

Université de Liège - Faculté des Sciences appliquées

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en Ingénieur Civil Architecte par **Sébastien GHIEZEN**.

Promotrice: S.REITER

Année académique 2013 - 2014



## **Outils de certification durable des bâtiments: le cas des stades à partir de l'étude sur la Ghelamco Arena**



# Outils de certification durable des bâtiments : le cas des stades à partir de l'étude sur la Ghelamco Arena

Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées

**Promotrice** ..... S. Reiter  
**Membres du jury** ..... J.-M. Hauglustaine  
A.-F. Marique  
J. Teller  
**Année académique** ..... 2013 – 2014

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en Ingénieur Civil Architecte par **Sébastien Ghiezen** .....

Illustration de la la couverture © AGC Glass Europe – Jean-Michel Byl, 2013.

Au terme de ce travail, j'aimerais **remercier** les personnes sans qui il n'aurait été possible mener ce travail à terme .....

**Les membres du jury:**

Madame Sigrid Reiter, promotrice pour ses nombreux conseils, son soutien et sa disponibilité.

Messieurs J.-M. Hauglustaine, A.-F. Marique et J. Teller pour leur intérêt et m'avoir orienté dans mon travail.

**Les acteurs** concernés par la réalisation du stade m'ayant permis d'avoir accès aux données en leur possession et accordé de leur temps:

Mesdames Ruth Pollet et Joke Claeys de Bontinck Architecture and Engineering CVBA, Madame Ilse Blondeel de VK Engineering, Monsieur Bjorn Van Goethem de Philips Belgium N.V./S.A., Monsieur Damien Denayer de de Ceuster Sport, Monsieur Dirk Piens du KAA Gent, Messieurs Wilfried Gees et Yannis Pannier de Veamo, Monsieur Pieter Uyttenhove de Energy Projects, Monsieur Maarten Mattijs de Ergon nv, Monsieur Ronny van Reeth du Studiebureau van Reeth, Madame Katia Hansen de AGC Glass, Monsieur Andy Schouppe de Geberit, Monsieur Luc Moonen de ASK Romein et Monsieur van't Klooster de SGL.

**Les certificateurs** agréés m'ayant permis l'accès aux référentiels des outils d'évaluation durable des bâtiments:

Monsieur David Plunus du bureau Ecorce pour BREEAM, Monsieur Shady Attia de l'Université de Liège pour LEED et Monsieur Nils Larsson de iiSBE.

**Les extérieurs** pour leur expertise et leur pédagogie :

Monsieur Antonio Ferreira de Albertoelec, Madame Alexia da Silva des Ardentes festival, Monsieur Vincent Bellin de Enersol et Monsieur Gianandrea Ciaramella du Politecnico di Milano.

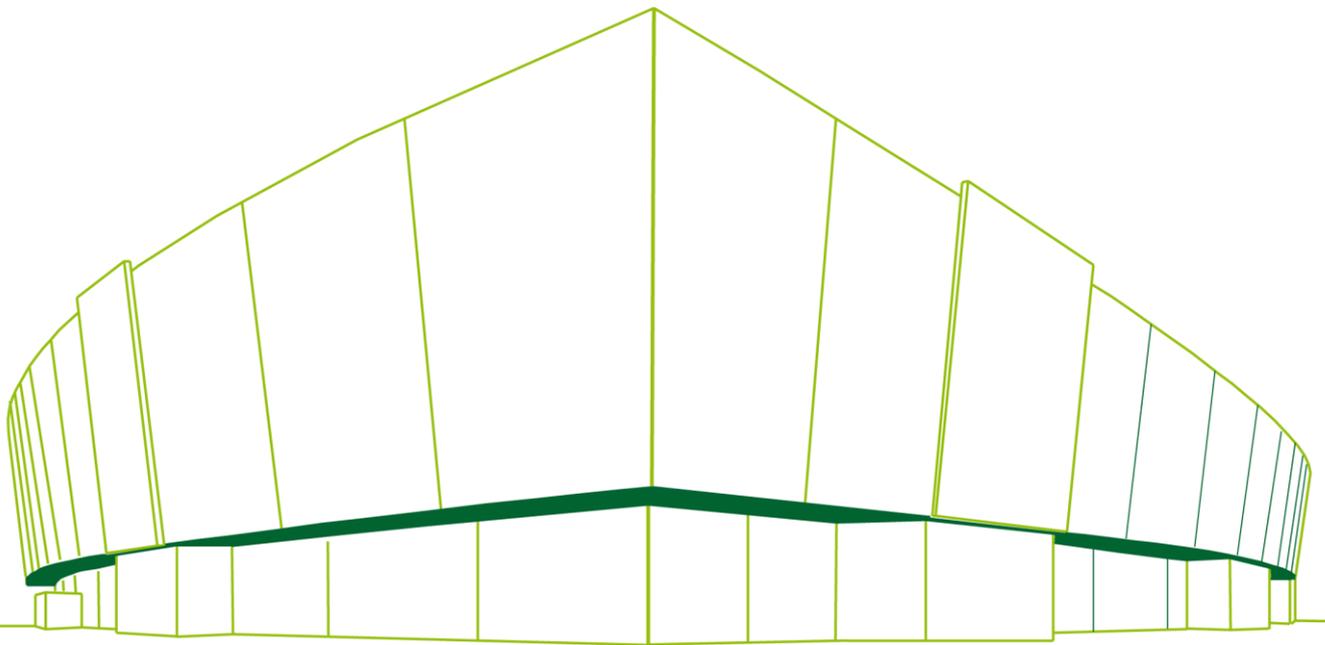
**Ma famille et mes proches** pour leurs encouragements et leur intérêt .....

<b>Chapitre 1: Introduction</b> .....	7
1. Introduction.....	8
2. Objectifs et méthodologie.....	11
3. Choix du site et hypothèses générales.....	11
<b>Chapitre 2: Outils de la certification durable des bâtiments</b> .....	13
1. Etat de l'art.....	14
<b>1.1 Historique du développement des outils</b> .....	14
<b>1.2 Comparaison et intérêt par rapport à d'autres outils</b> .....	15
1.2.1 PEB.....	15
1.2.2 Label Passivhaus.....	17
1.2.3 Normes ISO/CEN.....	18
1.2.4 Evaluations LCA.....	19
1.2.5 Simulations numériques de phénomènes physiques.....	20
<b>2 Comparaison large d'outils de certification disponibles</b> .....	22
<b>2.1 Outils de certification à l'échelle du bâtiment</b> .....	22
2.1.1 LEED.....	22
2.1.2 HQE.....	23
2.1.3 BREEAM.....	25
2.1.4 CASBEE.....	26
2.1.5 SB-TOOL.....	27
2.1.6 Tableaux récapitulatifs des outils de certification durable des bâtiments.....	28
<b>2.2 Outils d'évaluation à l'échelle du quartier</b> .....	30
2.2.1 BREEAM Communities.....	31
2.2.2 LEED-ND.....	31
2.2.3 CASBEE-UD.....	31
2.2.4 HQE2R.....	31
2.2.5 Référentiel Quartiers Durables.....	31
2.2.6 Récapitulatif.....	32
<b>Chapitre 3 : Application sur la Ghelamco Arena</b> .....	33
<b>1. Le développement durable dans les stades</b> .....	34
<b>1.1 Démarche Healthy Stadia</b> .....	34
<b>1.2 Démarche durable des Jeux Olympiques</b> .....	35
<b>1.3 Adaptation de BREEAM pour Londres 2012</b> .....	36
<b>1.4 Green Goals de la FIFA et de l'UEFA</b> .....	36

<b>2. Présentation de la Ghelamco Arena</b> .....	37
<b>2.1 Histoire et localisation</b> .....	37
<b>2.2 Accessibilité</b> .....	38
<b>2.3 Multifonctionnalité</b> .....	40
<b>2.4 Matériaux</b> .....	44
<b>2.5 Gestion de l'énergie</b> .....	46
<b>2.6 Gestion de l'eau</b> .....	52
<b>3 Evaluations quantitatives</b> .....	53
<b>3.1 LEED</b> .....	55
3.1.1 Présentation de la méthode.....	55
3.1.2 Détail des résultats .....	55
3.1.3 Récapitulatif et limitations .....	63
<b>3.2 HQE</b> .....	64
3.2.1 Présentation de la méthode.....	65
3.2.2 Détail des résultats .....	66
3.2.3 Récapitulatif des résultats et limitations.....	79
<b>3.3 BREEAM</b> .....	82
3.3.1 Présentation de la méthode.....	82
3.3.2 Limitations et particularités.....	84
<b>3.4 SB-TOOL</b> .....	87
3.4.1 Présentation de la méthode.....	87
3.4.2 Limitations et particularités.....	89
<b>3.5 Tableaux récapitulatifs et conclusions</b> .....	93
<b>Chapitre 4: Bases pour l'élaboration future d'un référentiel spécifique</b> .....	97
<b>1. Exigences fonctionnelles et catégories de stades</b> .....	98
<b>2. Multifonctionnalité et dimensionnement</b> .....	101
<b>3. Mobilité et localisation</b> .....	104
<b>4. Pelouse</b> .....	106
<b>4.1 Protection contre les intempéries et maintien à température des systèmes</b> .....	106
4.1.1 Bâche .....	106
4.1.2 Systèmes de chauffage intégrés au sol.....	107
<b>4.2 Eclairage photosynthétique du gazon</b> .....	109
<b>5. Eclairage</b> .....	111
<b>5.1 Définition de la catégorie de compétition</b> .....	111
<b>5.2 Définition des principaux paramètres de l'éclairage des stades de football</b> .....	111

5.3 Exigences .....	115
5.4 Impact sur le voisinage .....	117
5.5 Orientation terrain .....	118
5.6 Type de lampe .....	118
5.7 Perspectives pour les outils de certification durable .....	118
6. Approche communautaire .....	119
6.1 Intégration harmonieuse dans le voisinage .....	119
6.2 Bénéfices pour la communauté .....	120
7. Autres perspectives .....	122
7.1 Gestion des déchets .....	122
7.2 Confort acoustique .....	123
7.3 Gestion d'installations temporaires .....	123
<b>Chapitre 5: Conclusions et perspectives .....</b>	<b>124</b>
Table des illustrations .....	1358
Table des tableaux .....	1350
Bibliographie .....	1353

# Chapitre 1: Introduction



## 1. Introduction

Dès 1972, la conférence des Nations Unies réunissant 119 pays autour du thème de l'environnement humain met en évidence la responsabilité de l'homme sur l'état de celui-ci: "L'homme a une responsabilité particulière dans la sauvegarde et la gestion raisonnable de l'héritage de la vie sauvage et son habitat, qui est gravement mis en péril par une combinaison de différents facteurs. La conservation de la nature, en ce compris la vie sauvage, doit, dès lors, recevoir de l'importance lors de l'élaboration du développement économique". (CIO, 2012)

Un pas supplémentaire est réalisé avec la publication, en 1987, du Rapport Brundtland dénonçant notamment l'insoutenabilité à terme du développement de l'époque. Il y est défini pour la première fois le concept de développement durable comme "le développement satisfaisant les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures de la possibilité de satisfaire leurs propres besoins" et précisant l'articulation de celui-ci autour de 5 éléments interdépendants: environnement, économie, culture, social et politique. (WCED, 1987) Moins de 5 ans plus tard, la Déclaration de Rio valide cette définition du développement durable et lance l'Agenda 21 : un plan d'actions à l'échelle mondiale. (ONU, Organisation des Nations Unies, 2014)

Dans sa stratégie de croissance Europe 2020, un objectif de l'Union Européenne (UE) aborde l'énergie et les changements climatiques. Cet objectif est appelé objectifs 20-20-20 car il s'agit pour l'Union de réduire de 20 (à 30%) les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990, fournir 20% des consommations d'énergétiques au moyen de sources renouvelables et augmenter de 20% l'efficacité énergétique. Afin d'aider les Etats membres à intégrer ces objectifs dans leurs réformes, des objectifs nationaux ont été formulés. Ne souhaitant pas en rester là, l'UE vise la réduction des émissions de gaz à effet de serre, par rapport à 1990, de 40% en 2030, 60% en 2040 et 80% en 2050. En 2050, par la réduction de sa consommation d'énergie de 30% par rapport à 2005, l'Union espère être moins dépendante de l'importation de sources d'énergie fossile, coûteuses et fluctuantes. (Commission Européenne, 2014)

En 2005, près de 40% des consommation d'énergie et émissions de CO<sub>2</sub>, à travers le monde, provenaient des secteurs résidentiels et tertiaires, alors que le transport et l'industrie représentaient une trentaine de pourcents, chacun. Le secteur de la construction constitue, donc, un secteur à haut potentiel d'action pour une transition vers une société durable. (IEA, 2008) La figure 1 confirme ces chiffres en illustrant les consommations énergétiques européennes des différents secteurs. L'action dès les premières phases de la conception est indispensable, vu la longue durée de vie des bâtiments et les difficultés croissantes à les modifier ultérieurement. (Pavan, 2013)

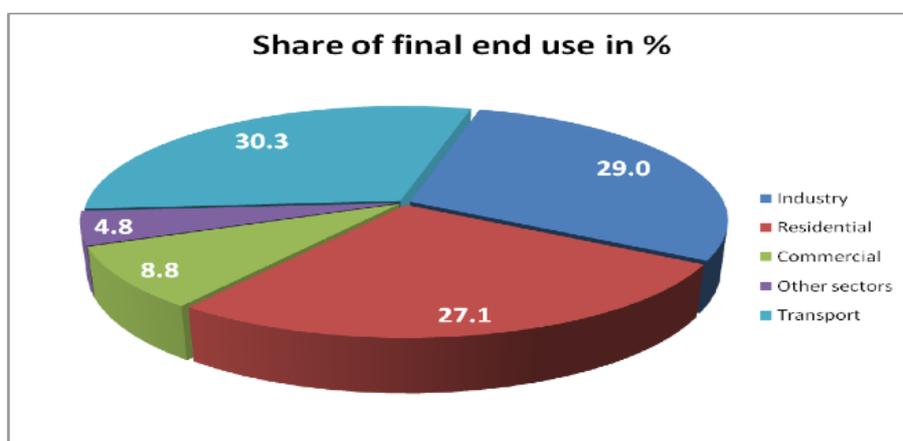


Figure 1: Consommation énergétique des différents secteurs en 2010 (EU, 2010)

Consciente de ces enjeux, l'Union européenne entraîne le secteur du bâtiment dans un virage important, à travers la refonte du 19 mai 2010 de la directive sur la performance énergétique des bâtiments. Celle-ci impose que tout nouveau bâtiment construit à partir de 2020 ait une consommation d'énergie quasi nulle, obligation à laquelle les bâtiments publics doivent se soumettre dès 2018. Des mesures favorisant la construction de bâtiments à consommation énergétique quasi nulle ou le recours à des sources d'énergie renouvelable doivent, également, être élaborées au sein des Etats membres. (EU, 2010)

A côté de la thématique énergétique, le monde affronte d'autres défis comme la diminution des réserves en eau potable, l'augmentation de la pollution de l'air ou la diminution des ressources disponibles. (Oostra, et al., 2011) L'augmentation des surfaces imperméables et les îlots de chaleur, responsables de dérèglements des cycles hydrogéologiques, (Zaizen M., 1999) qui provoquent des coulées de boue et des glissements de terrains. (Tournesol-Zonnebloem asbl, 2007) L'urbanisation excessive et l'émission de certains polluants contribuent à la dégradation de la qualité des sols avec des répercussions négatives sur la faune, la flore et la santé humaine. Certaines ressources sont, actuellement exploitées au-delà de leur faculté naturelle de renouvellement. (Tournesol-Zonnebloem asbl, 2007) L'évolution de l'empreinte écologique mondiale, "l'estimation de la surface minimale de terres et d'eaux dont une population humaine utilisant les technologies existantes a besoin pour produire les ressource qu'elle consomme et assimiler les déchets qu'elle produit", indique que la Terre est dans une situation de dépassement écologique. Afin de satisfaire la consommation de l'Humanité en ressources, 1,3 planète est nécessaire. Sans réaction, il faudra, en 2050, plus de deux planètes pour subvenir aux besoins de tous. (Globalfootprintnetwork, 2014) Cette évolution de l'empreinte écologique au cours du temps est illustrée par la figure 2.

