origine des terres.

0%

DE TERRES ISSUES
DU SECTEUR
AGRICOLE

Favoriser autant que possible l'utilisation de terre végétale issue du réemploi, à défaut des terres excavées du même fond géochimique (rayon de moins de 500 km) afin

d'éviter le déséquilibre des sols locaux et leur contamination par des graines extérieures. Les projets portent une attention particulière à la typologie des sols et à leur histoire. Toutes les terres excavées sont traitées en vue de leur possible réutilisation *in situ* ou *ex situ*. Ce traitement des terres et leur réutilisation supposent des capacités logistiques et la disponibilité du foncier, véritable enjeu en zone urbaine dense. Des zones de stockage sont aménagées sur site dès que possible, au Terrain des essences ou sur le Village des Médias, ou déplacées à proximité comme à Bruyères-sur-Oise pour le Village des Athlètes.

- L'exemple du Terrain des essences

Le projet du Terrain des essences, sous la maîtrise d'ouvrage du département de Seine-Saint-Denis, concerne un ancien dépôt de carburants du ministère des Armées.

Bombardé pendant la Seconde Guerre mondiale, le terrain est resté très pollué. Une dépollution pyrotechnique avait été réalisée sur six mètres de profondeur en 2012 sans traiter la couche de pollution par hydrocarbures au-dessus de la nappe phréatique. Celle-ci peut atteindre 90 cm d'épaisseur et s'étale sur 22 000 m². Le projet encadre cette dépollution.

Selon le degré de pollution, trois scénarios ont été utilisés :

- Le stockage temporaire des terres compatibles avec le réaménagement, soit 16 870 m³ ;
- La mise en biopile des terres dont les teneurs dépassent les objectifs de réhabilitation, soit 37 259 m³ ;
- L'élimination en filière agréée des terres présentant les teneurs les plus élevées, soit 7 319 m³.

La solution de dépollution *in situ* est un traitement biologique exercé sur site pendant huit à douze mois. Cette technique s'effectue par ventilation des terres stockées en biopiles, procédé qui accélère la dégradation naturelle des contaminants. Cette solution permet de réutiliser *in situ* des terres dépolluées issues du même fond géochimique, ce qui garantit l'équilibre des sols.

La dépollution effectuée, la renaturation du Terrain des Essences se fera en accord avec les fonctions urbaines programmées tout en favorisant autant que possible le développement des espèces indigènes existantes (comme le crapaud calamite).

La reconstitution des substrats

Afin de limiter les imports et les exports de terre et capitaliser à partir des ressources présentes sur site, plusieurs projets mettent en œuvre des modes de transformation de terres et de matériaux de déconstruction en nouveaux substrats fertiles.

Dans le Village des Athlètes, la SOLIDEO a identifié une grande variété de sols géologiques avant de définir, à partir de ceux-

ci, la composition des substrats fertiles à reconstituer par le recours à des technosols¹. Ces sols seront créés à partir de matériaux issus de déchets de déconstruction et de terrassements, l'apport de matière organique s'effectue avec le compost d'Île-de-France. Ils seront utilisés à la fois dans les cœurs d'îlots immobiliers, sur les toitures et dans les espaces publics. Des expérimentations de l'innovation technosols sont en cours à Bruyère-sur-Oise.



De nouvelles méthodes de conception des sols urbains

La SOLIDEO reconstitue sur le Village des Athlètes des substrats fertiles à partir des sols existants et de matériaux issus de la déconstruction qui :

- présentent les mêmes caractéristiques géologiques (calcaire, gypse, sables...) que les sols désignés ;
- ont les mêmes apports en nutriments et les mêmes populations de décomposeurs et de champignons ;
- sont suffisamment profonds pour assurer les fonctions naturelles du sol dans l'écosystème (décomposition, nutrition, rétention des eaux...).

La SOLIDEO reconstitue ainsi deux types de sols : le rendosol pour l'Ormaie rudérale et le brunisol pour la chênaie. L'intégration d'une grande quantité de déchets de la déconstruction, mélangés à des sols excavés pour les travaux et à du compost issu des plateformes franciliennes, permettra de reconstituer des technosols pour tous les espaces publics.

L'utilisation de technosols à cette échelle constitue une innovation reproductible pour les projets d'aménagement. Elle remplace la gestion linéaire usuelle des sols par une gestion circulaire. La SOLIDEO souhaite renouveler ainsi la méthode de conception des sols urbains.

Le projet est mené en deux temps :

- Un premier marché d'expérimentation de production et fourniture de substrat de plantations pour le Village des Athlètes, attribué au groupement Halage, Neo-Eco et ECT : 1 500 m³ de substrat de plantation en deux formulations différentes ont été fabriqués sur la plateforme de Bruyères-sur-Oise (95) à partir de matériaux de déconstruction et de matière organique. La mise en œuvre des andains a démarré en juillet 2021.

