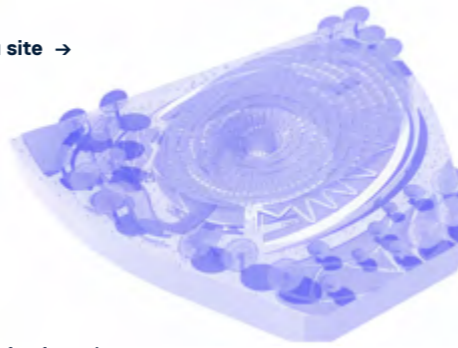


TERRA — LE PAVILLON DU DÉVELOPPEMENT DURABLE



GRIMSHAW

Vue d'ensemble du site →



La nature pour inspiration ↓
Le concept pour la toiture du bâtiment principal s'inspire du ghaaf, un arbre résistant à la sécheresse qui reste vert même dans les environnements désertiques et qui est essentiel à la survie d'autres espèces animales et végétales. Le dragonnier de Socotra, endémique d'un archipel de la Mer d'Arabie, a quant à lui servi d'inspiration pour la structure de la toiture, des Arbres d'énergie et des Arbres d'eau. Sa ramification dichotomique et son port en parasol créent un ombrage dense qui prévient l'évaporation : une adaptation cruciale pour survivre au climat aride de la région.



Arbres d'énergie (E-Trees) et Arbres d'eau (W-Trees) ↓
L'intensité du rayonnement solaire et de l'ensoleillement constituait à la fois un défi et une opportunité pour ce projet. Les Arbres d'énergie ont été conçus aussi bien pour produire de l'électricité que pour apporter de l'ombre. Ils sont équipés de cellules photovoltaïques, y compris en sous-face, afin de capter les rayons réfléchis pour maximiser le potentiel de production. Les Arbres d'eau exploitent quant à eux une méthode de collecte passive de la rosée (rendement moyen quotidien de 30 litres), qui tire parti des brusques changements de température au coucher du soleil : lorsque la surface interne des cônes baisse en température, celle-ci se charge de gouttelettes d'eau collectées dans une cuve, qui sert à irriguer le paysage performant du site pour accroître ses bénéfices écologiques, notamment pour assurer le confort thermique des visiteurs.



Caractéristiques de durabilité

NATURE DU SITE
Terrain vierge de nature désertique

TYPO-MORPHOLOGIE / ZONE CLIMATIQUE
Zone campus / 1B (ASHRAE)

ÉCORÉGION
Paléarctique / Désert d'Arabie et brousses xériques saharo-arabiques orientales

ÉNERGIE/CARBONE OPÉRATIONNELS

- > Ambition net zéro énergie en mode héritage
- > Consommation prévisionnelle : 226 kWh/m²/an (consommation réglementée). Afin de tenir notre ambition net zéro énergie, les consommations devaient être réduites à terme à 180 kWh/m²/an.
- > Réduction de la consommation prévisionnelle par rapport à un bâtiment neuf équivalent : 42 %
- > Type d'énergie, intensité carbone pour consommation annuelle : total production photovoltaïque sur site de 4,014 GWh, 100% renouvelable en mode héritage.

CARBONE INCORPORÉ

Réduction des PRG par rapport à un bâtiment neuf équivalent : 41 %

EAU

- > Ambition net zéro eau en modes expo et héritage.
- > Le Pavillon est conçu comme une petite usine de traitement des eaux. Il réemploie l'eau issue de diverses sources : nappes saumâtres peu profondes, condensation due à la climatisation, eaux grises et eaux noires recyclées. Les eaux noires collectées sur site et via le réseau du quartier sont recyclées pour servir à l'irrigation.