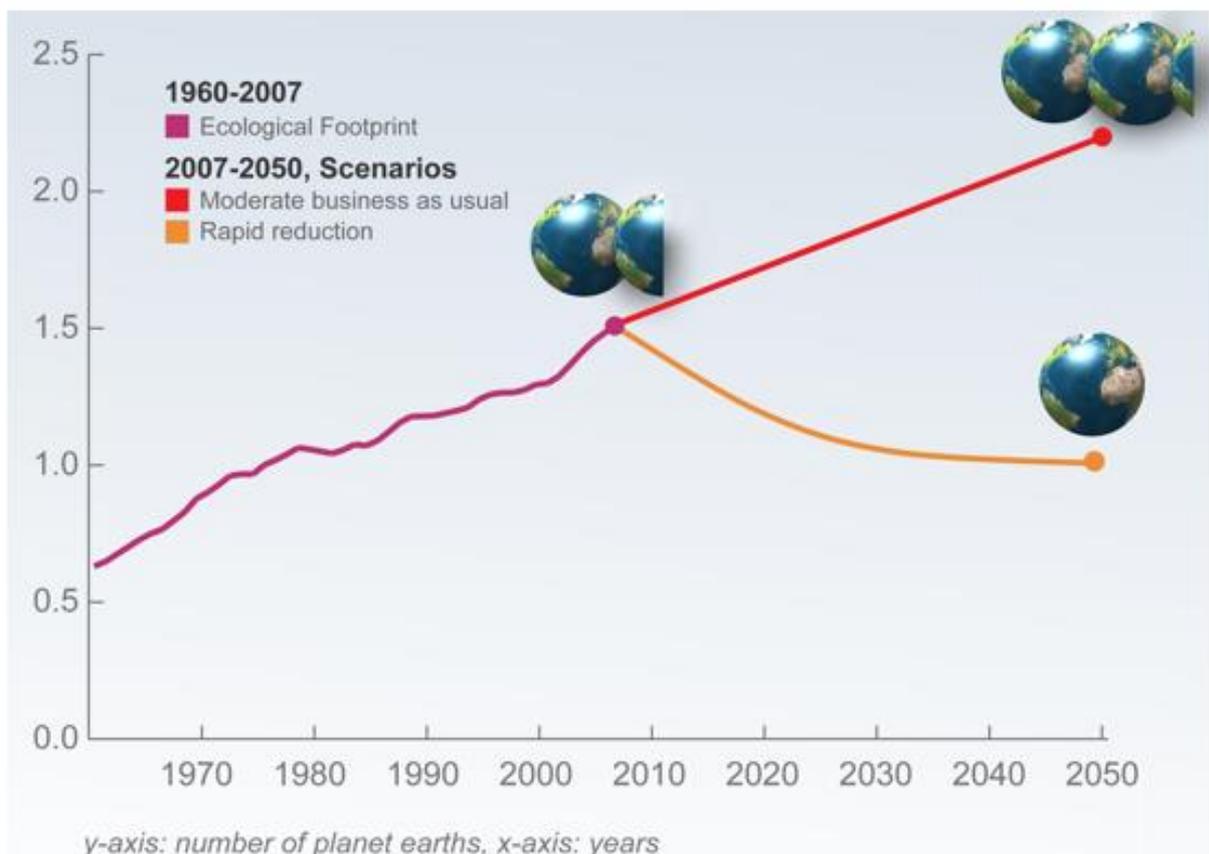


Figure 2: Evolution de l'empreinte écologique mondiale entre 1960 et 2007 et prévisions d'évolution de celle-ci entre 2007 et 2050 (Globalfootprintnetwork, 2014)

C'est dans ce contexte que sont apparus, au début des années 1990, les outils de certification durable des bâtiments. Ces outils servent à évaluer la performance des bâtiments par rapport à un ensemble de critères devant balayer la thématique du développement durable. Les critères d'évaluation sont définis selon des échelles de score quantitatives et/ou qualitatives. Ainsi, des points (crédits, niveau de performance, etc.) sont attribués au bâtiment lorsqu'on estime qu'il satisfait les exigences de ces critères. (Lee, 2013)

Les ambitions de ces outils sont nombreuses. D'une part, la réflexion sur des contraintes variées et multidisciplinaires doit permettre d'améliorer la qualité globale du bâtiment. (Oostra, et al., 2011). Ils doivent, aussi, contribuer à déterminer des objectifs sur la qualité à atteindre et à ce que les meilleures décisions soient prises pour y parvenir. Ils servent, encore, à comparer entre eux des bâtiments. Bien que leur utilisation soit volontaire, il arrive de plus en plus qu'ils constituent un critère lors des concours d'architecture. (Lee, 2013)

Les principales critiques qui leur sont faites concernent leur utilisation à des fins exclusivement mercantiles. Le danger est réel que le développement de solutions exclusivement techniques soit préféré à un travail conceptuel ou orientée vers le bien-être humain. Pour tirer le meilleur de ces outils, leur utilisation doit se faire avec critique et des visée à long terme plutôt que des objectifs de retour rapide sur investissement. (Sharifi A., 2013)

De nombreuses villes ont profité du développement d'infrastructures sportives de haut niveau pour se faire connaître au niveau régional, national ou international. Peuvent être cités, par exemple, à Manchester, Le Mans, Indianapolis ou encore Westerlo. Les infrastructures sportives contribuent, donc, au tourisme des villes en attirant des personnes. Celles-ci sont touchées par la notoriété de la ville, associée à celle d'une équipe de sport et y planifient un voyage ou sont des spectateurs consommant des biens lors de leur visite au stade. Une étude réalisée en 2001 à Baltimore a été montrée que 42% des spectateurs du stade n'habitaient pas la ville. 24 % d'entre eux (11 000 personnes) alimentaient l'économie touristique locale en séjournant au moins une nuit dans la zone de Baltimore afin de suivre le match.

De nombreux cas en Europe et aux Etats-Unis ont démontré que la construction d'un stade pouvait contribuer à résoudre des problèmes de développement urbain. Ces projets permettent de stimuler les investissements privés et publics. Le stade constitue, donc, le catalyseur à la régénération d'un quartier. (Terry) Lorsqu'un club de football est vu comme un facteur économique, similairement à une entreprise, on s'est aperçu qu'il était capable de contribuer à l'amélioration de la qualité environnementale, de l'équité sociale et de la prospérité économique de son voisinage. Il permet d'attirer des partenaires et de stimuler la consommation de ressources régionales. Il génère, aussi, des emplois pour des personnes peu qualifiées. (Vlad, 2010) Les stades constituent, également, un rassemblement urbain important : (Kiuri, et al., 2012) ils permettent aux communautés de se réunir autour d'un thème commun et d'augmenter leur sentiment d'appartenance à un groupe. De plus, ce moment favorable à la socialisation dure, généralement, au-delà des 90 minutes du match. Le trajet vers et depuis le stade revêt, lui aussi, une importance capitale (Vlad, 2010), certains auteurs qualifient même ce cheminement de religieux. (Cadic, 2010) Il a été constaté que dans les régions minières, dans lesquelles l'offre de développement socio-culturel est limitée, le temps passé au stade est considéré comme le meilleur du temps libre. (Vlad, 2010)

L'échelle des grands stades en fait le terrain d'études privilégié pour le développement des connaissances dans tous les domaines de l'ingénierie. Qu'il s'agisse de toitures-membranes, de ventilation naturelle, de niveaux sonores ou de problèmes constructifs, les stades constituent des défis à relever. Ils peuvent, donc, contribuer à l'évolution des techniques de construction durable des bâtiments.

A côté de ces répercussions positives, le stade est également générateur de pollution. Celle-ci provient notamment du trafic généré par le flux de personnes qu'il attire, du bruit de ses

spectateurs ou des activités s'y déroulant, des déchets qui y sont produit ou de l'éclairage indésirable dont il est responsable. Ces nuisances s'ajoutent à celles produites par ses activités quotidiennes comme les bureaux du club, les restaurants, etc. (Vlad, 2010) Vu ses impacts, le stade constitue donc un cas d'étude spécialement intéressant du point de vue du développement durable.

En mars 2011, un inventaire des projets de grands stades recensait, à travers le monde, 70 projets de nouveaux stades et 48 projets de transformation majeure, en cours. (Terry) Les constructions ou transformations de stades en vue des Coupes du Monde 2014, 2018 et 2022 ou pour la Coupe d'Europe 2016, qui ont défrayés la chronique à travers les accidents ou polémiques qu'ils soulèvent montrent que la problématique est bien actuelle. Ces grands projets, associés généralement à de vastes initiatives d'aménagement des zones environnantes, devraient constituer des catalyseurs pour l'application des principes du développement durable. Leur échelle au sein d'une ville, les répercussions économiques qu'ils génèrent ou le nombre de personnes qu'ils touchent peuvent en faire de puissants leviers.

## 2. Objectifs et méthodologie

L'ambition de ce travail n'est pas de réaliser un référentiel complet d'évaluation des stades. Un tel objectif requiert une collaboration interpersonnelle et un temps ne cadrant pas avec les réalités d'un travail de fin d'études.

L'objectif est, au contraire, de faire le point sur le développement des outils de certification durable des bâtiments de leur création à nos jours. En comprendre l'intérêt vis à vis d'autres outils à disposition et comparer théoriquement une partie des outils de certification durable en complétant la littérature existante.

Ensuite, après avoir étudié l'application sur les stades des principes du développement durable, jusqu'à aujourd'hui, un stade, la Ghelamco Arena, est évalué. Cette évaluation selon différents outils de certification durable cherche à mieux comprendre le fonctionnement pratique de ces outils, à les comparer sur cette base et à estimer s'ils sont adaptés pour évaluer directement les stades.

Enfin, de cette application, une série d'éléments spécifiques aux stades, méritant d'être intégrés lors d'une évaluation est mise en exergue et décrite afin de servir de base pour l'éventuel développement futur d'un référentiel spécifique aux stades.

La méthodologie poursuivie au sein du travail et quelques-unes des questions clé posées durant le travail sont illustrées schématiquement sur la figure 3.

## 3. Choix du site et hypothèses générales

Le choix du stade à évaluer s'est rapidement porté sur la Ghelamco Arena. Inauguré en juillet 2013, le stade gantois est le dernier stade d'ampleur construit en Belgique depuis les travaux entrepris en vue de l'Euro 2000. Il doit, donc, constituer le reflet le plus fidèle des pratiques actuelles en matière de construction de stade. Sa récente élection comme "Stade de l'année 2013" par stadiumdb.com (Stadiumdb.com, 2014) et l'obligation de respecter des exigences environnementales toujours plus pointues rendent sa sélection encore plus légitime. Enfin, la volonté de rester dans le contexte belge, la facilité d'accès au stade, à rencontrer les acteurs du projet et la meilleure connaissance des réglementations principales ont dirigé mon choix vers la Ghelamco Arena, plutôt que vers le Grand Stade de Lille, par exemple.

L'application de certains outils de certification durable nécessitera que des hypothèses soient posées. La principale est l'utilisation d'outils de certification durable qui ne sont pas prévus pour l'évaluation d'un stade. Les référentiels choisis sont ceux vers lequel il paraît le plus

logique de se diriger: salles multisports et référentiels génériques pour les constructions neuves. Vu les référentiels choisis et que l'intérêt est, avant tout, dirigé vers le fonctionnement et les manquements des outils plutôt que vers les résultats obtenus cette hypothèse semble acceptable.

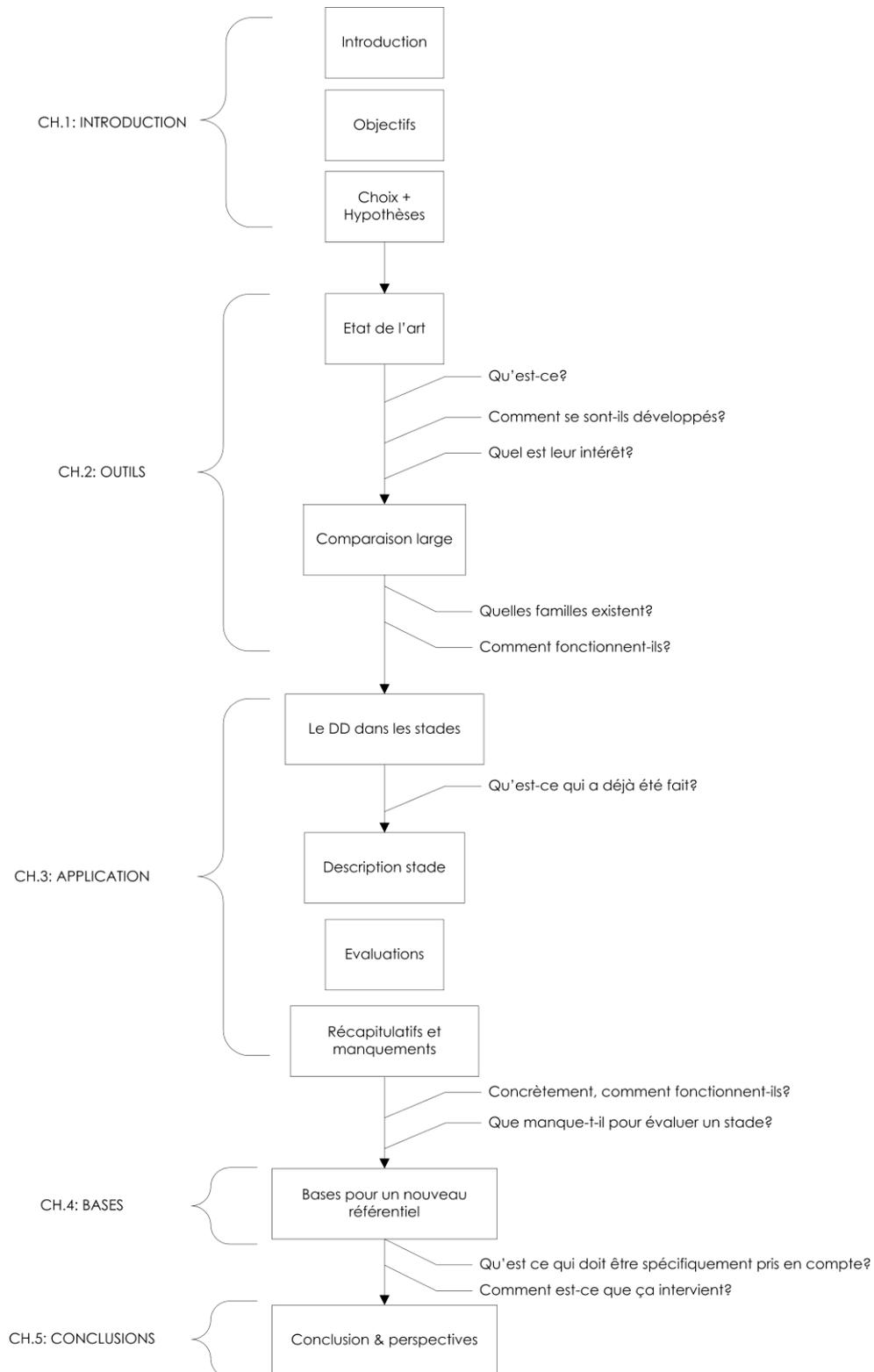
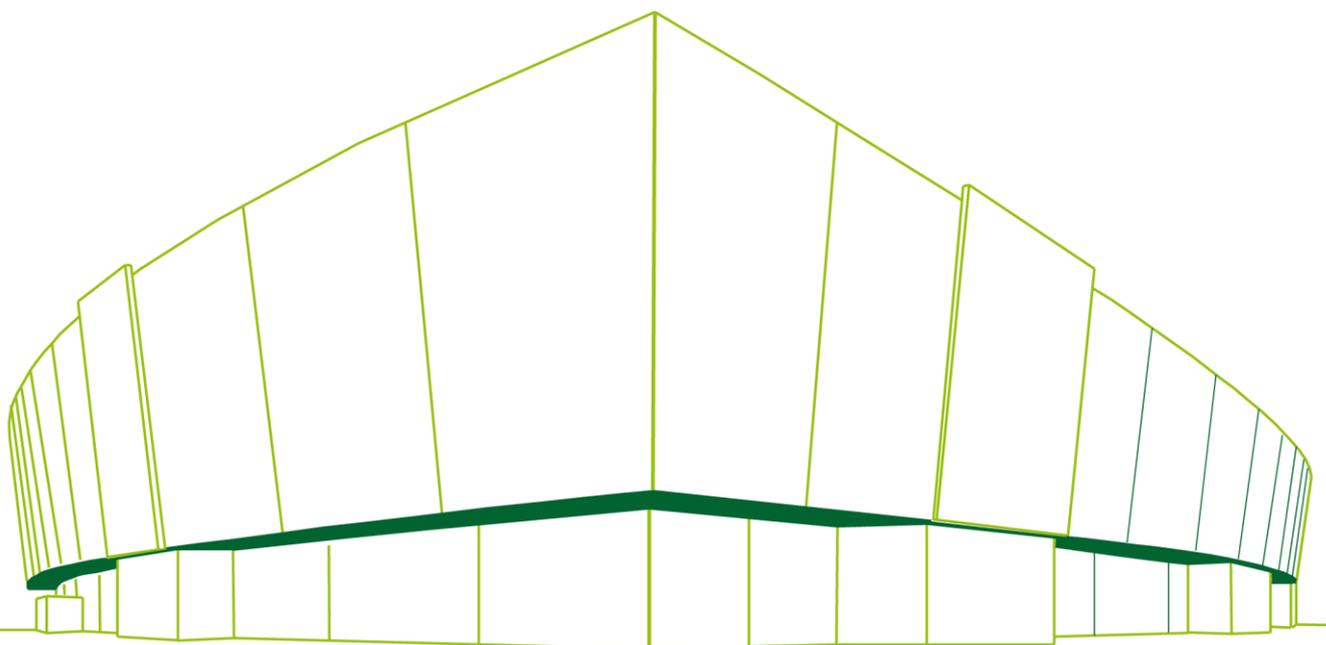