Les observations sont satisfaisantes, notamment du point de vue de la texture, de la couleur et de l'humidité, mais la composition des formulations a dû être modifiée au regard des analyses en baissant légèrement la proportion de matériaux de déconstruction ;

- Le marché de production de substrats, lancé en mai 2022, a utilisé des formulations modifiées à la suite de l'expérimentation. Ces substrats seront produits en une année et couvriront 75% des besoins en terres des chantiers d'espaces publics du Village entre 2022 et 2023.

Une telle expérimentation équivaut à mener une des plus grandes productions de substrats en France et constitue une véritable première en matériaux de déconstruction. Cette démarche est facilement répliquable si l'on inclut dans les plannings des projets le calendrier de régénération des substrats et si l'on anticipe les besoins de stockage. Le groupement d'entreprises attributaires du marché d'expérimentation a d'ailleurs créé, à la suite de cette expérience, une structure consacrée à la reconstitution de substrats, nommée « Faiseurs de Terre ».



En 2025, après dépollution et renaturation, une partie de l'ancien Terrain des essences sera ouverte au public

3. TRANSFORMER LE BÂTI EN SUPPORT DE BIODIVERSITÉ

46%

DES TOITURES
DES IMMEUBLES
DE MOINS DE 28 M
SONT PLANTÉES

Les ouvrages olympiques ont également un rôle à jouer en faveur de la biodiversité en créant de l'habitat, au sens écologique du terme. Pour des projets présentant des enjeux de densité importants, la conception paysa-

gère permet non seulement de limiter les effets de barrière ou de fracture mais aussi de transformer des ensembles immobiliers en supports de biodiversité. La végétalisation des toitures et terrasses joue ce rôle en contribuant à restaurer la continuité des habitats écologiques.

Cet axe stratégique suppose la végétalisation généralisée des surfaces de toitures, à tous les niveaux et pour la plupart des destinations d'usage. Ainsi, des toitures non-accessibles sont sanctuarisées pour la biodiversité. D'autres, accessibles, sont consacrées à des usages récréatifs. Enfin certaines d'entre elles accueillent des centrales photovoltaïques. Dans le cas des toitures équipées de panneaux solaires, les toitures biosolaires, c'est-à-dire combinant végétalisation et panneaux photovoltaïques, sont privilégiées. Afin de garantir la richesse et la pérennité des fonctions écologiques de ces structures, des épaisseurs de substrat minimum sont définies et le choix des essences est adapté.

Au Village des Athlètes, les toitures proposent des jardins partagés avec 80 cm de substrat jusqu'au deuxième étage. À R+3 (une hauteur inférieure à 7,5 m) les toitures sont dédiées exclusivement à la biodiversité (60 cm de substrat) ou accueillent des jardins partagés (50 cm de substrat). Les toitures les plus hautes (au-dessus de R+7), pour des questions techniques de report de charge, ne sont pas en mesure d'accueillir des épaisseurs de substrats conséquentes. Elles sont dédiées à

l'installation de panneaux solaires et intègrent une végétation très basse qui participe à la gestion des eaux.

Par ailleurs, les essences végétales seront adaptées aux conditions difficiles des toitures : exposition au vent, milieu sec d'altitude. Les plantes choisies sont plus xérophiles¹ qu'au sol, et plutôt basses pour limiter la prise au vent.

Les dispositifs sont complétés par des structures d'accueil et de cheminement de la faune, intégrées dès la conception, offrant des refuges, comme des arbres morts (issus du site) en toiture sur le projet du secteur A du Village des Médias.

L'Arena Porte de la Chapelle présente une surface végétalisée équivalente à 60% de la parcelle. Le projet prévoit la plantation de nombreux arbres et arbustes en toiture et utilise trois strates végétales pour offrir des habitats diversifiés à la faune dans ses espaces verts. Le niveau de végétalisation très ambitieux des toitures, combiné à un dispositif acoustique de haute performance, est permis par l'ATEX, obtenu dans le cadre d'un projet d'innovation financé par le Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO.

Pour mieux prendre en compte la biodiversité dans les projets de construction, la SOLIDEO et les maîtres d'ouvrage s'appuient largement sur des dispositifs de labellisation, notamment la démarche BiodiverCity.

Pour la Marina de Marseille, une démarche Effinature a été mise en place, en lien avec le label Bâtiment Durable Méditerranéen (BDM) visant un niveau Argent ainsi que le respect des prérequis du niveau Or. Par ailleurs, le projet s'inscrit comme site pilote de la démarche Bâtiments Durables Méditerranéens (BDM) pour la création de la grille Plein Air du référentiel.