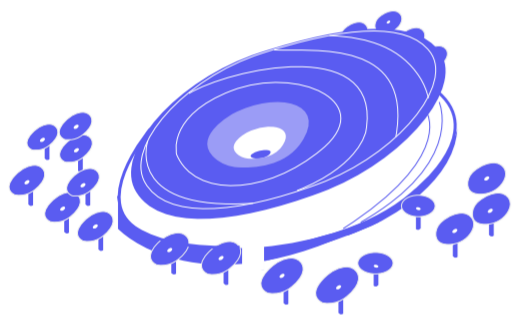
Alignement sur les Objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU

ODD 6 EAU PROPRE ET ASSAINISSEMENT / ODD 9 INDUSTRIE, INNOVATION & INFRASTRUCTURE
Avec sa conception net zéro eau et son usine de traitement des eaux usées, le projet introduit de nouvelles infrastructures innovantes dans la région et met en œuvre des technologies novatrices pour un paysage plus respectueux et une meilleure intégration de l'architecture grâce à une approche écologique des systèmes.

ODD 7 ÉNERGIE PROPRE À COÛT ABORDABLE
L'ambition net zéro énergie, la toiture et les Arbres d'énergie ont permis la production d'une énergie à coût raisonnable sur site, associée à une conception thermique passive pour des stratégies architecturales co-optimisées.

ODD 12 CONSOMMATION ET PRODUCTION DURABLES / ODD 13 LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La priorité accordée à l'économie des matériaux et à la réduction des émissions carbonées, que ce soit par l'emploi de structures légères ou le choix de technologies innovantes d'économie du béton, permet de répondre aux objectifs pour une production et une consommation responsables.



ÉTUDE DE CAS EN ARCHITECTURE DURABLE ET RÉGÉNÉRATIVE

L'enjeu central pour la conception de Terra était d'atteindre un bilan énergie et eau neutre. Le Pavillon devait en effet permettre aux Émirats Arabes Unis de promouvoir auprès de leurs voisins les dernières innovations en matière de production d'énergie et de gestion de l'eau, mais également de partager avec un public international un message d'espoir pour la nature et le progrès technologique. Porté par le promoteur Emaar Properties, le projet a donc été conçu comme une structure permanente destinée à accueillir à terme un musée dédié au développement durable.

Plutôt que d'être envisagée comme une contrainte parmi d'autres, l'idée de durabilité s'est ici imposée comme le critère central pour tous les choix techniques et architecturaux du projet. Le Pavillon explore ainsi le potentiel d'une architecture et d'une société autosuffisantes et régénératives, avec l'ambition de sensibiliser des milliers de visiteurs aux impacts, positifs comme négatifs, de leurs habitudes au quotidien.

Lieu	Dubaï, Émirats Arabes Unis
Livraison	2020
Maîtrise d'ouvrage	EXPO 2020 DUBAI UAE
Promoteur	Emaar Properties
Gestion de rojet	TJME (Turner Middle East)
Certifications	LEED Platinum (attendue), LEED Zero – Energy and Water (attendue)

Partner / Chef de projet	Andrew Whalley/ Mark Rhoads
Équipe projet	Grimshaw, Rice Perry Ellis, ASGC, Buro Happold, Thinc Design, The Eden Project, Sherwood, Desert Inc., Cerami, Omnium, Emaar Properties, TJME – Turner Construction Middle East