Figure 3: Schéma descriptif de la méthodologie du travail

## Chapitre 2: Outils de la certification durable des bâtiments



# 1. Etat de l'art

Cette section vise la description des étapes marquantes du développement des outils de certification durable des bâtiments, jusqu'à nos jours. Ces outils sont ensuite comparés avec d'autres outils utilisés pour évaluer les bâtiments afin d'en dégager les particularités et complémentarités éventuelles.

## 1.1 Historique du développement des outils

Les méthodes d'évaluation de l'impact environnemental des bâtiments ont connu un boom de développement important dans les années 90 suite au Rapport Brundtland et au premier Sommet de la Terre à Rio (Lee, 2013). Toutefois, dès 1969, suite à la prise de conscience de l'augmentation des pressions humaines sur l'environnement, l'Environmental Impact Assessment tool est développé aux Etats-Unis en même temps qu'une première politique d'action sur l'impact environnemental est adoptée, NEPA. (Sharifi A., 2013)

Afin de réduire l'impact environnemental des bâtiments de manière volontaire, la méthode BREEAM, développée en Grande-Bretagne est proposée à partir de 1993 pour les bâtiments de bureaux. S'en suivra un rapide développement sur les bâtiments évalués, le contenu de l'évaluation mais également l'apparition d'autres méthodes comme LEED (Etas-Unis) et HQE (France) aux alentours de 1998. De nombreux pays voient dans ces outils d'évaluation un moyen de réduire l'impact environnemental des bâtiments. Ils élaborent chacun leur propre méthode, basée sur un de ces outils déjà développé auquel ils font subir des adaptations afin d'épouser leurs particularités locales. C'est pour cette raison que, généralement, la plupart des outils de certification durable sont similaires sur le fond mais mettent l'accent sur des éléments différents. (Lee, 2013)

L'intérêt de ces méthodes réside dans la multiplicité de critères pris en compte. Ils ne se limitent pas à prescrire des performances limitant les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub>, ils insistent également sur la limitation de la consommation d'eau, une utilisation adéquate des matériaux, une étude d'impacts sur la santé et l'environnement et réalisent souvent une étude en cycle de vie. (IEA, 2008) Une caractéristique importante de ces outils est leur gradation de la performance: le niveau minimum correspond toujours aux impératifs légaux ou normaux. La certification signifie, donc, un niveau de performance supérieur aux normes en vigueur. La composante politique intervient ici en réalisant des lois plus ou moins contraignantes et proches des réalités du marché. (Lee, 2013).

Lors d'une étude sur ces outils de certification aux Etats-Unis, l'Administration Générale Américaine des Services a épinglé sept points essentiels à mettre en œuvre dans ces outils:

- Applicabilité: type de bâtiment étudié,
- Développement: mise à jour régulière des référentiels,
- Utilisabilité: simplicité d'utilisation,
- Maturité du système: besoin de tests et d'une validation par des experts et organismes respectés,
- Contenus techniques,
- Mesurabilité et vérification: quantification de la performance,
- Communicabilité: clarté de l'outil et caractère compréhensible et comparable des résultats communiqués (Fowler, et al., 2006)

Dans le cadre du développement de ces méthodes, l'International Organization for Standardization (ISO) et l'European Committee for Standardization (CEN) ont développé et défini des besoins standardisés auxquels doivent répondre les différentes méthodes de certification durable des bâtiments (CEN 2005, 2007; ISO 2000, 2006a, 2006b) (Alyami, et al., 2012)

L'utilisation de ces outils participe, de plus en plus, à l'aide à la prise de décision car leur manipulation et la compréhension des résultats fournis ne nécessitent pas le recours à des ressources hautement spécialisées. Ce n'est pas le cas d'autres méthodes comme les outils multicritères/multiobjectifs, qui déterminent la meilleure solution selon des critères définis au moyen d'algorithmes. L'ambition d'utiliser les outils de certification durable comme outils d'aide à la conception et à la décision est renforcée par l'impact des choix faits lors de la conception sur la performance future du bâtiment. L'évaluation de différents scénarii en fonction de performances environnementales, sociales, techniques et économiques doit, donc, permettre aux auteurs de projet de prendre les meilleures décisions. (Ferreira, et al., 2013)

Le choix de l'échelle d'évaluation des outils de certification durable pose actuellement question et est en pleine évolution. Si initialement des outils d'évaluation à l'échelle du bâtiment ont surtout été développés, on se dirige aujourd'hui, de plus en plus, vers le développement de méthodes à l'échelle du quartier. En effet, cette échelle semble la plus pertinente vis à vis du développement du territoire, de l'implantation de nouveaux bâtiments et services, ainsi que de leur mise en relation. Cependant, le développement des outils de certification des bâtiments doit se poursuivre car toutes les opérations immobilières ne touchent pas l'échelle du quartier ou parce qu'à l'intérieur de celui-ci, il est important d'avoir des cellules de base performantes en vue d'obtenir un tout performant. (Sharifi A., 2013)

## 1.2 Comparaison et intérêt par rapport à d'autres outils

Dans la section qui suit, certains outils d'évaluation des bâtiments sont présentés et leurs spécificités, intérêts et éventuelles complémentarités avec les outils de certification durable des bâtiments sont décrits. Un grand nombre d'outils d'évaluation des bâtiments est disponible sur le marché, il eût été utopique d'espérer les évoquer tous dans le cadre de ce travail. C'est pour cela qu'un nombre limité d'entre eux est abordé.

### 1.2.1 PEB

Depuis la directive européenne 2002/91/CE relative à la Performance énergétique des bâtiments (PEB), les Etats membres sont tenus de développer un système permettant la certification énergétique des bâtiments présents sur leur marché. Réalisée dans des conditions d'utilisation et de climat standardisées, l'évaluation se fait selon une méthode de calcul définie. Des caractéristiques énergétiques, relevées par rapport à l'enveloppe du bâtiment et aux systèmes en son sein permettent de réaliser ces calculs. Un certificat exprimant la performance énergétique du bâtiment est, ensuite, délivré par des indicateurs. L'objectif est de permettre la comparaison énergétique des biens disponibles sur le marché. Lorsqu'un bâtiment ne consomme pas d'énergie pour réguler un climat intérieur confortable, l'évaluation PEB n'est pas nécessaire. (SPW, Service Public de Wallonie, 2014)

Les niveaux d'exigence des indicateurs évalués par PEB sont liés à sa destination. Ainsi, une distinction est réalisée selon la nature des travaux entrepris, l'affectation et, éventuellement, le chauffage ou non du bâtiment. En plus, tout bâtiment neuf d'une superficie utile totale supérieure à 1 000 m<sup>2</sup> doit faire l'objet d'une étude de faisabilité technique, environnementale et économique. (Hauglustaine, 2012)

Le recours à un logiciel préconfiguré permet de réduire le risque d'ambiguïté. La bonne compréhension des données à encoder ou à sélectionner restant indispensable, seul une personne qualifiée, le certificateur PEB, peut procéder à l'évaluation.

L'évaluation du projet selon PEB se réalise à partir de la division "en arbre" du projet. La première division concerne les volumes protégés et volumes non-protégés. Ensuite, si nécessaire, le volume protégé est décomposé en différentes unités, correspondant à des espaces chauffés. Pour chacune de ces unités, les critères évalués par le logiciel sont:

- la valeur  $U_{max}$  de chaque paroi (et/ou  $R_{min}$ ), où  $U_{max}$  est la valeur maximale du coefficient de transmission thermique d'une paroi c.à.d. la quantité maximale de chaleur traversant  $1m^2$  de paroi, par seconde pour un écart de température de  $1^\circ C$  ( $=1K$ ), en  $W/m^2K$  et  $R_{min}$  est l'inverse de  $U_{max}$ . Ces valeurs sont influencées par le choix des matériaux (coefficient de conduction thermique) et leur épaisseur.
- Le niveau  $K$  est le niveau d'isolation thermique global qui traduit la performance énergétique de l'enveloppe complète du volume protégé. On le calcule à partir des coefficients de transmission thermique des parois, de la surface totale de déperdition et du volume protégé. La norme PEB prend en compte les nœuds constructifs selon trois méthodes de calcul différentes, choisies en fonction de la connaissance ou de soin apporté à un nœud.
- $E_w$  exprime la consommation d'énergie primaire par le rapport entre la consommation annuelle d'énergie primaire de l'unité du bâtiment étudié et celle d'une unité de référence, multiplié par 100. L'unité de référence présente les mêmes caractéristiques géométriques que celle du bâtiment évalué (surface de plancher, surface de déperdition et volume protégé), le même usage standardisé et des caractéristiques de base standards. La consommation d'énergie prise en compte est celle du chauffage, de l'eau chaude sanitaire (ou de l'éclairage pour le tertiaire), des auxiliaires et du refroidissement s'il existe. Un faible niveau  $E_w$  traduit une faible consommation énergétique.
- $E_{spec}$ , la consommation en énergie spécifique primaire, exprime le rapport entre la consommation annuelle d'énergie primaire de l'unité du bâtiment étudié et la surface totale de plancher chauffé (ou refroidis) de cette unité. L'unité sera d'autant plus performante que sa consommation spécifique sera faible. (SPW, Service Public de Wallonie, 2012)

Selon la norme PEB, deux autres critères doivent être évalués:

- la Ventilation, qui traduit la présence d'un niveau de ventilation minimum au sein de l'unité, indispensable au confort et à la santé des occupants.
- la Surchauffe, qui traduit que, thermiquement, l'unité satisfait des standards de confort pour ses occupants en regard des risques de surchauffe.

Les études de faisabilité exigées ne peuvent être réalisées que par une personne agréée par le Ministre. Ces études de faisabilité comprennent des mesures d'économie d'énergie satisfaisant à des critères coûts-efficacité. Une analyse des opportunités d'utilisation de systèmes alternatifs de production et d'utilisation d'énergie y est également intégrée.

Un certificat décrivant la performance énergétique du bâtiment au travers d'indicateurs numériques ou alphabétiques est délivré au propriétaire. Le certificat toujours est attribué quels que soient les résultats pour une durée de 10 ans. Une amende et l'obligation de se mettre en conformité sanctionnent le non-respect des exigences. L'énergie étant une matière régionale en Belgique, le citoyen averti sera attentif aux différences entre l'échelle des indicateurs de chaque région, comme l'illustre la figure 4. (SPW, Service Public de Wallonie)

Les éléments évalués par la certification PEB interviennent dans la certification durable d'un bâtiment. Cette dernière nécessite la réalisation d'une étude des consommations et du rendement des systèmes. La ventilation et la surchauffe sont, elles, intégrées dans l'évaluation du confort et de la qualité d'environnement à l'intérieur du bâtiment. Pour ces thématiques, PEB et l'évaluation durable fonctionnent, donc, en synergie et permettent de s'enrichir l'un l'autre. La certification durable des bâtiments permet, toutefois, d'étudier de manière plus complète l'impact des bâtiments sur leur environnement. L'ambition de PEB n'est, en effet, pas d'évaluer des thématiques comme les consommations d'eau ou la gestion des déchets

qui sont prises en compte lors d'une certification durable. Il faut noter, en revanche, que l'évaluation PEB est une obligation légale tandis que la certification durable est une démarche volontaire.

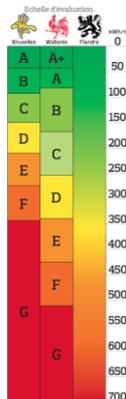


Figure 4: Comparaison des niveaux de certification PEB entre les trois Régions, en Belgique, en 2012 (Test Achat, 2012)

### 1.2.2 Label Passivhaus

Développé depuis 1990 par le Passivhaus Institut, un institut de recherches établi à Darmstadt en Allemagne, il s'agit d'un label volontaire lié à l'énergie et la ventilation qui permet d'aller plus loin que la PEB légale. La maison passive est définie comme un "standard de bâtiment qui est vraiment efficace énergétiquement, confortable et abordable, en même temps". Le but est de parvenir à ne plus avoir besoin d'un système de chauffage autre que le chauffage de l'air requis pour la ventilation des locaux. Ceci est rendu possible grâce à une diminution importante des déperditions thermiques du bâtiment.

Pour obtenir ce label, quatre objectifs doivent être atteints:

- La demande d'énergie de chauffage par m<sup>2</sup> d'espace de vie net doit être inférieure à 15kWh/an ou à 10W/m<sup>2</sup> comme demande de pointe.
- La demande annuelle d'énergie primaire, c.à.d. la quantité totale d'énergie nécessaire pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité, doit être inférieure à 120 kWh/m<sup>2</sup> pour la surface utile du bâtiment.
- Sous une pression de 50 Pa exercée lors d'un test de pressurisation in situ, un maximum de 0,6 renouvellement d'air par heure doit être mesuré, au sein du bâtiment.
- La température de chaque espace de vie ne peut être supérieure à 25°C pendant plus de 10% des heures de l'année. Le but est de respecter le confort thermique des occupants.