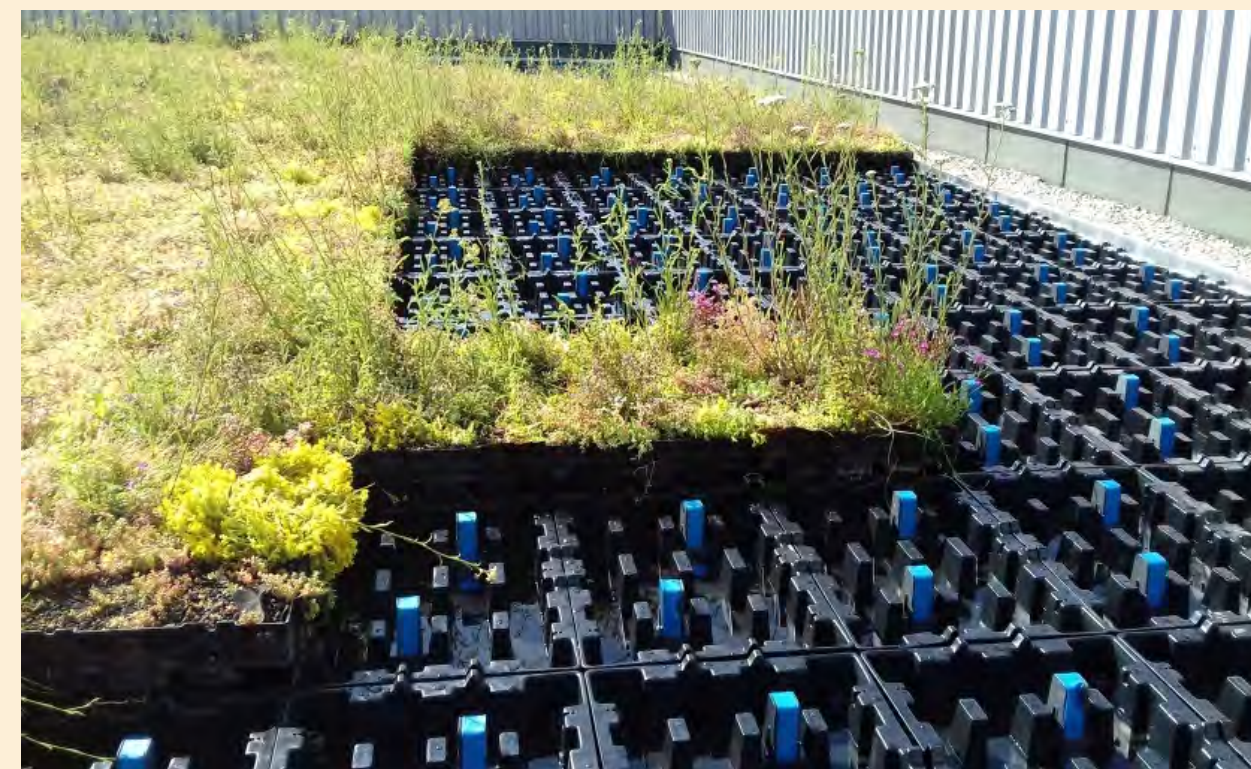
Le projet OASIS développé par le groupement Pichet-Legendre sur l'Écoquartier fluvial

Le groupement Pichet-Legendre porte sur l'Écoquartier fluvial un projet de toiture végétalisée, sur la presque totalité des bâtiments, avec stockage des eaux pluviales. Le projet OASIS intègre :

- des bacs de stockage de l'eau de pluie en polyéthylène recyclé disposés directement sur la membrane d'étanchéité ;
- des mèches de capillarité permettant à l'eau stockée de remonter pour irriguer la végétalisation ;
- un système de régulation goutte à goutte avec filtre pour évacuer les eaux pluviales en fonction du débit de fuite visé ;

- des plaques positionnées sur les bacs de rétention permettant de recevoir tout type de revêtement. Dans le projet, il est prévu, selon les bâtiments, de la végétalisation extensive, l'ancrage d'arbres, la mise en œuvre de jardinières, des gravillons, du platelage, ou encore la fixation de panneaux solaires.