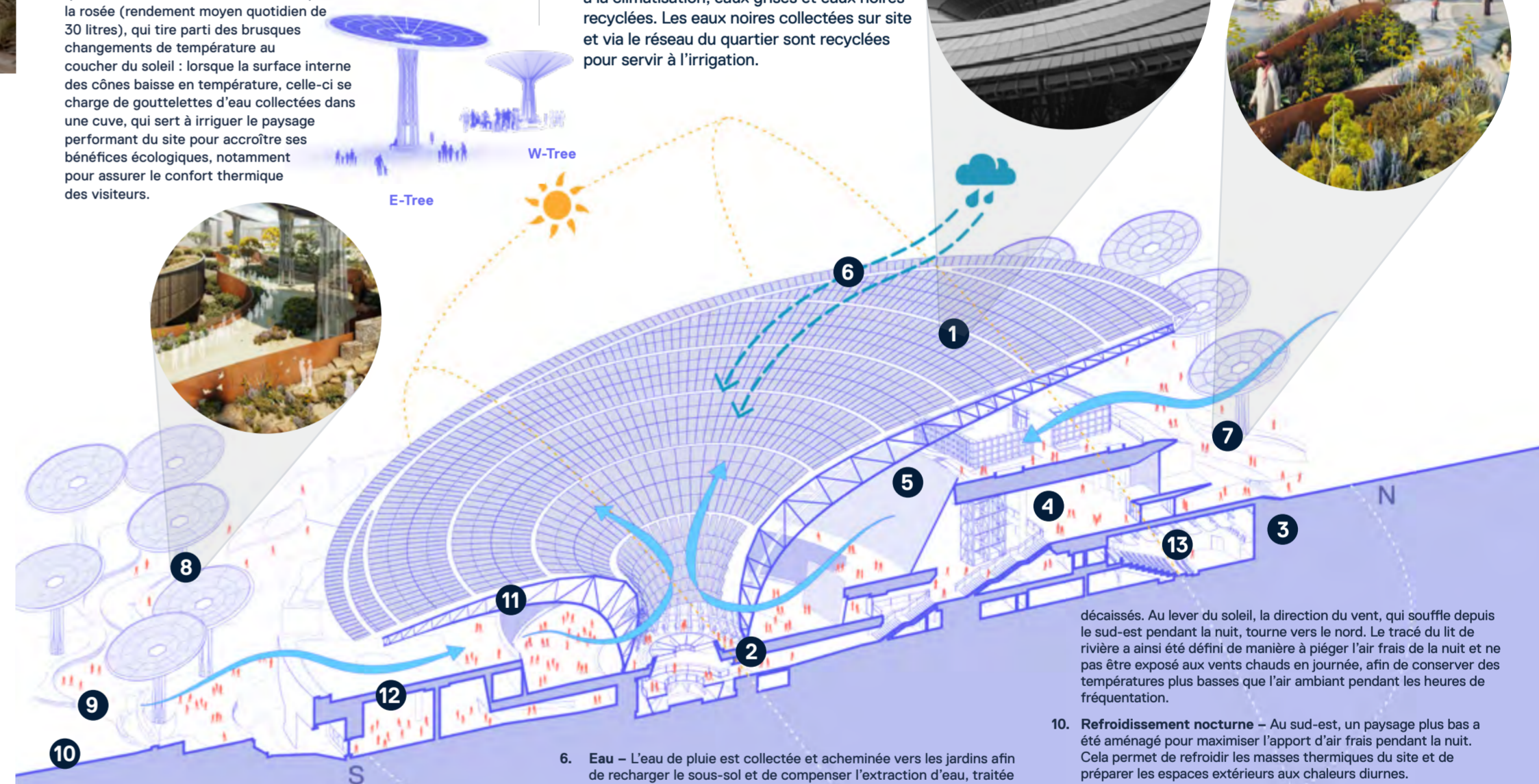
Le choix d'une démarche régénérative permet de déplacer les enjeux de l'architecture durable : il ne s'agit plus simplement de ralentir l'entropie ou de réduire les impacts négatifs, mais de donner aux sociétés les moyens d'avancer vers davantage de richesse, à la fois sociale, économique et écologique. La clé de notre approche a donc consisté à élaborer une matrice de classement des opportunités du projet et du site, ce qui a permis à l'équipe de prioriser les solutions offrant le plus haut potentiel de valeur ajoutée pour le maître d'ouvrage et le territoire dans lequel le site s'inscrit. Pour ce projet, les réflexions se sont ainsi orientées vers une combinaison de stratégies de conception passive, d'optimisation énergétique et de génération d'énergie sur site.

Afin de proposer un projet durable et régénératif, Grimshaw a donc commencé par poser un cadre de performances rigoureusement défini et structuré autour de 11 axes. Pour chacun de ces axes, des objectifs et des cibles ont été fixés pour construire des stratégies et des systèmes, afin d'aboutir, grâce à une analyse et des simulations précises de co-optimisation, à un ensemble de solutions pleinement intégrées. Certains choix stratégiques sont d'ailleurs intéressants par leur souci de privilégier des solutions sobres, passives et bas carbone en réponse à une volonté ambitieuse de proposer un projet avec un bilan énergie et eau neutre.