Afin de rencontrer ces exigences, le Passivhaus Institut propose 5 principes de conception de base:

- Isolation thermique des parois opaques très élevée ( $U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Châssis de fenêtre bien isolés et vitrages avec un remplissage de krypton ou d'argon ( $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  et  $g = 50\%$ )
- Emploi d'un échangeur de chaleur pour la ventilation
- Grande qualité d'étanchéité à l'air du bâtiment
- Absence de ponts thermiques grâce à une attention particulière portée sur les nœuds constructifs et la réduction au maximum d'éventuels ponts inévitables.

Pour atteindre les performances requises, le concepteur aura recours à des solutions technologiques telles que les échangeurs de chaleur (économie de 75% d'énergie pour le chauffage de l'air), une isolation importante, des parois transparentes dont le facteur solaire

est élevé (c.à.d. dont la quantité d'apport solaire utilisable est grande par rapport à la quantité totale disponible) mais aussi à des solutions conceptuelles. Par exemple, l'utilisation de pare-soleil et la maximisation des apports solaires, la conception fine des ponts thermiques et de l'étanchéité de l'enveloppe et le contrôle de leur adéquate exécution.

Créé initialement pour les bâtiments résidentiels, le label Passivhaus se développe et a, ces dernières années, été transposé à d'autres destinations. Ainsi, des écoles, usines, gymnases et piscines en neuf et rénové ont été certifiés. Lorsqu'un certificat est délivré, il est valide de indéfiniment sauf en cas d'utilisation inadaptée du bâtiment ou de la réalisation de travaux pouvant affecter sa qualité. Ce certificat est délivré par le Passivhaus Institut ou une personne formée par celui-ci. (Passive House Institute, 2014) Le projet européen CEPHEUS a permis d'évaluer la transposabilité du modèle Maison Passive dans d'autres climats que celui d'Europe centrale pour lequel il a été conçu. Si les résultats en climat froid restent bons, des adaptations et modifications semblent nécessaires afin d'intégrer le besoin en refroidissement des climats plus chauds. Enfin, ce même projet a montré qu'en l'absence de subsides, le temps de retour sur investissement d'un bâtiment passif, d'après les coûts en 2001, était d'un peu moins de 25 ans. Vu les coûts croissants de l'énergie, le label a été considéré comme rentable. (IEA, 2008)

Le label Passivhaus évalue des éléments similaires à ceux entrant en compte dans la PEB. Il se veut, toutefois, plus restrictif dans le niveau de performances à atteindre que les exigences actuelles de celle-ci. Il constitue donc un pas supplémentaire vers des bâtiments performants du point de vue environnemental. Attention, cette démarche est purement volontaire, contrairement à la PEB qui est une imposition légale au sein de l'Union Européenne. Notons, enfin, que vu la refonte de la directive PEB, tout nouveau bâtiment construit à partir de 2020 devra présenter une consommation d'énergie quasi nulle.

Comme la PEB, le label Passivhaus aborde de manière approfondie certaines thématiques liées à l'impact du bâtiment sur son environnement. Sa démarche est volontaire comme la certification durable des bâtiments. Cette dernière évalue, toutefois, un panel bien plus large de thématiques parmi lesquelles la gestion de l'eau, la qualité d'air intérieur, etc. La certification durable a, donc, la même complémentarité avec le label Passivhaus et la PEB, la seconde constituant un approfondissement de la première, mené librement.

### **1.2.3 Normes ISO/CEN**

Apparus en 1947 sous l'impulsion de l'ISO (International Standards Organization) afin d'augmenter l'efficacité de tous les secteurs économiques, les standards s'appliquent de manière volontaire. (Passive House Institute, 2014) "Un standard" est une publication fournissant règles, lignes directrices ou caractéristiques pour les activités ou leurs résultats, pour une utilisation commune et répétée. Les standard sont créés en mettant ensemble les intérêts de toutes les parties en ce compris les fabricants, utilisateurs, consommateurs et régulateurs d'un matériau particulier, produit, process ou service. Tout le monde profite des bénéfices de la standardisation à travers l'augmentation de la sécurité, qualité du produit et la diminution des coûts et prix. (CEN, Comité Européen de Normalisation, 2013)

Parallèlement à ISO, des standards européens (EN) sont définis lorsqu'ils sont adoptés par une des trois organisations de standardisation européennes CEN, CENELEC et ETSI. Leur réalisation est l'œuvre de sous-comités regroupant toutes les parties concernées, dont le monde politique. Transparence et ouverture constituent deux maîtres-mots lors de la rédaction de nouveaux standards. Le standard constitue un état de l'art et repère les meilleures pratiques du marché. L'adoption d'un standard européen entraîne la suppression des standards nationaux contradictoires. Sa révision a lieu au bout de 5 ans maximum. Conformément à l'Accord de Vienne, CEN et ISO affirment que le développement des standards peut être réalisé parallèlement et avec des recouvrements, comme c'est déjà le cas pour 30% d'entre eux. (CEN, Comité Européen de Normalisation, 2013)

Les standards traitant du développement durable sont développés de manière à ce que des performances fonctionnelles et techniques soient atteintes. De plus, des exigences environnementales, sociales et économiques sont formulées. Ces standards intègrent, donc, des préoccupations liées à la production, le transport, le processus de construction et l'utilisation en fin de vie.

Quelques exemples de standards abordant le développement durable dans la construction:

- ISO/TC207 (Environmental Management): réalisé en 1993, à propos des outils et systèmes de management environnemental.
- ISO 14000: un ensemble de standards internationaux focalisés sur l'environnement, qui encourageant aux comportements plus propres, plus sûrs et plus sains. Il contient, par exemple, ISO 14044 (2006) qui décrit les outils d'analyse en cycle de vie LCA (Life Cycle Assessment) et établit les règles pour mener des études LCA pertinentes et reproductibles.
- ISO 21930 (Environmental Declaration of Building Products): principes et lignes directrices pour le développement et l'implémentation de ces déclarations.
- ISO 21931-1 (Framework for methods of assessment for environmental performance of construction work): cadre de travail général pour permettre la comparaison des méthodes d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments. Décrit les sujets à intégrer dans ces méthodes et cherche à en améliorer la qualité.

Les standards veulent donner des informations plus transparentes et plus fiables sur les produits et services disponibles sur le marché. (Krigsvoll, et al., 2010) En les utilisant et les respectant scrupuleusement, on s'assure d'employer les meilleures techniques et matériaux disponibles sur le marché à un moment donné.

Standards et certification durable des bâtiments peuvent collaborer de manière parallèle. En effet, la certification durable fait régulièrement référence à l'utilisation de bonnes pratiques ou à des matériaux de qualité. Ces références peuvent être garanties par l'utilisation de procédures ou de matériaux standards. La certification durable s'intéresse, pour sa part, à garantir une performance globale de l'ensemble. Cette performance est caractérisée graduellement tandis que les standards qualifient la performance de manière booléenne. S'il veut obtenir un niveau de performance élevé, le maître d'ouvrage a intérêt à utiliser les standards disponibles et à les dépasser, dans la mesure du possible. Ce travail d'information ne se limite pas qu'à lui. L'ensemble de l'équipe sur le projet doit, en effet, être concernée.

#### 1.2.4 Evaluations LCA

L'analyse en cycle de vie ou LCA (Life Cycle Assessment) est une méthodologie qui vise à évaluer les impacts environnementaux, durant le cycle de vie entier de processus, produits ou systèmes. Lors de l'analyse en cycle de vie d'un matériau, il faut prendre en compte l'extraction et la mise en œuvre du matériau brut, sa manufacture, son transport et sa distribution, son utilisation et sa réutilisation, sa maintenance, son recyclage et sa disposition finale. Apparue en 1969, afin de quantifier et réduire les déchets solides, la méthode est de plus en plus utilisée pour déterminer les cycles de vie les plus éco-efficaces. Ils sont ensuite analysés et la LCA joue, alors, un rôle d'aide à la décision. Depuis la fin des années 90, ce genre d'évaluation est défini selon la norme ISO 14040 qui identifie 4 étapes:

- Définition des buts et objectifs
- Création de l'inventaire
- Evaluation des impacts environnementaux
- Interprétation des résultats

(Krigsvoll, et al., 2010)

Les principales difficultés d'application de la méthode LCA aux bâtiments sont dues aux hypothèses à poser sur les données, particulières au secteur immobilier. Ainsi, sur une durée de vie généralement supérieure à 50 ans, la prédiction devient complexe. De nombreux changements formels et fonctionnels au sein de bâtiments prototypiques sont probables. Ces évaluations confirment, toutefois, que l'essentiel de la consommation énergétique a lieu durant la phase d'utilisation du bâtiment. L'importance d'une conception de qualité est encore davantage accentuée par ces résultats. (Khasreen, et al., 2009)

Les méthodes LCA sont considérées comme les meilleures évaluations environnementales. En effet, les impacts sont étudiés sur toutes les phases et non pas sur une seule étape de la durée de vie d'un bâtiment. (Krigsvoll, et al., 2010) A titre d'exemple, le logiciel EQUER permet de comparer graphiquement les impacts environnementaux de différents projets ou versions d'un même projet et produit, sur 4 phases du cycle de vie, 12 indicateurs environnementaux tels que la contribution à l'effet de serre, l'eau utilisée, les déchets inertes, l'énergie consommée ou la toxicité humaine. Ceux-ci sont évalués sur base des caractéristiques du bâtiment, d'une simulation thermique dynamique et d'une base de données d'analyse en cycle de vie et d'impacts pour les matériaux, procédés et vecteurs énergétiques utilisés. (Equer, 2013)

L'utilisation des outils d'évaluation LCA permet de quantifier différents impacts du bâtiment sur son environnement. Ces outils sont utiles afin de vérifier le respect d'objectifs chiffrés ou de choisir la solution la plus performante parmi un ensemble. Les exigences de la certification durable peuvent être utilisées comme support à la conception ou comme objectifs à atteindre, en amont de l'évaluation LCA. Cette dernière quantifierait ou validerait les options sélectionnées. Agir de la sorte permet d'obtenir l'évaluation la plus représentative des impacts réels qu'aura le bâtiment sur son environnement, sous réserve des modifications du bâtiment évoquées précédemment. La LCA ne peut, toutefois, évaluer que les thématiques quantifiables de la certification durable. Ne sont, par exemple, pas pris en compte la qualité du climat intérieur et le confort des occupants du bâtiment. Un regard critique doit, de plus, être conservé vis à vis des hypothèses réalisées et des résultats obtenus qui en sont fortement dépendants. A ce titre, une évaluation LCA mobilisera des compétences bien plus pointues, des données plus nombreuses et précises et un temps plus important qu'un outil d'évaluation durable. Enfin, la LCA ne peut pas être considérée comme un support d'aide à la conception. Pour ces raisons et son faible impact mercantile, les évaluations LCA sont, actuellement, essentiellement utilisées par la communauté scientifique. Les maîtres d'ouvrage et promoteurs se tournent plus volontiers vers des outils de certification durable.

### **1.2.5 Simulations numériques de phénomènes physiques**

Ces dernières années, le développement d'outils et logiciels de simulations numériques appliquées aux bâtiments a connu de fortes avancées. Ces compétences doivent permettre, entre autres, de faire des économies de coûts, matériaux et consommations, d'améliorer le confort intérieur ou en milieu urbain et d'optimiser l'exploitation de phénomènes passifs. (SIMBA, 2014)

L'utilisation de prototypes permet de déduire des observations réelles, à condition de respecter les règles d'échelle. Il est également possible de représenter ou d'appréhender certains phénomènes observables et, ainsi, valider des choix. Le contrôle de ces phénomènes et leur mise à l'échelle correcte constituent les principales difficultés. Les simulations informatiques permettent de répondre à certaines limitations : elles permettent de réaliser une infinité d'essais sur des dimensionnements, positionnements, concepts, choix de matériaux, etc. Il est également possible d'étudier la sensibilité d'une solution à différents paramètres, ce qui apporte une (Frère, et al., 2013) grande richesse au résultat. Toutefois, il convient de ne pas perdre de vue les hypothèses de calcul réalisées et le domaine de validité du modèle afin de ne pas tirer de conclusions erronées. (Frère, et al., 2013)

Une avancée récente est le couplage d'outils de simulation énergétique des bâtiments avec des algorithmes d'optimisation.

Le développement de modèles d'optimisation numérique de bâtiments en phase de conception est une technique complexe et par essence multidisciplinaire. Ce type d'optimisation est généralement réalisé par le couplage d'un logiciel de simulations numériques de bâtiments et un "moteur" d'optimisation qui peut se composer d'un ou plusieurs algorithmes d'optimisation (Attia, 2012). Ce couplage permet de trouver les valeurs optimales parmi un très grand nombre de variables, constituant donc un nombre énorme de combinaisons potentielles, qui sont évaluées sur base de l'optimisation d'une ou plusieurs fonction(s)-objectif(s) (telle que la minimisation des consommations énergétiques du bâtiment ou de son coût), tout en devant assurer le respect de certaines contraintes (comme par exemple le respect de normes de confort).

Le nombre de publications scientifiques portant sur des études d'optimisation numérique de bâtiments croît très rapidement depuis 2005 en lien avec le progrès rapide des sciences informatiques et la croissance des exigences environnementales (Nguyen, et al., 2014), ce qui prouve le grand intérêt de la communauté scientifique par rapport à ce nouveau domaine d'investigations. (Nguyen, et al., 2014) a proposé une revue étendue de la littérature sur ces méthodes et a montré que la grande majorité des études d'optimisation numérique de bâtiments trouvées dans la littérature sont basées sur des optimisations purement énergétiques, qui négligent les autres aspects essentiels à la durabilité des bâtiments (Nguyen, et al., 2014). Récemment, quelques publications abordent toutefois la question des optimisations multi- critères en reliant les aspects de coût et de consommations énergétiques (Bambrook, et al., 2011), (Fesanghary, et al., 2012), les aspects de coûts et d'émissions de gaz à effets de serre (Wang, et al., 2005) (Fesanghary, et al., 2012) ou encore les aspects de coûts et de critères de confort (Nguyen, et al., 2014). Par ailleurs, ces études d'optimisation sont toujours limitées à l'analyse d'un bâtiment individuel et font abstraction des paramètres liés à l'implantation du bâtiment dans un contexte spécifique ainsi des paramètres liés aux styles de vie et aux comportements de ses utilisateurs, tels que les consommations énergétiques liées à la mobilité des personnes, la perte en biodiversité liée à l'artificialisation des sols construits, etc.

Techniquement, les méthodes d'optimisation numérique basées sur des algorithmes génétiques présentent différents avantages qui s'avèrent spécialement utiles pour la recherche dans le domaine de l'optimisation des bâtiments (Attia, 2012) : - capacité de gérer des variables continues et discrètes, ou les deux types, - évaluation simultanée de n individus dans une population, permettant des simulations parallèles ou réalisées sur des ordinateurs à multiprocesseurs, - capacité à travailler avec une population de solutions, ce qui fait que les algorithmes génétiques sont naturellement adaptés à résoudre des problèmes d'optimisation à objectifs multiples, - robustesse dans la gestion des discontinuités et des problèmes multimodaux ou fortement contraints, sans être piégés dans un minimum local, même avec des problèmes complexes. Cependant, deux barrières techniques limitent l'application actuelle de ces méthodes d'optimisation aux bâtiments en phase de conception (Nguyen, et al., 2014). Il s'agit d'une part de l'incertitude de différents facteurs durant l'optimisation et d'autre part du temps de calcul, qui devient très élevé lorsque le bâtiment est complexe.