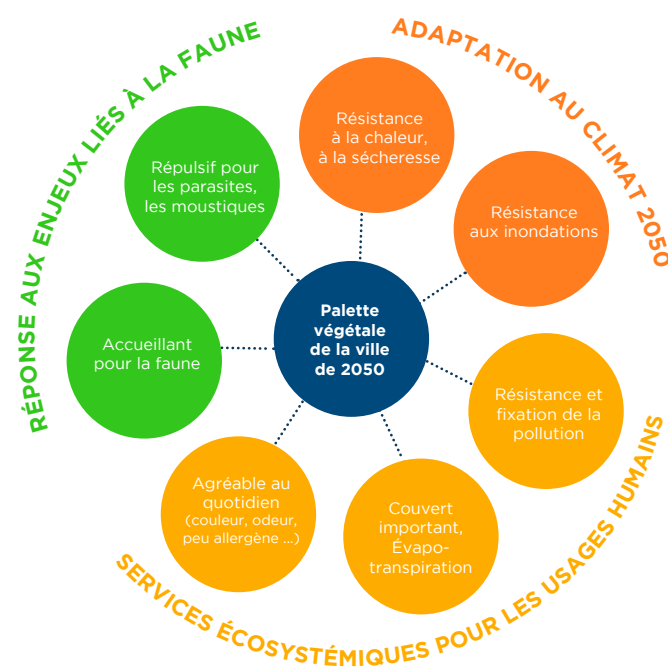
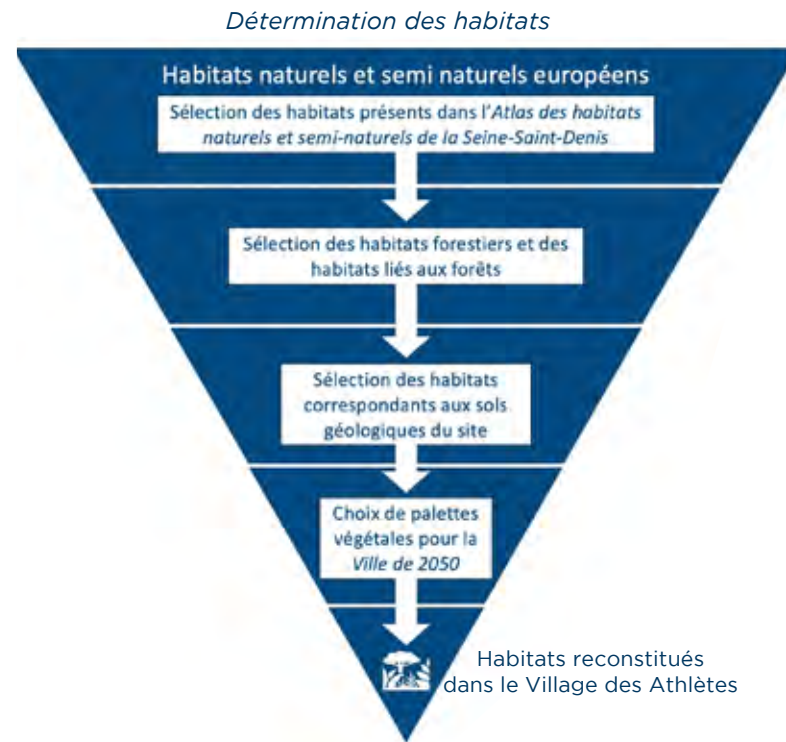
Ce système innove en permettant la végétalisation de toitures pour toutes les destinations possibles, du semi-intensif au jardin suspendu (végétation pour accueil de biodiversité, espaces partagés de jardinage, agriculture, production photovoltaïque, etc.) Avec son logiciel de gestion hydrique, il permet d'atteindre le « zéro rejet » d'eaux pluviales.



C. DES ÉCOSYSTÈMES RICHES ET ÉQUILIBRÉS

La SOLIDEO a généralisé sur les ouvrages olympiques, et notamment sur les espaces publics des ZAC et les grands ouvrages végétalisés, une méthode mesurant la pertinence des choix réalisés en matière d'habitats et de palette végétale. Sont menés en parallèle dans la définition de projets :

- la reconstitution d'habitats adaptés au contexte et aux espèces cibles ;
- le choix de palettes végétales adaptées aux contraintes de la ville à l'horizon 2050.