Pour le volet énergie, la principale difficulté était d'assurer la neutralité énergétique du bâtiment à l'issue de l'Exposition (en mode héritage). La problématique tenait en effet à la nature énérgivore de la programmation ; le projet devait donc générer suffisamment d'électricité photovoltaïque sur site pour répondre à ces besoins. En ce qui concerne le bilan eau, il s'agissait de garantir la neutralité aussi bien en mode Expo qu'en mode héritage, au vu des volumes d'eau nécessaires pour entretenir les

jardins sur un site relativement sec, et donc de prévoir des équipements de recyclage de l'eau pour couvrir ces besoins.

En termes de partis pris pour tenir nos objectifs de sobriété énergétique, nous avons notamment privilégié le refroidissement passif, avec une toiture canopée de 130 m de diamètre et une construction enterrée, associé à un choix de matériaux à haut coefficient U pour les murs et la toiture, afin de réduire les consommations de climatisation. Pour ce qui est des objectifs eau, le bâtiment ne consomme pas une goutte du réseau municipal d'eau potable : le Pavillon génère 100 % de ses besoins en eau grâce aux dispositifs sur site. Le programme intègre en effet un éventail de stratégies et de technologies innovantes, notamment pour le recyclage ou le réemploi des eaux usées, qui ont exigé des dérogations et des autorisations de la part des autorités locales. Le Moyen-Orient enregistre d'ailleurs des consommations d'eau exceptionnellement fortes alors même que la ressource y est rare. C'est donc là un message important que le projet souhaitait faire passer aux visiteurs dans l'objectif de changer les habitudes dans ces territoires.



Coupe axonométrique du bâtiment ↑

- Toiture** – Équipée de 1 055 panneaux solaires (8 000 m²), la toiture de 135 m de diamètre est multifonctionnelle. En plus d'exploiter le rayonnement solaire et de protéger le bâtiment du soleil et des précipitations, elle récolte aussi l'eau de pluie, crée un microclimat par un effet de cheminée et assure une ambiance lumineuse agréable dans la cour.
- Consommation énergétique** – Le bâtiment couvre 100 % de ses besoins en électricité (pour un total annuel de 4 GWh), en partie grâce à des stratégies d'économie d'énergie adoptées dès la conception du projet. Une bonne étanchéité à l'air et une ventilation locale à la demande garantissent un air d'une excellente qualité et la sobriété des consommations. Un système de capteurs dans les espaces d'exposition permet en outre de moduler les usages en fonction de l'occupation des lieux pour réduire les consommations et guider les visiteurs dans leur parcours.
- Bâti enterré** – Le Pavillon est construit partiellement en sous-sol, offrant ainsi une protection thermique qui assure un air ambiant généralement plus frais qu'à l'extérieur. Les pertes énergétiques sont limitées grâce à une configuration enterrée, avec des espaces protégés par des murs isolants épais et peu de vitrages. Les débris du chantier ont été utilisés pour les aménagements paysagers autour du bâtiment.
- Lumière naturelle** – La lumière naturelle est exploitée là où cela est judicieux, grâce à une série de conduits de lumière et de systèmes à fibre optique intégrés dans le bâti pour amener la lumière naturelle dans les profondeurs du bâtiment.
- Ombrage** – L'ombre apportée par la toiture réduit les consommations d'énergie dans les espaces d'exposition intérieurs en limitant l'exposition au rayonnement solaire.
- Eau** – L'eau de pluie est collectée et acheminée vers les jardins afin de recharger le sous-sol et de compenser l'extraction d'eau, traitée pour l'alimentation en eau potable, en accord avec nos ambitions net zéro eau. Tout au long des espaces d'exposition, les visiteurs sont sensibilisés à la bonne santé des écosystèmes océaniques et littoraux, à l'accès à une eau douce et une eau potable de qualité, aux phénomènes de sécheresses et de fonte des glaces, à l'impact de l'agriculture et de l'industrie, ainsi qu'à l'accélération de la désertification. Face à ces enjeux, le Pavillon présente des technologies et des approches visant à permettre une consommation d'eau raisonnée, comme portée par les ambitions net zéro eau du bâtiment. Le Pavillon génère 100 % de ses besoins en eau grâce aux équipements sur site. Il traite 100 % de ses eaux usées, capte et réinjecte 100 % des précipitations, exploite un système de collecte et de traitement des eaux usées du quartier qui permet de les réutiliser sur site, et dispose même d'Arbres à eau pour capter l'eau atmosphérique.
- Écologie** – Dans un paysage de végétation endémique et adaptée au climat, de nouvelles espèces ont été introduites comme sources de ressources alimentaires et de biocarburants. Ces espèces agricoles sont issues de sélections pour les climats arides, afin d'assurer la sécurité alimentaire de la région. Des plantations ornementales contribuent également à la stabilité des sols fins, pour permettre au paysage de résister aux épisodes pluvieux de forte intensité. Outre les plantations alimentaires et ornementales, des zones humides ont été aménagées, avec des roselières qui participent au traitement des eaux usées générées par les usages humains et les installations techniques du Pavillon.
- Arbres d'énergie (E-Trees)** – Pas moins de 18 arbres, coiffés d'un disque pivotant autour d'un axe central, servent de support supplémentaire à plus de 4 000 m² de panneaux photovoltaïques, générant près de 2,6 GWh par an.
- Confort** – De par sa forte inertie thermique, le sous-sol est généralement plus frais que l'air ambiant aux heures d'occupation du bâtiment. L'aménagement de circulations semi-enterrées assure ainsi un meilleur confort thermique aux visiteurs parcourant ces itinéraires