Ces outils en développement présentent, donc un potentiel très intéressant dans la multitude des analyses qu'ils peuvent permettre et la finesse de leurs résultats. Attention cependant, il est indispensable qu'ils soient utilisés avec un esprit critique et avec les capacités de compréhension des phénomènes, données et hypothèses suffisantes. Sinon, des erreurs d'interprétations sont probables. La connaissance et la compréhension du contexte réel restent, malgré tout, nécessaires. Des monitorings et essais de laboratoires peuvent être utilisés pour calibrer les outils numériques et en améliorer la représentativité des résultats. (De Barquin)

Par rapport aux outils de certification durable des bâtiments, les simulations numériques de phénomènes physiques ne se limitent, actuellement, qu'à certains aspects du développement durable. Ils requièrent, de plus, un niveau d'expertise important, pour la manipulation des outils mais également dans le traitement des données, hypothèses et résultats. La lourdeur de la tâche et son manque d'attrait mercantile expliquent que l'intérêt des maîtres d'ouvrage à leur égard est, actuellement, très limité. Toutefois, dans années à venir, avec l'avancement de la recherche, peut-être que les simulations numériques occuperont une place plus importante au sein du marché, comme support d'aide à la prise de décision, par exemple.

Les principaux intérêts des outils de certification durable des bâtiments, par rapport aux outils d'évaluation des bâtiments présentés, sont le domaine d'application et le niveau d'expertise requis.

La plupart des outils présentés n'abordaient l'évaluation du bâtiment que sous un nombre limité d'aspects. Les outils de certification durable permettent une évaluation selon un ensemble de thématique bien plus large. De ce fait, ils permettent de constituer une vue plus globale sur le bâtiment. Leur nature plus généraliste les rend, à contrario, moins détaillés et précis que les outils décrits dans cette section.

Ce caractère généraliste explique, aussi, que l'évaluateur n'a pas besoin d'un niveau de connaissance aussi poussé que l'utilisateur de certains outils, comme la LCA. Plus abordables et plus génériques les outils de certification durable sont, donc, plus proche des coordinateurs du projet qui pourraient utiliser l'outil comme plateforme d'interaction.

Pour la plupart des outils présentés, les possibilités d'interaction avec un outil de certification durable sont bien réelles. En effet, la portée et les résultats recherchés ne sont pas les mêmes. Il y a, donc, une complémentarité qui peut être trouvée entre eux. Selon les opportunités et priorités du projet, l'intérêt à essayer de les faire collaborer est, donc, réel.

## 2 Comparaison large d'outils de certification disponibles

Après nous être intéressés à la comparaison entre différentes méthodes d'évaluation de la durabilité des bâtiments, nous allons comparer entre eux différents types d'outils de certification durable des bâtiments et des quartiers. Au sein des outils de certification durable des bâtiments, deux grandes familles peuvent être distinguées. La première étudie exclusivement les bâtiments et leur insertion dans un contexte, tandis que la seconde travaille à une échelle plus grande, celle des quartiers. Dans la prochaine section, les principaux outils de certification durable des bâtiments et des quartiers seront comparés et leurs particularités seront présentées.

### 2.1 Outils de certification à l'échelle du bâtiment

Cinq outils de certification durable à l'échelle du bâtiment sont présentés, ci-dessous. Il ne s'agit que d'un échantillon très limité de l'ensemble des outils disponibles sur le marché. D'autres outils comme HK-Beam (Honk-Kong), Green Star (Australie) ou DGNB (Allemagne) auraient, également, pu être évoqués. L'ambition du travail n'étant pas de réaliser un relevé complet de tous les outils disponibles, le choix s'est porté sur un certain nombre d'entre eux, parmi les plus populaires.

#### 2.1.1 LEED

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) existe depuis 1998. Sa proposition par l'US Green Building Concept (USGBC) est la réponse à une demande formulée par le Département Américain de l'Energie. Après une première mise à jour en 2000, LEED continue

d'évoluer afin de prendre en compte les évolutions de la construction le plus fidèlement possible. La quatrième version de LEED est sortie à la fin de l'année 2013. Utilisé dans 41 pays, LEED dispose d'une popularité comparable à BREEAM.

La méthode fonctionne avec un système de score par points pour un maximum total de 110 points (100 + 10 bonus) répartis entre sept catégories, chacune dotée d'un nombre maximal de points. Le tableau 1 décrit la répartition des points entre les différentes thématiques :

Thématique	Nb. Points
Sites durables	26 pts
Efficienc e en eau	10 pts
Energie et Atmosphère	35 pts
Matériaux et Ressources	14 pts
Qualité de l'environnement intérieur	15 pts
Innovation dans le Design	6 pts bonus
Priorités régionales	4 pts bonus

Tableau 1: Répartition des points selon les différentes thématiques de LEED (Lee, 2013)

Les deux dernières catégories représentent des points bonus obtenus pour des performances apportant des bénéfices significatifs ou pour la prise en charge de thématiques prioritaires au niveau local.

En fonction de la réponse apportée aux exigences des critères, des points sont attribués pour chaque crédit. La somme de ceux-ci permet d'obtenir le score de la thématique puis, le score global. Ce dernier est comparé à l'échelle d'évaluation décrite dans le tableau 2, ci-dessous, afin de définir le grade obtenu par le bâtiment évalué:

Grade	Score
Non classé	<40 pts
Certifié	40-49 pts
Argent	50-59 pts
Or	60-79 pts
Platine	>80 pts

Tableau 2: Grade obtenu en fonction du score global de l'évaluation selon LEED (Lee, 2013)

La certification est obtenue lorsqu'un score global minimum de 40 points est obtenu. Pour l'atteindre, la réalisation d'un certain nombre d'exigences pré-requises est nécessaire.

La méthode peut s'appliquer à la fois aux projets de construction neuve et existante. Il est donc possible de réaliser une évaluation LEED à différents moments du cycle de vie d'un bâtiment. La certification se déroule en deux phases: une première évaluation est réalisée en phase de conception à partir des performances prévues. L'évaluation "as built" s'assure, ensuite, de la correspondance entre les performances prévues et effectives. Ce n'est qu'alors que sera délivrée ou non la certification. La validité de celle-ci est de 5 ans au-delà de laquelle une recertification doit être réalisée afin de conserver le statut LEED. Celle-ci nécessitera la réalisation d'un monitoring des consommations d'eau et d'énergie du bâtiment, sur une période comprise entre 3 mois et 2 ans, sans interruption supérieure à une semaine. (Lee, 2013)

En 2009, 284 million de m<sup>2</sup> avaient été certifiés par la méthode américaine. (Alyami, et al., 2012) (U.S. Green Building Council, 2009)

### 2.1.2 HQE

Née en 1996, en France, "la démarche HQE vise l'amélioration de la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants, c'est-à-dire offrir des ouvrages sains et confortables dont les impacts sur l'environnement, évalués sur l'ensemble du cycle de vie,

sont les plus maîtrisés possible". S'appuyant sur la donnée fondamentale "qu'un bâtiment doit avant tout répondre à un usage et assurer un cadre de vie adéquat à ses utilisateurs", elle se compose de trois grands ensembles complémentaires:

- Système de management environnemental de l'opération (SME) au sein duquel sont déterminés les objectifs par le maître d'ouvrage, ainsi que le rôle de chacun des acteurs
- Les 14 cibles structurant la réponse technique, architecturale et économique vis à vis des objectifs établis
- Les indicateurs de performance

La méthode HQE est caractérisée par les principes suivants:

- Le maître d'ouvrage fixe ses objectifs
- Les acteurs sont mobilisés par le SMO afin d'atteindre les objectifs fixés
- Pas de solution imposée, les choix architecturaux et techniques doivent être justifiés et adaptés en fonction du contexte particulier
- Recherche du développement d'un environnement intérieur sain et confortable et de la limitation des impacts environnementaux
- Evaluation des performances

La certification est réalisée par une tierce partie indépendante et atteste de la conformité du bâtiment réalisé avec le référentiel et la SME visés. (Association HQE, 2014)

Le référentiel proposé par l'Association HQE se compose de deux volets principaux (SMO et QEB) où le volet QEB (Qualité Environnementale des Bâtiments) est évalué à l'aide de 14 cibles réparties en 4 familles:

1. Eco-construction
  - Cible 1 : Relation du bâtiment avec son environnement immédiat
  - Cible 2 : Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction
  - Cible 3 : Chantier à faible impact environnemental
2. Eco-gestion
  - Cible 4 : Gestion de l'énergie
  - Cible 5 : Gestion de l'eau
  - Cible 6 : Gestion des déchets d'activités
  - Cible 7 : Maintenance et pérennité des performances environnementales
3. Confort
  - Cible 8 : Confort hygrothermique
  - Cible 9 : Confort acoustique
  - Cible 10 : Confort visuel
  - Cible 11 : Confort olfactif
4. Santé
  - Cible 12 : Qualité sanitaire des espaces
  - Cible 13 : Qualité sanitaire de l'air
  - Cible 14 : Qualité sanitaire de l'eau

Le maître d'ouvrage choisit et justifie ses objectifs de qualité environnementale au travers du profil de performances environnementales. Le Système de Management de l'Opération sert à fixer les objectifs du maître d'ouvrage et fonctionnera comme un outil de gestion du projet. La vérification des exigences du référentiel et des justifications relatives aux objectifs sera réalisée par un auditeur mandaté par Certivéa à trois moments différents: Programme (avant l'avant-projet sommaire), Conception (entre le dossier de consultation des entreprises et la signature des marchés), Réalisation (livraison). Afin d'évaluer le bâtiment en régime d'exploitation, un audit de suivi annuel est réalisé les 4 années suivant la livraison, tandis qu'un

audit d'admission est réalisé à la livraison. La réalisation d'une étude thermique, en complément des vérifications de respect du profil environnemental minimum et du respect des dispositions du système de management, est également prévue.

Pour quantifier et qualifier les performances des cibles, trois niveaux de performance ont été mis en place:

- Base: traduit des pratiques courantes ou réglementaires
- Performant: traduit de bonnes pratiques
- Très Performant: traduit les meilleures pratiques possibles

Pour que le profil soit valide, il est nécessaire qu'il contienne, parmi les 14 cibles, 3 cibles "très performant", 4 cibles "performant", que la cible gestion de l'énergie soit au moins "performant" et que les autres cibles soient "de base". (Certivéa, 2014)

Pour étendre le développement de HQE à l'international, une entité, Cerway, a été créée en septembre 2013 afin d'adapter les référentiels aux normes internationales et accompagner de manière plus adaptée les acteurs, hors France. Des critères génériques, spécifiques et indicateurs communs sont associés dans la méthode et doivent permettre la comparaison entre différents biens. (Cerway, 2014)

### 2.1.3 BREEAM

BREEAM est, en 1993, le premier outil de certification durable des bâtiments à avoir vu le jour. Développé par le Building Research Establishment (BRE) en Grande-Bretagne, il est l'un des outils les plus connus au monde et a notamment servi de modèle au développement de nouveaux outils spécifiques, dans d'autres pays.

Alors que la première version ne concernait que les bureaux, sa première actualisation en 1998 couvrait déjà les écoles, les bâtiments commerciaux et industriels. Il existe aujourd'hui 7 référentiels fonctionnels différents pour la construction neuve, la rénovation ou un mix des deux.

La structure hiérarchique de la méthode propose 10 thématiques, 69 crédits et 114 critères répartis conformément au tableau 3.

Thématique	Crédit
<b>Management</b>	22 crédits
<b>Santé et bien-être</b>	14 crédits
<b>Energie</b>	30 crédits
<b>Transport</b>	9 crédits
<b>Matériaux</b>	12 crédits
<b>Déchets</b>	7 crédits
<b>Utilisation de terrain et Ecologie</b>	12 crédits
<b>Pollution</b>	13 crédits
<b>Innovation</b>	10 crédits

Tableau 3: Répartition des crédits entre les thématiques de BREEAM (Lee, 2013)

Chaque crédit dispose d'un nombre de points et d'une pré-pondération prédéfinis par des experts. La performance du bâtiment évalué est comparée avec une performance de référence, ce qui permet l'attribution de points. Celle-ci se fait de manière linéaire ou booléenne, selon l'aspect étudié. Les points obtenus pour chaque crédit sont pondérés et additionnés afin d'obtenir les scores par thématique. Ces derniers, une fois pondérés et sommés, permettent d'obtenir le score total. Celui-ci représente une fraction du score

maximum possible. Le grade obtenu par le bâtiment est déterminé en comparant le score global avec l'échelle du tableau 4:

Grade	Score
Non-classé	<30%
Satisfaisant (Pass)	≥30%
Bon (Good)	≥45%
Très bon (Very Good)	≥55%
Excellent	≥70%
Remarquable (Outstanding)	≥85%

Tableau 4: Grade obtenu en fonction du score global de l'évaluation selon BREEAM (Lee, 2013)

La certification n'est obtenue qu'à condition de satisfaire les crédits qualifiés de standards minimaux dont le nombre varie selon le grade visé. Le score global minimum correspondant au grade visé doit, bien entendu, être également atteint.

Lorsqu'elle est réalisée avant la construction, l'évaluation utilise des performances prévues comme données. L'objectif est de faire en sorte que les résultats de la certification "as built", réalisée après livraison du bâtiment, soient les plus proches possibles de ceux prévus lors de la conception, idéalement les mêmes. (Lee, 2013)

La popularité de BREEAM apparaît à travers les 200 000 bâtiments certifiés et le million de bâtiments qui y sont enregistrés à travers le monde (2011). Le nombre de méthodes que cet outil a inspirées comme la GreenStar australienne ou le HK-BEAM de Hong-Kong souligne également sa popularité. Notons, enfin, que l'outil est actualisé chaque année. (Alyami, et al., 2012)

#### 2.1.4 CASBEE

Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency (CASBEE) est l'outil réalisé par le Japan Green Build Council (JaGBC), le Japan Sustainable Building Consortium (JSBC) et leurs sous-comités, depuis 2002. Après une première version ne traitant que des bureaux (2002), des référentiels adaptés aux nouvelles constructions (2003), constructions existantes (2004) et rénovation (2005) ont vu le jour. De nombreux bâtiments japonais ont été certifiés par cette méthode, car le groupe de travail a, depuis ses débuts, poursuivi l'implémentation et le développement de la méthode à d'autres fonctions. Sa mise au point visant à prendre en compte des spécificités très particulières au Japon et à l'Asie, explique sa faible utilisation ailleurs dans le monde. Il a été utilisé comme point d'appui pour le développement du Green Olympic Building Assessment System (GOBAS) des Jeux Olympiques de Pékin, en 2008.

Quatre niveaux permettent la structuration hiérarchique des critères-clés de la méthode. Au sommet, se trouvent deux thèmes majeurs: la qualité environnementale du bâtiment (Q) et l'impact environnemental du bâtiment (L<sub>R</sub>) dont les composantes sont les suivantes:

- Q:
  - Environnement intérieur
  - Qualité de service
  - Environnement extérieur sur le site
  
- L<sub>R</sub>:
  - Energie
  - Ressources et matériaux
  - Environnement hors-site

Des critères et sous-critères dépendants du type de bâtiment évalué se trouvent derrière ces 6 catégories majeures. Dans le cas de l'évaluation d'un bâtiment répondant à plusieurs fonctions, le résultat global est obtenu par pondération des résultats partiels au prorata des surfaces de plancher.