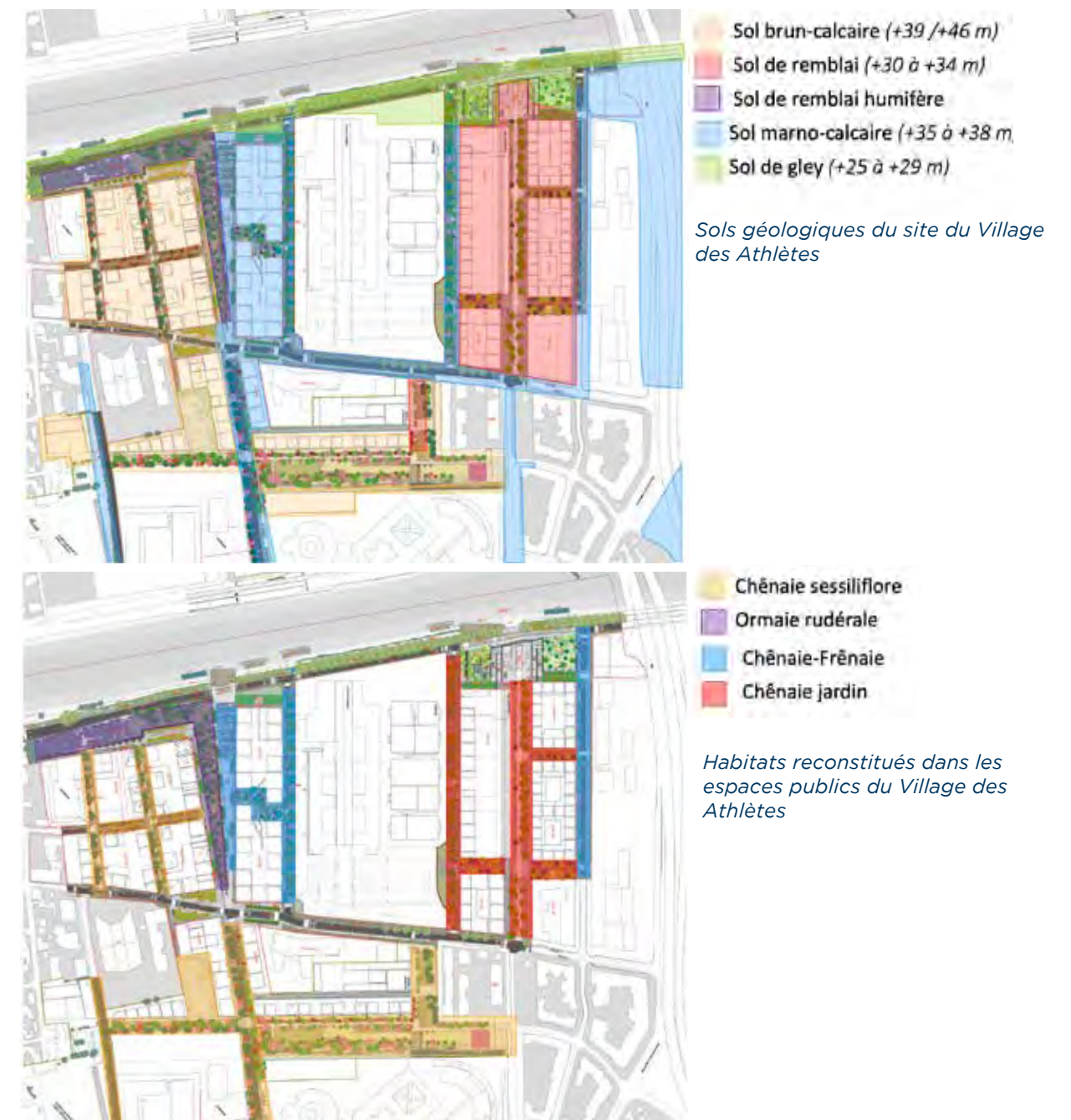
Contraintes de la Ville de 2050 pour le choix des palettes végétales des habitats

1. DES HABITATS COHÉRENTS

Les habitats cibles sont avant tout déterminés en fonction des inventaires des habitats présents à proximité. Pour chacun d'eux, on identifie les caractéristiques des sols et les palettes végétales indigènes. Puis, on étudie les fonctionnalités de ces habitats dans la ville et leur capacité d'adaptation au changement climatique. Cette démarche complète permet de reconstituer des habitats en cohérence avec le territoire et adaptés à la ville de 2050.

La méthodologie s'appuie sur le savoir des organismes experts : conservatoires et observatoires botaniques qui répertorient les

habitats. Leur connaissance permet de veiller à ce que les habitats projetés répondent à la fois à une exigence de cohérence et de respect de l'histoire géologique et biogéologique des lieux. L'Observatoire Départemental de la Biodiversité Urbaine (OBDU) et Conservatoire Botanique National du Bassin parisien (CBNBP) ont contribué à l'intégration d'habitats naturels au sein des espaces publics du Village des Athlètes et du Cluster des Médias. La conception s'est notamment inspirée de l'Atlas des habitats naturels et semi-naturels de la Seine-Saint-Denis de l'OBDU et du CBNBP.



2. DES HABITATS COMPLEXES ET DIVERSIFIÉS

Une palette végétale détaillée a été définie pour chaque type d'habitat et chaque projet. Les palettes reposent sur des associations végétales connues, fondées sur les caractéristiques pédoclimatiques spécifiques. Elles se veulent complexes afin de permettre l'établissement de cycles biologiques complets.

La reconstitution des habitats ne se limite cependant pas au choix de palette végétale. La répartition en nombre d'espèces ainsi que leur organisation verticale et horizontale dans l'espace sont des éléments décisifs. On parle ainsi de strates végétales avec un objectif *a minima* de deux ou trois strates parmi les cinq (muscinale, herbacée, buissonnante, arbustive, arborée) pour chaque espace végétalisé. Les strates peuvent s'emboîter entre elles avec la présence d'arbres, arbustes et couvre-sol sur un même lieu.

En créant une mosaïque alternant sous-bois ouverts et fermés, l'écosystème est considérablement complexifié : la richesse floristique et faunistique augmente alors. Les niches écologiques pour la faune sont démultipliées : ressources alimentaires végétales plus variées, gîtes potentiels plus nombreux, proies plus abondantes, etc. L'écosystème s'enrichit de la diversité et acquiert une meilleure résilience face aux perturbations.