décalsés. Au lever du soleil, la direction du vent, qui souffle depuis le sud-est pendant la nuit, tourne vers le nord. Le tracé du lit de rivière a ainsi été défini de manière à piéger l'air frais de la nuit et ne pas être exposé aux vents chauds en journée, afin de conserver des températures plus basses que l'air ambiant pendant les heures de fréquentation.

- Refroidissement nocturne** – Au sud-est, un paysage plus bas a été aménagé pour maximiser l'apport d'air frais pendant la nuit. Cela permet de refroidir les masses thermiques du site et de préparer les espaces extérieurs aux chaleurs diurnes.
- Matériaux toiture** – La toiture a été construite en acier à 97 % recyclé. Pour réduire encore davantage l'empreinte carbone du Pavillon due au transport des matériaux, le site choisi pour la production des éléments en acier se trouve à 15 minutes du site. Cette structure primaire se complète de goulottes en acier, posées un cercle sur deux et flanquées de panneaux photovoltaïques de part et d'autre, afin d'assurer la collecte des eaux de pluie. En raison de la complexité de la structure, les équipes ont dû aller au-delà de l'approche collaborative habituelle et avoir recours à des modélisations informatiques complexes, en utilisant notamment des algorithmes géométriques afin de concilier et d'optimiser l'architecture et les solutions structurelles.
- Ciment et réduction du carbone incorporé** – Parmi les stratégies déployées pour réduire la consommation de ciment, l'équipe a choisi de réaliser environ 10 900 m² de dalles Bubble Deck pour les planchers des étages supérieurs, une technique qui permet d'optimiser près de 25 % de ciment, et d'utiliser moins d'acier, qu'une dalle en béton massif. Cette solution allégée biaxiale consiste à incorporer des poches d'air dans une dalle en béton armé afin de réduire le volume de ciment nécessaire. Ce choix a permis une réduction des coûts et des impacts sur l'environnement.
- Éducation** – L'aménagement des différents espaces d'exposition a été conçu pour faciliter l'apprentissage pour les groupes scolaires ou autres usages organisés, particulièrement en mode héritage. Le bâtiment dispose notamment d'espaces prévus pour se rassembler et discuter autour d'un animateur ou d'un enseignant. Dès l'auditorium, c'est ainsi toute l'expérience visiteur qui a été pensée pour accompagner et sensibiliser les visiteurs aux différentes problématiques en lien avec les matériaux, les équipements et les besoins en ressources du bâtiment. Les consommations sont d'ailleurs affichées un peu partout dans le musée, afin de rappeler aux visiteurs les besoins générés par les usages et les stratégies pour y répondre.