Pour évaluer chaque sous-critère, une échelle numérique non-linéaire variant de 1 à 5 est utilisée où 1 représente la condition minimale requise légalement, 3 un score moyen et 5 un niveau considérablement au-dessus des normes. Agrégeant les points, un score global est obtenu. Les pondérations utilisées par la méthode sont établies à partir de réponses d'experts à des sondages et questionnaires. Celles-ci, comprises entre 0 et 1, permettent d'obtenir, à partir des scores globaux, les scores globaux pondérés SQ et SL<sub>R</sub>. Ces derniers vont nous permettre de calculer l'évaluation métrique globale nommée Building Environmental Efficiency (BEE) qui traduit les implications environnementales:

$$BEE = \frac{Q}{L_R} = \frac{25 \times (SQ - 1)}{25 \times (5 - SL_R)}$$

Une fois calculés, Q et L<sub>R</sub>, dont des valeurs varient entre 1 et 100, sont utilisés comme valeurs d'axes d'un graphe, ce qui permet d'obtenir le BEE du bâtiment sur ce graphe et, ainsi, déterminer l'impact global du bâtiment sur l'environnement selon l'échelle décrite dans le tableau suivant :

Grade	Score
<b>Pauvre</b>	BEE<0,5
<b>Acceptablement pauvre</b>	BEE de 1,5 à 3 et Q<50
<b>Bon</b>	BEE de 1 à 1,5
<b>Très bon</b>	BEE de 1,5 à 3 et Q<50
<b>Excellent</b>	BEE>3 et Q>50

Tableau 5: Grade obtenu en fonction du score global selon CASBEE (LEE, 2013)

Une évaluation peut être réalisée à chaque étape de la conception et construction en utilisant des valeurs prévues de performance. La certification reste valide 3 ans, à compter de la fin de construction; la recertification se fait en utilisant la dernière version mise à jour de CASBEE pour bâtiments existants. (Lee, 2013)

Par rapport à d'autres méthodes réalisées exclusivement par des organismes tiers ou sur commande d'un organe politique, CASBEE est née d'un partenariat entre les Ministère du pays, de l'infrastructure et du transport japonais, des partenaires académiques et le secteur industriel japonais. (Alyami, et al., 2012) La principale particularité de la méthode est son mode de calcul de deux paramètres, placés dans un graphique et la définition du concept de BEE: le meilleur bâtiment sera celui minimisant l'impact environnemental et maximisant la qualité environnementale. (Fowler, et al., 2006)

### 2.1.5 SB-TOOL

Le Sustainable Building (SB) Tool, créé en 1996, sur base du Green Building Tool, est l'outil mis au point par l'ASBL International Initiative for Sustainable Built Environment (IISBE). Sa grande spécificité est son adaptabilité afin d'être le plus proche possible des pratiques et des buts locaux. Ainsi, selon le contexte local, la pondération des huit thématiques abordées est ajustée. Ces thématiques abordées sont les suivantes :

- Localisation du site, services disponibles et caractéristiques du site
- Régénération et développement du site, conception urbaine et infrastructure

- Consommation en énergie et en ressources
- Charge environnementale
- Qualité environnementale intérieure
- Qualité des services
- Aspects économiques et de coût
- Aspects sociaux culturels et perceptuels (Lee, 2013)

Son développement de manière internationale et son adaptabilité rendent SB-TOOL théoriquement fonctionnel partout dans le monde et pour toute destination de bâtiment. (Alyami, et al., 2012) Des comités de travail nationaux s'occupent d'ajuster les poids et références de la méthode pour refléter les priorités, technologie, tradition constructive ou encore valeurs culturelles spécifiques de leur pays ou région. Une adaptation du référentiel à la destination du bâtiment étudié doit, également être réalisée par les comités nationaux. L'évaluation des critères et sous critères se fait par l'entremise d'une échelle variant de -1 à +5, ces scores étant pondérés et agrégés pour former l'étage supérieur. (Alyami, et al., 2012)

Les principales richesses de la méthode SB-TOOL sont l'évaluation simultanée des piliers économique (30%), social (30%) et environnemental (40%) du développement durable, une étude sur la durée de vie des bâtiments (Ferreira, et al., 2013) et une évaluation complète du bâtiment basée sur la nécessité de répondre à tous les critères d'évaluation. (Fowler, et al., 2006) Son adaptabilité aux conditions locales et la destination fonctionnelle du bâtiment sont d'autres cordes à son arc.

### 2.1.6 Tableaux récapitulatifs des outils de certification durable des bâtiments

Les tableaux ci-dessous résument et comparent les différents outils de certification durable des bâtiments présentés ci-dessus sur base d'un état de l'art de la littérature publiée sur ces outils.

**A. Histoire** (Lee, 2013), (Alyami, et al., 2012), (Association HQE, 2014), (Certivéa, 2014), (Larsson, et al., 2012)

Le tableau ci-dessous résume où, quand et par qui les méthodes présentées ont été réalisées, ainsi que l'année de leur dernière mise à jour:

	BREEAM	LEED	CASBEE	HQE	SB-Tool
<b>Où</b>	UK	US	Japon	France	Canada
<b>Qui</b>	BRE	USGBG	JaGBC + ministère+ entreprises	Certivea, Association HQE	iisBE
<b>Première version</b>	1993	1998	2002	1996	1996
<b>Dernière version</b>	2014	2013	2010	2014	2012

Tableau 6: Caractéristiques historiques principales des outils présentés

**B. Cadre d'évaluation** (Lee, 2013), (Alyami, et al., 2012), (Certivéa, 2014), (Larsson, et al., 2012)

Le tableau 7 résume la structuration des méthodes présentées avec le nombre de thèmes, catégories, critères et sous-critères les composant:

	BREEAM	LEED	CASBEE	HQE	SB-Tool
<b>Thèmes</b>	10	7	2	2	10
<b>Catégories</b>	69	107	6	4	29
<b>Critères</b>	114	/	6	14	120
<b>Sous-critères</b>	/	/	50	40	/

Tableau 7 : Cadre d'évaluation des outils présentés

### C. Système d'évaluation (Lee, 2013), (Alyami, et al., 2012), (Certivéa, 2014),

Ce tableau résume le système d'évaluation utilisé selon les méthodes présentées. Sont repris l'approche pour former le score, à quoi correspond le score ainsi que les différents niveaux de score possibles:

	BREEAM	LEED	CASBEE	HQE	SB-Tool
<b>Approche</b>	Additive pondérée	Additive simple	Additive pondérée*	Additive simple**	Additive pondérée
<b>Système de score</b>	Points	Points	Points	Niveau de performance	Points
<b>Niveaux de score</b>	Non-classé	Non-certifié	Pauvre	Non-Certifié	Non-certifié
	Satisfaisant	Certifié	Raisonnement pauvre	De base	0
	Bon	Argent	Bon	Performant	1-4
	Très bon	Or	Très bon	Très performant	5
	Excellent	Platine	Excellent		
	Exceptionnel				

Tableau 8: Mode de fonctionnement des outils présentés

\* Dans CASBEE, la pondération a lieu après l'addition des différents critères. Est ensuite défini le concept de Building Environmental Efficiency (BEE)

\*\* La procédure d'addition a lieu au sein des 14 thématiques évaluées, il n'y a pas de formation d'un score global

### D. Flexibilité internationale (Lee, 2013), (Alyami, et al., 2012), (Fekry, et al., 2013), (Association HQE, 2014), (Cerway, 2014), (Larsson, et al., 2012)

Le tableau 9 résume la flexibilité internationale des méthodes présentées en reprenant leur pays d'origine, leur cadre légal de référence et la qualification requise de l'évaluateur:

	BREEAM	LEED	CASBEE	HQE	SB-Tool
<b>Pays origine</b>	UK	USA	Japon	France	Canada
<b>Référence Législative</b>	UK + EU **	USA **	Japon	France*	Adaptable
<b>Qualification évaluateur</b>	Licence BRE	Licence USBGC	Architecte + Licence JaGBC	Certivéa	Membre iisBE

Tableau 9 : Flexibilité Internationale des outils présentés

\* La législation française a servi de base mais le développement de Cerway vise à s'étendre à d'autres cadres législatifs.

\*\* Les extensions pour le Moyen-Orient ou le Qatar n'ont pas été pris en compte

F. Types de bâtiments évalués (Lee, 2013), (Alyami, et al., 2012), (Fekry, et al., 2013), (Association HQE, 2014), (Cerway, 2014), (Larsson, et al., 2012)

Le tableau ci-dessous résume les types de bâtiments évaluables par les méthodes présentées:

BREEAM *	LEED	CASBEE	HQE	SB-Tool
<b>Tribunaux</b>	Construction neuve	Construction neuve	Maisons individuelles	Tous types
<b>Centres de données</b>	Centre de données	Bâtiments existants	Résidentiel	
<b>Enseignement</b>	Ecoles	Rénovation	Tertiaire neuf	
<b>Soins de santé</b>	Soins de santé	Résidentiel	Tertiaire rénovation	
<b>Bureaux</b>	Entrepôts et centres logistiques		Sportif neuf	
<b>Commercial</b>	Commercial		Sportif rénovation	
<b>Prisons</b>	Noyau et enveloppe			
<b>Multi-residentiel</b>	Hospitalité			
<b>Autres</b>				

Tableau 10 : Types de bâtiments évalués par les outils présentés

\* Sont présentés les référentiels valables en Angleterre

## 2.2 Outils d'évaluation à l'échelle du quartier

Lorsqu'on pense à la création d'une véritable communauté durable, il apparaît que le quartier peut être considéré comme une bonne échelle d'analyse. Ainsi des outils de certification durable des quartiers, nommés Neighborhood Sustainable Assessment (NSA) Tools, ont vu le jour afin de fournir une évaluation de la performance d'un quartier face à des critères et thématiques liés au développement durable. Déterminer la position du quartier et son degré de réussite vis à vis de ces questions est l'objectif visé par ces outils, dont le développement est assez récent.

Les outils NSA peuvent être scindés en deux catégories distinctes:

- Outils d'évaluation tiers: ce sont des spin-offs d'outils de certification des bâtiments (ex. LEED-ND, BREEAM Communities, CASBEE-UD)
- Outils intégrés de planification: outils intégrant plans et initiatives à l'échelle du quartier (ex. HQE2R)

Comme pour l'étude des outils de certification à l'échelle du bâtiment, l'ambition n'est pas de réaliser un relevé complet mais plutôt de cerner les principales caractéristiques, surtout par rapport aux outils à l'échelle du bâtiment. Ceci explique qu'un nombre limité d'outils soit abordé.

### **2.2.1 BREEAM Communities**

Sorti en 2009, cet outil doit permettre aux concepteurs de considérer la multiplicité de paramètres dont il faut tenir compte lors des premières étapes du développement d'un projet. La mesure et la certification de la soutenabilité des projets sont, ensuite, réalisées dans un second temps.

Les thèmes intervenant dans la méthode sont le climat et l'énergie, les ressources, la forme urbaine, le transport, la communauté, l'écologie et biodiversité, les activités économiques et les bâtiments.

### **2.2.2 LEED-ND**

Depuis 2007, une version de LEED pour le développement des quartiers est disponible. Par rapport à celle traitant des bâtiments, l'accent est davantage porté sur le choix du site, la conception et la construction d'éléments mettant en relation bâtiments et infrastructures dans le quartier. Le lien de celui-ci avec le paysage et ses contextes locaux et régionaux est, également pris en compte. Infrastructures et bâtiments verts, innovation et conception sont d'autres thèmes abordés par la méthode.

### **2.2.3 CASBEE-UD**

Similairement à la version bâtiment de CASBEE, CASBEE-UD, développé en 2004, se réfère à Q<sub>3</sub> (environnement extérieur sur le site) et L<sub>R3</sub> (environnement hors site). Cet outil vise l'amélioration de la soutenabilité dans les plans urbains et exclut l'évaluation de l'intérieur des bâtiments; il est donc complémentaire à la version bâtiment de CASBEE.

Pour pouvoir également évaluer les bâtiments, on peut choisir d'utiliser un autre outil: CASBEE for Urban Area + Buildings. Les thèmes qui y sont développés sont la qualité naturelle et environnementale dans le développement urbain, les services pour la zone aménagée, la contribution à la communauté locale (histoire, culture, paysage et revitalisation), l'impact environnemental sur les microclimats, les façades et paysage, infrastructures sociales et le management de l'environnement local.

### **2.2.4 HQE2R**

Débuté en 2001 et achevé en 2004, sous la guidance du CSTB, ce projet de recherche et de développement européen porte sur les questions de la rénovation de l'environnement bâti et de la régénération des quartiers urbains. Pour prendre des décisions et évaluer différents scénarii, trois outils sont mis à disposition:

- modèle INDI: évaluation à long terme l'impact des scénarii sur le quartier
- modèle ENVI: mesure de l'impact environnemental pour le quartier et le bâtiment
- modèle ASCOT: évaluation environnementale et économique d'une construction ou rénovation de bâtiment.

Parmi les thèmes abordés, se retrouvent les ressources et l'héritage, l'environnement local, la diversité, l'intégration et la vie sociale. (Sharifi A., 2013)

### **2.2.5 Référentiel Quartiers Durables**

Commandé par le Ministre de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de la Mobilité de la Région Wallonne au Lepur, ULg, ce référentiel s'inscrit au sein d'une démarche de soutien et développement d'opérations innovantes de quartiers durables. Il est la réponse au besoin d'offrir des outils et critères objectifs et simples aux acteurs de l'aménagement du territoire qui soient rapides à utiliser, concrets et puissent servir d'aide à la conception et à

l'évaluation de quartiers durables. Ils sont, de plus, utilisables quelle que soit la procédure adoptée (RUE, PCA, ...) et à toutes les étapes de développement du projet. Les visées du référentiel sont multiples: servir de catalyseur aux opérations innovantes de quartiers durables en Wallonie, encourager un urbanisme suivant les principes du développement durable, opérationnaliser le concept de développement durable et en dégager les critères minimaux à respecter pour en faire partie, être une véritable aide à la conception, à la décision et à l'évaluation de ce type de projet.

A disposition depuis fin 2013, le référentiel est composé de 25 critères distribués dans 5 thématiques:

- Potentialités du site et du projet (5)
- Ressources (5)
- Milieux naturels (4)
- Aménagements (6)
- Mixité et participation (5)

L'attention est plus portée sur l'urbanisme que sur le bâtiment individuel. La localisation du projet et ses potentialités en termes de mobilité et de mixité fonctionnelle y ont une importance particulière. Le référentiel se veut composé de critères simples, concrets et objectivables dont les valeurs-seuils diffèrent selon la localisation en pôle ou non du projet. (Teller, et al.)

Le test de la grille et la calibration des seuils minimaux et des critères s'est faite l'évaluation de douze quartiers. Afin d'augmenter la clarté des critères et leur compréhensibilité, des exemples, illustrations de projets réalisés, photos et schémas accompagnent la grille. Il est à noter qu'une concertation avec les autorités locales est recommandée afin de réaliser d'éventuels ajustements des valeurs.