L'origine géographique des végétaux est un facteur de réussite. En effet, la provenance d'un même type d'écosystème garantit une meilleure tenue des végétaux et un meilleur usage des habitats naturels. La démarche de plantation de la SOLIDEO s'appuie sur le label végétal local, c'est-à-dire des espèces provenant de l'aire du Bassin parisien Nord-Sud et Nord-Est.



Focus sur l'approvisionnement en végétaux

• Cluster des Médias

6 550 arbres à grand développement seront plantés, dont 1833 à Dugny et 4 715 au Bourget. 1 276 arbres ont été préservés à Dugny et 101 au Bourget. Le contrat de culture de Dugny comprend ainsi 46% d'espèces labellisées Végétal local, tandis que le contrat du parc des sports du Bourget intègre 73% d'espèces labellisées Végétal local.

• Groupe scolaire de Saint-Ouen-Sur-Seine

1 791 m² de surface végétalisée, 43 arbres plantés, permettant l'obtention du label BiodiverCity niveau AABC.



• Village des Athlètes

170 arbres à grand développement seront plantés par hectare d'espaces publics. Au total, environ 9 000 arbres et jeunes arbres sont prévus ; La palette végétale comprend 80% minimum d'espèces indigènes.

Il existe trois modes d'approvisionnements :

- un contrat de réservation pour les arbres tiges et les cépées du clos couvert ;
- un contrat de culture pour les arbres et arbustes des boisements, baliveaux, arbustes et noues plantées ;
- un mode de fourniture classique pour les plantes herbacées et arbustes.



3. DES HABITATS ADAPTÉS AUX ESPÈCES CIBLES

L'accueil de la faune urbaine est assuré par la qualité de la végétation, par les associations entre espèces et par une structuration des plantations selon des dynamiques temporelles et spatiales.

La végétation en strate permet d'accueillir une diversité d'espèces faunistiques. Les « prairies » où les strates basses sont très développées accueillent, notamment en toitures, les oiseaux des prairies avoisinantes. Les « bosquets », où la strate arborée est beaucoup plus développée et la strate basse

réduite à quelques espèces ombrophiles, proposent des habitats plus frais comme dans le Parc départemental Georges Valbon du Village des Médias.

La préservation du crapaud calamite, espèce patrimoniale, est un enjeu majeur du projet du Cluster des Médias. Six mesures de réduction d'impact ont donc été prises, afin de recréer des habitats reliés au Parc départemental Georges Valbon à l'extérieur du Terrain des Essences, pour que toute la population actuelle de crapauds calamites y trouve refuge.



Focus sur le projet de la colline d'Élancourt

Le projet de la colline d'Élancourt permet :

- la restauration de milieux ouverts bénéficiant de fauches différenciées et le maintien de lisières étagées. Les boisements, fourrés arborés et arbustifs (milieux fermés ou semi-ouverts) représentent 77% des espaces de la colline, alors que les milieux ouverts en représentent 23%, avec des prairies mésophiles principalement ;
- la préservation et l'amplification des 9 habitats naturels et semi-naturels ainsi que les 3 milieux artificiels identifiés sur le site ;
- la consolidation de zones refuges pour les espèces cibles telles que l'orobranche

pourprée dans les prairies mésophiles de la butte ou la sison anome dans les prairies mésophyles sous les pylônes EDF ;

- la lutte contre les espèces invasives grâce à la mise en place d'une palette d'arbustes, empêchant le développement de la renouée invasive (*salix viminalis*, *caprea*, *rhamnus crathartica*, etc.) ;
- la conservation de la totalité des surfaces de zones humides identifiées sur le site (2,69 ha) ;
- la mise en place d'une signalétique faune et flore avec 10 panneaux autour du parcours paysager pour sensibiliser le public aux enjeux de biodiversité.



4. LE RESPECT DE LA TRAME NOIRE

La lumière générée par les systèmes d'éclairage pendant la nuit a de graves conséquences sur la biodiversité. Par exemple, les oiseaux et les insectes nocturnes se repèrent et s'orientent en fonction des étoiles ou de la lune. Ils sont attirés par ces sources lumineuses artificielles et perdent leurs repères.

Au contraire, d'autres espèces comme les chauves-souris fuient la lumière, et ces installations constituent pour elles des barrières quasiment infranchissables qui fragmentent leur habitat. La présence de lumière artificielle perturbe également le cycle de vie des êtres vivants et a notamment un effet sur la saisonnalité des végétaux.

Les espaces publics de la ZAC Village Olympique et Paralympique, ont fait l'objet de prescriptions spécifiques quant à l'éclairage, en préservant une absence de lumière le long du corridor de la Seine et sur les deux secteurs écologiques boisés majeurs (Ormaie du coteau, Chênaie sessiliflore).