Un quartier sera considéré comme durable s'il respecte au moins 20 des 25 critères, au moins deux des trois premiers critères (Desserte en train, Desserte en bus, tram et métro; Mixité fonctionnelle) et les cinq critères primordiaux (Densité; Mitoyenneté; Espaces Verts; Liaisons du quartier; Mixité des logements). (Teller, et al., 2013)

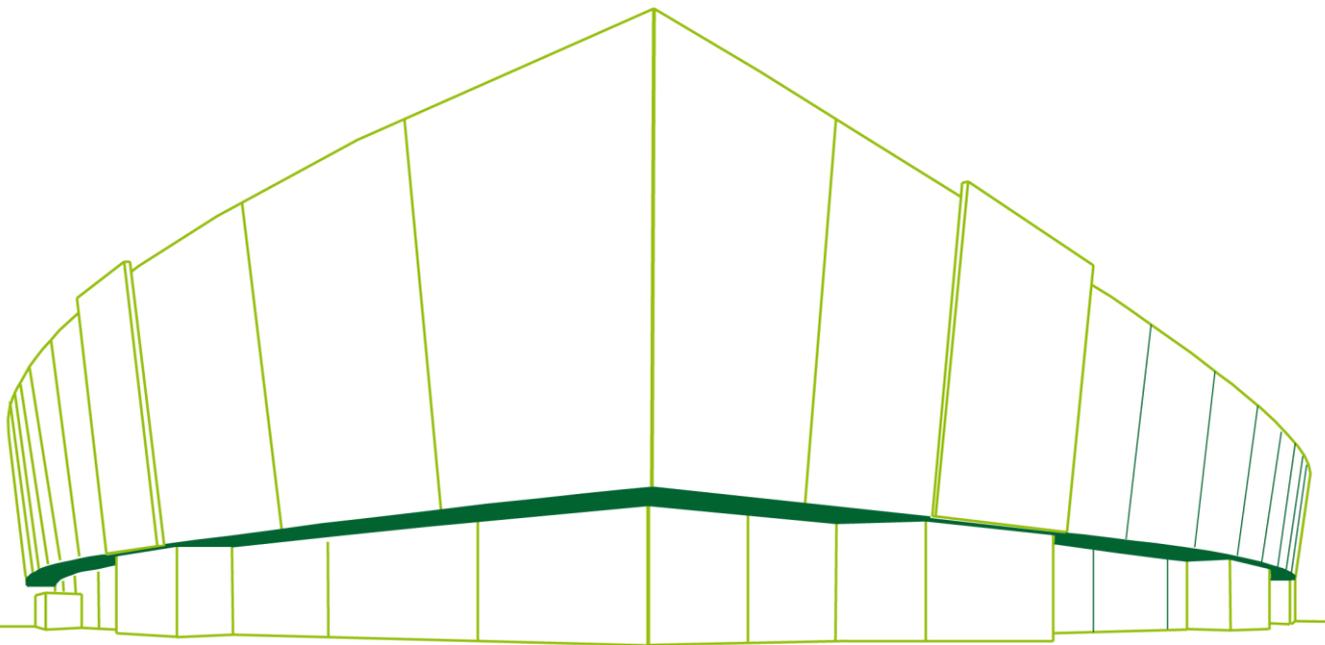
### **2.2.6 Récapitulatif**

Contrairement à la plupart des outils d'évaluation de bâtiments, ceux à l'échelle du quartier tiennent compte de l'opportunité de bénéficier de la participation citoyenne. Celle-ci peut intervenir de différentes manières: lors du choix des critères d'évaluation ou de leur pondération, pour la collecte de données, pour des feedbacks sur leurs besoins, etc. Ce genre de démarche doit permettre de favoriser l'investissement citoyen et améliorer la compréhension mutuelle entre les intervenants.

Le passage de l'échelle du bâtiment à celle du quartier pour la certification durable doit permettre d'aller plus loin dans l'évaluation en prenant également en compte les éléments connectant les bâtiments entre eux. Ces outils sont particulièrement adaptés pour l'évaluation d'un projet de (re)déploiement d'un quartier. Leur utilisation pour des bâtiments ayant un rayonnement suffisamment large est, également, pertinente. A cet égard, il peut être, tout particulièrement, pensé aux grandes stades. Dans le cas de la Ghelamco Arena, l'utilisation de ce genre d'outil n'était pas pertinente. En effet, l'ambition première était de construire un stade, pas un morceau de ville. De plus, le but de ce travail est de s'intéresser à l'évaluation du stade à l'échelle du bâtiment et non à celle du quartier. Enfin, l'évaluation de la Ghelamco Arena selon un outil NSA aurait requis l'utilisation de données peu accessibles ou inexistantes.

Si le développement de ces outils est positif, il ne doit pas, toutefois, signifier la fin des outils de certification durable des bâtiments. En effet, toutes les interventions ne se font pas à l'échelle du quartier. Il est donc nécessaire qu'elles puissent utiliser des outils de certification performants.

# Chapitre 3 : Application sur la Ghelamco Arena



Après s'être intéressé aux outils de certification durable, de manière large, le chapitre suivant va se recentrer sur les stades.

Dans un premier temps, un inventaire des mesures prises, à ce jour, au sein des stades pour promouvoir les principes du développement durable est réalisé.

Ensuite, le cas d'étude, la Ghelamco Arena, est présenté en évoquant ses principales caractéristiques.

Enfin, la troisième partie de ce chapitre décrit, plus en détail, le mode de fonctionnement pratique de chaque outil utilisé et les résultats de chacune des évaluations quantitatives. La critique et la comparaison des résultats et des méthodes sera la base sur laquelle pourra rebondir le chapitre 4.

## 1. Le développement durable dans les stades

La section suivante s'intéresse à une série de mesures prises afin de promouvoir au sein des stades les principes du développement durable, jusqu'à nos jours. L'ambition n'est pas, ici, de réaliser un inventaire exhaustif ou un état de l'art complet mais de comprendre quel genre de mesures ont déjà été prises. Cette connaissance doit permettre de replacer dans leur contexte les résultats obtenus lors des évaluations du stade et servir d'acquis lorsque le chapitre 4 jettera des bases pour l'élaboration future d'un référentiel spécifique aux stades.

### 1.1 Démarche Healthy Stadia

La démarche Healthy Stadia vise à promouvoir le concept de stades favorables à la santé et au bien-être humains. "Ce sont les stades veillant à promouvoir la santé des visiteurs, joueurs, employés et de la communauté environnante. Les endroits où les gens peuvent se rendre pour vivre une expérience de santé positive en faisant ou regardant du sport". (Healthy stadia, 2014)

Dans cet esprit, les responsables et clubs sportifs occupant les stades cherchent à influencer positivement le comportement et la santé des millions de personnes s'y rendant chaque semaine. Cultiver cette approche constitue, de plus, une opportunité pour attirer d'autres partenaires commerciaux. A l'échelle du plan de rentabilité, ces nouvelles sources de financement ne peuvent qu'être bénéfiques.

Le réseau European Healthy Stadia Network a vu le jour afin de mettre en relation les responsables de stades, partout en Europe. Il doit leur permettre des échanges d'expérience concernant les meilleures pratiques relatives à la santé publique en lien avec les stades et apporter une expertise et une aide à la communication. Le réseau a, durant 30 mois, contribué à mettre en place un cadre de travail permettant de guider responsables de stades et services locaux dans leur démarche de promotion de la santé. Ce projet pilote, financé par l'European Union's Public Health Programme, se déroule à travers 8 pays européens. Trois thématiques d'initiatives ont été définies: style de vie, social et environnemental. Parmi les sujets abordés, se trouvent:

- L'alimentation et la nutrition
- L'activité physique
- Les environnements non-fumeurs
- La consommation abusive d'alcool et autres substances
- La santé mentale
- La régénération et le renouvellement du voisinage
- L'éducation
- Le recyclage
- Les transports soutenables

Pour parvenir à atteindre des objectifs de qualité durables dans le temps, les clubs sont invités à se mettre autour de la table avec les autorités et fournisseurs de services locaux afin de développer des partenariats. Contribuer au développement d'autres stades, au travers du partage de propre expérience, constitue l'étape suivante de la démarche. Rejoindre ce réseau, coordonné par l'œuvre de charité Heart of Mersey, est gratuit.

Des groupes de travail nationaux se réunissent afin de s'accorder sur les politiques à suivre, les activités à organiser et les nouvelles initiatives à organiser. A titre d'exemple, le réseau national belge a notamment contribué à mettre sur pied des dispositifs audio afin de faire vivre les matches aux personnes malvoyantes ou à améliorer nettement l'accessibilité des stades aux personnes présentant un handicap.

Aujourd'hui, le réseau peut compter sur le soutien d'importants organes gouvernants nationaux et internationaux, dont l'UEFA, et compte plus de 150 stades membres. L'un de ses principaux objectifs consiste, maintenant, à élargir les limites géographiques du réseau et à rassembler de nouveaux membres. (Healthy stadia, 2014)

## 1.2 Démarche durable des Jeux Olympiques

En 1994, le CIO (Comité International Olympique) intégrait dans la Charte Olympique les dimensions environnementales et du développement durable. En 1995, la Commission sport et environnement qui intègre l'environnement comme troisième dimension de l'Olympisme, aux côtés du sport et de la culture, est créée. La Commission conseille sur les politiques à adopter par le CIO concernant l'environnement et le soutien au développement durable. Elle veille aussi à ce que les Jeux Olympiques soient organisés en conséquence. (Site officiel du mouvement olympique, 2014)

En 1999, le Mouvement Olympique établit son propre Agenda 21 donnant suite aux décisions prises lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro, en 1992. En collaboration avec 35 Fédérations internationales de sport olympiques, un guide est réalisé afin d'établir des mesures pratiques fondées sur les objectifs théoriques adoptables et tenant compte des variations de contexte géographique, socioéconomique, culturelles et sportives.

Après les deux Olympiades pionnières de Lillehammer 1994 (Norvège) et Sydney 2000 (Australie), la préoccupation du développement durable doit être un critère pour la désignation des villes hôtes. Celles-ci sont suivies par un spécialiste durant tous les préparatifs. Un outil d'étude intégrant dimensions environnementale, économique et sociale a, depuis, vu le jour et est utilisé. (Comité International Olympique, 2014) Sydney et Lillehammer ont montré la voie à suivre par l'utilisation de matériaux locaux ou recyclables, la préservation de l'environnement local ou le recours aux stratégies bioclimatiques de ventilation et lumière naturelle. Pour Salt Lake City en 2002, 100 000 arbres ont été plantés et le chauffage des douches et salles de bain du site olympique a été intégralement produit à partir d'énergie récupérée de l'unité de réfrigération installée dans l'arène de curling. Pour Londres en 2012, la production de 20% de la consommation énergétique à partir de sources renouvelables était impossible. Il a été décidé de réduire de 50% les émissions de CO<sub>2</sub> en agissant sur le système de transport en commun et le choix des matériaux structurels. L'attention sur les déchets a mené au choix de matériaux recyclables ou de réutilisation (par exemple : utilisation de 98% des matériaux générés lors des démolitions effectuées et facilité de désassemblage des structures temporaires retirées après les Jeux). Le CIO insiste sur la notion d'héritage et de bénéfices à long terme pour la communauté. Il exige la réalisation d'un plan sur 30 ans. Ainsi, la transformation de la zone d'implantation du village olympique, ancienne zone industrielle, en un des plus grands parcs citadins d'Europe doit permettre le développement de la biodiversité et le bien être humain. (CIO, 2012)

Certaines mesures adoptées lors des Jeux Olympiques, comme le choix des matériaux de construction et leur mise en œuvre ou l'attention portée sur les déchets et le transport des spectateurs peuvent inspirer la réflexion sur les stades. La différence d'échelle existante entre stade olympique et stade local est telle que de nombreuses mesures mises en œuvre dans les stades olympiques ne peuvent pas être transposées à tous les stades locaux. Certaines questions, pertinentes pour les JO, n'ont pas le même intérêt dans le cas d'une opération plus petite., comme la réadaptation fonctionnelle des infrastructures après les Jeux. Cependant, les opportunités et réflexions proposées lors de l'organisation de Jeux Olympiques sont semblables à celles d'une Coupe du Monde.

### 1.3 Adaptation de BREEAM pour Londres 2012

La soutenabilité des infrastructures sportives et du parc olympique à l'occasion des Jeux Olympique de Londres 2012 constituait une priorité pour son Comité d'organisation. A cet égard la collaboration avec un certificateur BREEAM a constitué une aide à la prise de décision, à l'utilisation de bonnes pratiques et à la recherche de performances élevées. Les JO ont des exigences très contraignantes, comme un éclairage de 2 000 Lux pour la télévision ou une température de piste de 28°C constante dans le vélodrome. Ces exigences ne seront plus aussi contraignantes après les Jeux. L'objectif fixé a donc été d'atteindre l'excellence sur l'état d'utilisation à long terme des infrastructures et non pas sur leur seule utilisation durant les Jeux. Ainsi, afin de répondre à la demande de réduction de 17 500 à 2 500 du nombre de places du centre aquatique, après les Jeux, des gradins temporaires ont été installés. Ceux-ci sont construits en charpentes métalliques boulonnées permettant leur démontage aisé et la réutilisation de l'acier qui les compose.

L'évaluateur BREEAM a également pu transmettre son expérience et aider élaborer et choisir les différents scénarii pour les JO. Par exemple, pour le choix de la structure de la toiture du vélodrome dont les coûts devaient être réduits. Profiter de l'expertise des entreprises sous-traitantes pour le choix et la mise en place des matériaux, optimiser les transferts d'information et garder une vue orientée résultats font partie de la valeur ajoutée apportée par l'évaluateur. (Paterson, 2014)

Il est à noter que certaines infrastructures sportives ont déjà été certifiées par les méthodes de certification LEED et BREEAM, comme le revendique fièrement l'agence Populous. Toutefois, l'évaluation ne concerne que certaines parties du stade pour lesquelles des référentiels génériques du style "Construction neuve" peuvent être utilisés. (Populous, 2004) Bien, une évaluation liée à l'objet "stade" est réalisée mais celle-ci ne porte que sur certains espaces intérieurs. Ces résultats ne paraissent, donc, pas très représentatifs du stade.

### 1.4 Green Goals de la FIFA et de l'UEFA

Alors que le développement durable fait partie des préoccupations olympiques depuis 1994, il faut attendre l'initiative Greengoal lancée spontanément par le Comité d'organisation de la Coupe du Monde 2006, en Allemagne, pour voir sa transposition au monde du football. Inspirée de ce qui a été fait aux JO, la démarche cherche à marier sport et environnement.

Ainsi, 13 des 16 objectifs fixés traitant, notamment, d'économies d'eau, de réduction des déchets, d'efficacité énergétique ou de neutralité économique, ont été atteints grâce à des partenariats avec différents instituts écologiques, ministères et entreprises. Parmi les principales mesures, le système KombiTicket est à souligner. Il permet aux spectateurs d'emprunter gratuitement les transports en commun le jour du match. La réduction drastique des emballages, l'utilisation de gobelets recyclables, l'attention sur la gestion de l'eau (pavements perméables et réutilisation d'eau de pluie) ou l'installation de panneaux photovoltaïques pour une surface totale de 20 000m<sup>2</sup> sont d'autres exemples de mesures adoptées.

La politique suivie à cette occasion visait le développement d'initiatives dont les bénéfices se feraient ressentir à long terme, au-delà de la Coupe du Monde. Le surcoût généré par certaines initiatives "Green Goals" par rapport aux pratiques normales étant déjà compensé grâce aux économies réalisées après deux ans d'utilisation. (GreenGoal, 2006) Depuis lors, chaque manifestation organisée par la FIFA ou l'UEFA est tenue de développer des initiatives similaires en veillant à profiter des connaissances et résultats collectés précédemment et à encore améliorer ces performances. En 2008, l'Autriche et la Suisse, dans leurs 12 champs thématiques ont également intégré des thématique plus "locales" comme la promotion des produits régionaux, du tourisme, l'encadrement des supporters et l'accès libre aux personnes handicapées ou la prévention et protection de la jeunesse.(Euro2008)

## 2. Présentation de la Ghelamco Arena

La Ghelamco Arena a été inaugurée en grandes pompes par le bourgmestre de Gand, le 17 juillet 2013. Imaginée par le bureau Bontinck Architecture and Engineering CBVA, ce stade multifonctionnel est le fruit d'une dizaine d'années de travail intense, puisque les premières esquisses datent de 2002. C'est la société responsable de la maîtrise d'œuvre, qui a également participé à une partie de son financement, qui lui a donné sa dénomination. (Interview de Madame Pollet, 2013)

### 2.1 Histoire et localisation

Freiné dans ses envies d'expansion par la capacité du stade Jules Otten, limité à 12 900 places, le club de football de La Gantoise (KAA Gent) aborde le nouveau millénaire avec un problème d'infrastructures. La localisation de l'enceinte au cœur d'un quartier résidentiel et les difficultés à l'adapter aux normes de l'UEFA conduisent à la décision de construire un nouveau stade.