Il s'agit de mettre en place les prescriptions équivalentes à celles des « réserves naturelles », avec l'absence de mise en lumière des lieux. Entre 22h et 6h du matin, les berges devraient être non éclairées pour faciliter les déplacements des chiroptères et des oiseaux nocturnes. L'atteinte de cet objectif est encore en discussion avec les acteurs du projet. En effet cette mesure vient à l'encontre des prescriptions habituelles d'éclairage en milieu urbain liées à la sécurité.

5. PÉRENNISER LES HABITATS : LA GESTION DIFFÉRENCIÉE

Une gestion écologique à long terme des espaces végétalisés est indispensable à la pérennisation des écosystèmes qui s'y développeront. La gestion différenciée répond à cet objectif. Elle consiste à limiter les intrants par l'absence d'engrais ainsi que l'arrosage après la reprise des végétaux. Enfin, elle assure une gestion de la ressource naturelle en valorisant les déchets verts par le biais de paillage et de compostage.

Les plans de gestion différenciée doivent être le plus simples possible pour être facilement appropriables et applicables par les futurs gestionnaires afin que les habitats soient correctement entretenus. Un contrat d'entretien et un cahier des bonnes pratiques seront édités par la SOLIDEO à cet effet. Enfin, l'évolution des milieux sera surveillée par un écologue.



Dialogue compétitif biodiversité

Une consultation auprès d'entreprises innovantes a été lancée par la SOLIDEO en mai 2022.

Elle vise à identifier les solutions de maintien et d'amplification dans le temps des objectifs de biodiversité. Concrètement il s'agit d'implanter des dispositifs pour :

- suivre l'évolution dynamique de la biodiversité du Village des Athlètes et du Cluster des Médias (faune protégée, flore introduite) ;

- accompagner le développement de la biodiversité par une gestion innovante des espaces, du sol aux toitures ;

- associer les citoyens à la conservation et la vitalité des habitats reconstitués.



Perspective du futur Centre Aquatique de Marville

SYNTHÈSE

Le présent document constitue un point d'étape en date d'octobre 2022 sur la mise en œuvre de la stratégie d'Excellence Environnementale de la SOLIDEO. Les orientations de la stratégie environnementale adoptées lors du conseil d'administration de la SOLIDEO du 16 octobre 2018 ont guidé la conception des ouvrages olympiques et paralympiques :

Les ouvrages s'inscrivent dans une trajectoire de neutralité carbone à horizon 2050, sur tout le cycle de vie du quartier et du bâtiment

Les objectifs sont atteints, avec des émissions carbone inférieures de près de moitié à celles du scénario de référence correspondant aux normes actuelles, notamment sur le projet du Village des Athlètes.

Les ouvrages olympiques participent pleinement à la massification de la construction bas carbone. Les conditions opérationnelles et économiques liées à l'usage du bois et des matériaux biosourcés ont conduit à des choix constructifs adaptés à la programmation de chaque projet. L'ambition s'accompagne également de l'utilisation importante du béton dit « bas carbone », bien que les défis opérationnels d'utilisation fassent encore l'objet d'études. Sur le plan énergétique, la plupart des ouvrages ont recours aux énergies renouvelables, à la récupération de chaleur et au développement d'installations photovoltaïques.

Une démarche ambitieuse de réemploi et de recyclage en lien avec la déconstruction des bâtiments existants et la promotion de l'innovation a été mise en place.

Le confort urbain en 2050 est assuré, malgré un climat extrême et des épisodes caniculaires plus intenses et plus fréquents, grâce à une approche systématique de la résilience urbaine

Les objectifs de confort urbain sont atteints pour la grande majorité des ouvrages en climat 2050 moyen, grâce des enveloppes performantes, la généralisation des protections solaires et une ventilation adaptée.

L'enjeu du bien-être a également été pris en compte à l'échelle urbaine. La diminution des effets d'îlots de chaleur s'effectue par l'évapotranspiration permise par le développement de zones végétalisées, des revêtements adaptés et une gestion de l'eau optimisée.

La contribution positive à la biodiversité se traduit par la constitution d'écosystèmes urbains adaptés aux enjeux climatiques de 2050

En créant des écosystèmes de taille suffisante, résilients et cohérents avec les caractéristiques du paysage et l'histoire des territoires de chaque projet, les ouvrages olympiques innoveront et se distingueront des méthodes classiques d'aménagement. L'approche opérationnelle multifactorielle prend en considération le changement climatique, les dynamiques post-aménagement et le diagnostic des sols.

Les ouvrages intègrent des innovations significatives sur chacun des axes stratégiques de la stratégie environnementale

Les ouvrages olympiques mobilisent l'innovation à deux niveaux : la généralisation de procédés nouveaux, par un passage à l'échelle, et la mise en œuvre ponctuelle d'innovations de rupture. La démarche s'appuie sur la mobilisation du Fonds Innovation et Écologie de la SOLIDEO qui permet le déploiement sur les ouvrages de nombreuses innovations en matière environnementale. Ces innovations viennent renforcer les ambitions et contribuent à faire des ouvrages olympiques une vitrine de la Ville durable.

CRÉDITS

Couverture : BOUYGUES ©SILVERE KOULOURIS

Page 5 : © SOLIDEO – TVK – LUXIGON – Hardel Le Bihan

Page 6-7 : © Architectes : VenhoevenCS + Ateliers 2/3/4/ Image : Proloog

Page 9 : © Société de livraison des ouvrages olympiques – SOLIDEO / ILLUMINENS© / Dominique Perrault / Ingérop / Une Fabrique de la Ville / VITEC / Agence TER / UrbanEco / Jean-Paul Lamoureux / Luxigon / Paris 2024

Page 10 : ©DPA

Page 11 : © Architectes : VenhoevenCS + Ateliers 2/3/4/ Image : Proloog

Page 12 : © Gaël Morin / MyLuckyPixel

Page 13 : © SOLIDEO Cyril Badet

Page 14 : © SOLIDEO

Page 15 : De haut en bas : © Guillaume Brunet / Hi, L. Agency © SOLIDEO Cyril Badet

© Bouygues Bâtiment Ile-de-France / Potion Médiatique / Sylvère Koulouris

Page 17 : ©SOLIDEO / Icade / CDC / CDC Habitat / UAPS / Brenac&Gonzalez&Associés / Atelier Pascal Gontier / NP2F / Post-Office Architectes / Ailleurs-Studio

Page 18 : © Architectes : VenhoevenCS + Ateliers 2/3/4/ Image : Proloog

Page 19 : © Ville du Bourget / Tectoniques / Ajeance / A003

Page 20 : © Fleur Mounier

Page 23 : © Laurent DESMOULINS pour VINCI Immobilier et VINCI Construction

Page 24 : © Elliot SITBON

Page 25 : Chantier : © SOLIDEO Cyril Badet - Projet : © DR / Châtillon Architectes

Page 26 : © SOLIDEO

Page 29 : © SAS Minimum

Page 30 : Photo 1 : © Backacia - Photos 2 et 3 : ©Neo Eco

Page 31 : © SOLIDEO Benjamin de Diesbach

Page 35 : © VNF / Didier Gauducheau

Page 37 : ©Ville de Colombes / arcos Architecture

Page 39 : © SCAU / NP2F

Page 40 : © Architectes : VenhoevenCS + Ateliers 2/3/4/ Image : Proloog

Page 43 : © ICADE, CDC, CDC HABITAT

Page 47 : © SOLIDEO / Nexity / Eiffage Immobilier / CDC Habitat /EDF_Groupama - Tous droits réservés

Page 49 : ©Météo France et ©Hysplex

Page 51 : © SOLIDEO – Plasticine / Dominique Perrault / Ingérop / Une Fabrique de la Ville / VITEC / Agence TER / UrbanEco / Jean-Paul Lamoureux / PHILIPPON – KALT / INDDIGO / AEU / INUITS / Artélia / Lavigne et Chéron

Page 52 : © SOLIDEO / Nexity / Eiffage Immobilier / CDC Habitat /EDF_Groupama - Tous droits réservés

Page 53 : © Dominique Perrault Architecte / Adagp / FFT

Page 54 : © Agence Engasser & Associés / Rosario Badessa

Page 55 : © SOLIDEO / Nexity / Eiffage Immobilier / CDC Habitat /EDF_Groupama - Tous droits réservés

Page 57 : © SOLIDEO

Page 58 : © Société de livraison des ouvrages olympiques – SOLIDEO / ILLUMINENS© / Dominique Perrault / Ingérop / Une Fabrique de la Ville / VITEC / Agence TER / UrbanEco / Jean-Paul Lamoureux

Page 60 : © SOLIDEO / COLAS / EXPLORATIONS ARCHITECTURE / AIA INGENIERIE / D'ICI-LÀ PAYSAGES / SIMONIN / SEMOFI

Page 61 : ©Ville d'Aulnay-sous-bois

Page 62 : © SMC2 / ABBA / JLR / POLYTAN / SLTE

Page 64 : © SOLIDEO / Icade / CDC / CDC Habitat / UAPS / Brenac&Gonzalez&Associés / Atelier Pascal Gontier / NP2F / Post-Office Architectes / Ailleurs-Studio

Page 68 : © Agence TER / Conseil Départemental de la Seine-Saint-Denis

Page 71 : © Le Prieuré

Page 74 : Photo 1 © Archi 5 - Photo 2 © SOLIDEO

Page 75 : © SOLIDEO – Dronepress

Page 77 : © Oxygen