Cinq implantations ont été envisagées mais, rapidement, le site de l'ancien marché au gros (Groothandelsmarkt) se démarque. Situé en zone industrielle, sa très bonne accessibilité, son prix d'achat symbolique et de meilleures perspectives d'extension que ses concurrents lui valent d'être choisi.

Situé à 5 km au sud du centre de Gand, le stade se trouve à moins de 500m du nœud autoroutier composé de l'E40 (autoroute entre Bruxelles et Ostende), l'E17 (autoroute entre Anvers et Courtrai) et la R4 (le ring de Gand). Cette proximité avec les principales autoroutes traversant la Flandre est d'ailleurs utilisée à des fins publicitaires par le slogan "Un stade au cœur de la Flandre". (Interview de Monsieur Pannier, 2014) L'E17 constitue avec l'Escaut au sud et la Muinckschelde à l'est, les frontières du zoning industriel dans lequel s'insère le stade.

Les principaux éléments caractéristiques de son voisinage sont illustrés à la figure 5. Il s'agit, outre d'entreprises, du complexe Dakar (200m à l'est), du Liedermeeerspark (700m à l'est), de la Haute Ecole Vésale et de l'hôpital universitaire à 600m au nord-ouest. Les premiers logements se trouvent à 500m à l'ouest, de l'autre côté de la E17. Le complexe Dakar est un espace contenant deux tours de bureaux de dix étages chacune, une grande surface de vente d'articles de bricolage et 35000m<sup>2</sup> destinés à du parking. (MER, 2007)

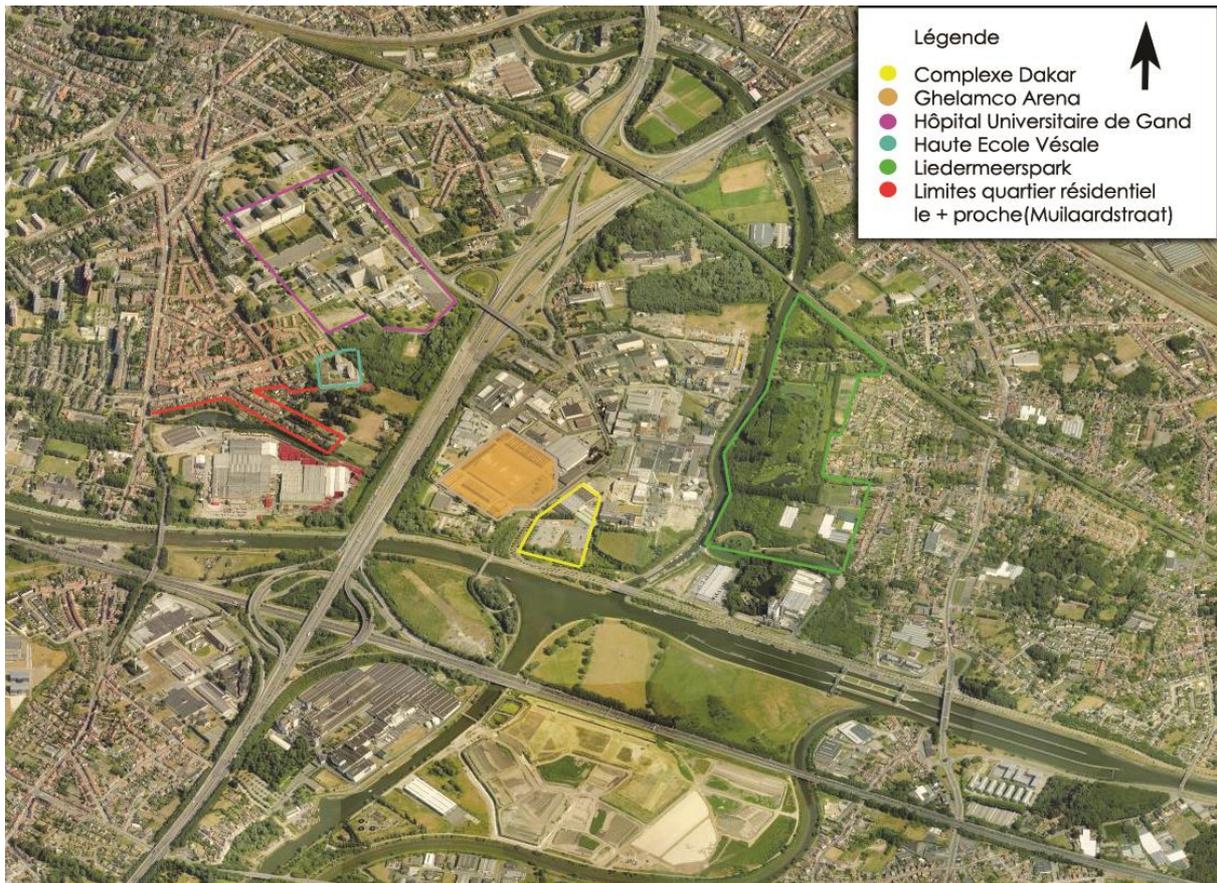


Figure 5 : Localisation du stade (source photographique : [www.bing.com/maps/](http://www.bing.com/maps/); mise en évidence : Sébastien Ghiezen)

## 2.2 Accessibilité

L'accessibilité au stade a fait l'objet de la réflexion commune entre auteurs de projet, autorités communales et sociétés de transport en commun.

Une étude commandée à Tritel, en 2003, a montré que les réseaux automobiles existants étaient capables de supporter la surcharge engendrée par le stade, moyennant l'un ou l'autre aménagement ponctuel de la voirie. D'après cette même étude, les répercussions négatives de cette surcharge étaient limitées en raison, notamment, de la localisation en zone industrielle.

Six parkings peuvent être utilisés dans le voisinage direct du stade pour un total de 1812 places. Il est intéressant de noter que la plupart de celles-ci sont utilisées, en dehors des périodes de match, par les autres activités du stade (bureaux, supermarché, etc.) ou parce qu'il s'agit de parkings appartenant au voisinage (complexe Dakar, hôtel voisin, etc.). Par convention avec des entreprises gantoises, une capacité de parking pour 10 500 supporters supplémentaires est prévue via 7 parkings-satellites. Chacun d'entre eux est relié au stade par un service de navettes et a fait l'objet d'une étude d'accessibilité. La gestion des flux de parking pour P1, P5 et P6 est illustrée par la figure 6. La figure 7 montre les réseaux primaire et secondaire de pistes cyclables dans le voisinage du stade.

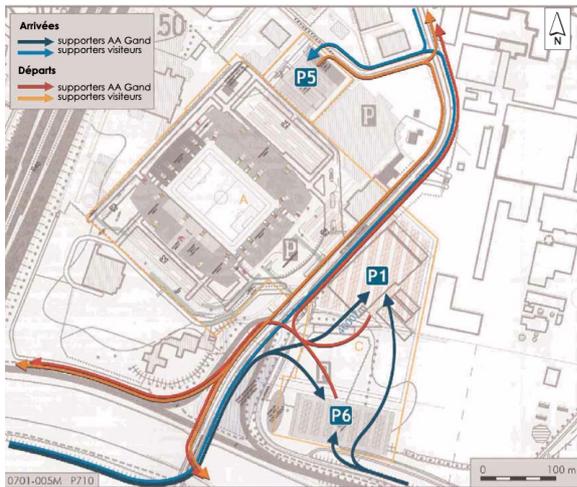


Figure 6

Figure 6: Accessibilité aux parkings (MER, 2007) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen

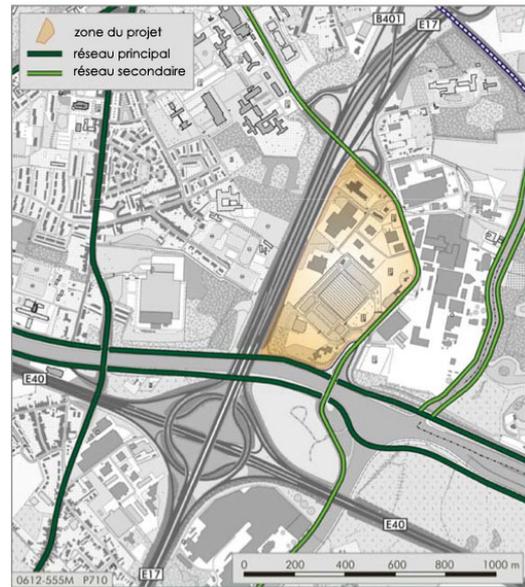


Figure 7

Figure 7: Réseaux primaire et secondaire de pistes cyclables dans le voisinage (MER, 2007) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen

La réalisation d'emplacements de stationnement sécurisés et abrités a été prévue pour permettre à 2 000 cyclistes de se rendre au stade à vélo. Le réseau de pistes cyclables existant, la protection de celui-ci vis à vis des automobilistes et la mise à disposition d'une application de calcul de l'itinéraire cycliste idéal sur le site internet du club sont censés encourager les supporters à utiliser ce moyen de locomotion. Enfin, les abonnés bénéficient d'un tarif préférentiel sur la location de vélos de la plateforme Blue-Bike.

Deux lignes de bus, le 65 et le 67, desservent directement le stade selon une fréquence de 6 bus par heure, chacune. La ligne de tram 5 s'arrête de l'autre côté de la E17, à 900m (source gmap-pedometer.com), selon une fréquence de 8 trams par heure. Les jours de matches, les services de bus sont prolongés jusqu'à 01h et un service de navette spécial est prévu pour relier le centre de Gand et le stade. (MER, 2007)

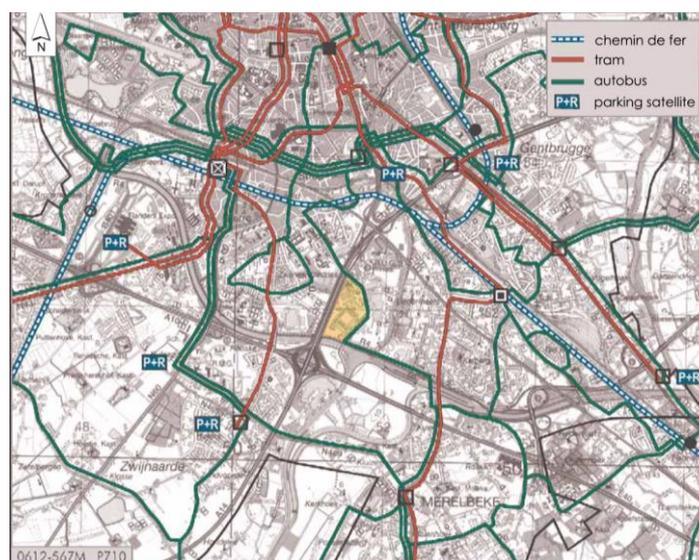


Figure 8 : Accessibilité par les transports en commun (MER, 2007) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen

## 2.3 Multifonctionnalité

Dès les premières esquisses, la volonté était de réaliser un stade multifonctionnel pour deux raisons. D'une part, l'ambition était que ce bâtiment, appelé à devenir une vitrine de la ville de Gand, ait effectivement une vie en dehors des rencontres footballistiques, que les espaces de parking trouvent une utilité au quotidien et que puissent être mis à profit les effets positifs de la mise en commun. Ensuite, la multifonctionnalité du stade constituait un moyen d'attirer des investisseurs et des sources de financement autres que le club et les partenaires publics. Cette question du financement du stade aura, malgré cela, constitué un problème sérieux puisqu'il aura été la raison principale de la dizaine d'années nécessaire pour mener le projet de stade à terme.

Les deux principaux challenges auxquels les architectes ont dû faire face au moment d'aborder la conception du stade sous l'angle de la multifonctionnalité étaient la gestion des hauteurs (la pente des gradins et la hauteur disponible sous ceux-ci) et l'accès à la lumière naturelle. L'emprise au sol de la Ghelamco Arena est d'un peu plus de 31 000 m<sup>2</sup> à laquelle il faut soustraire les 9 500m<sup>2</sup> réservés à la pelouse, aux bancs de touche et à la zone d'évacuation accessible aux camions.

La rehausse d'1m30 de l'aire de jeu a permis de dégager des espaces utilisables (HSP 2.4m) sous les gradins, au niveau 0. De cette manière, les lignes de vue depuis les gradins restent confortables et la pente de ceux-ci respecte les normes. Des espaces ne nécessitant pas de lumière naturelle comme des réserves ou des vestiaires y sont positionnés. Pour les mêmes raisons, des locaux techniques, de réserve et des sanitaires sont placés sous les gradins des niveaux 1 et 2. Ainsi, les espaces exigeant l'accès à la lumière naturelle au sein de ces niveaux sont rejetés vers la façade extérieure du stade qui est intégralement vitrée. La figure 9 illustre ces principes au travers d'une demi-coupe transversale.

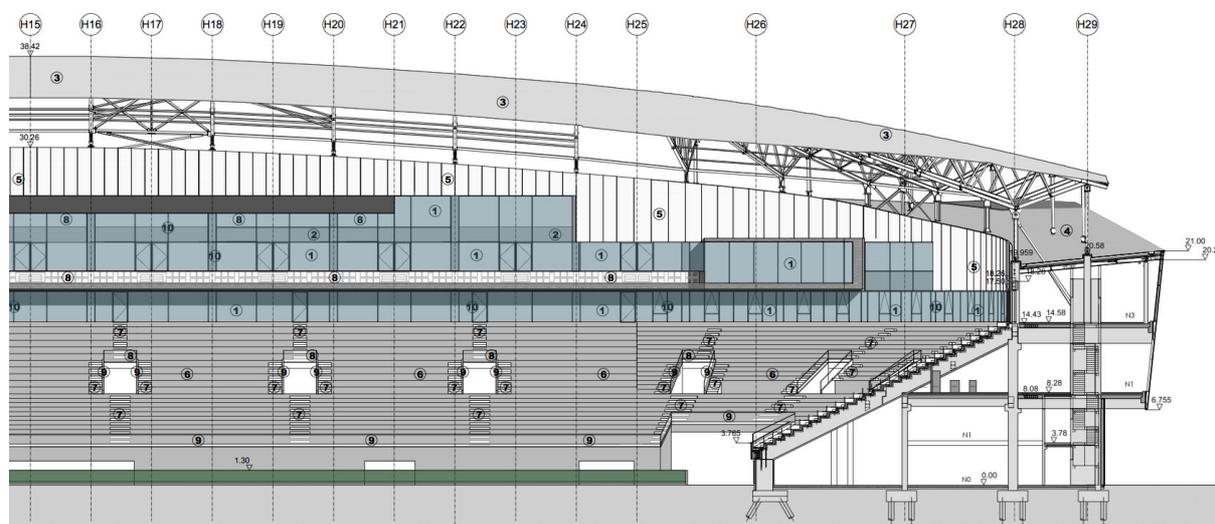


Figure 9 : Coupe longitudinale du stade (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; Hachures : Sébastien Ghiezen

A partir du niveau 3, l'ensemble des gradins est situé en contre-bas. L'accès à la lumière naturelle peut donc, se faire par les façades intérieures et extérieures du stade, ce qui offre une grande flexibilité dans la distribution des espaces internes. Ainsi, comme le représente la figure 10, le niveau 4 de la tribune d'honneur est partitionné de manière telle que les skyboxes aient un accès à la lumière naturelle par la façade intérieure, tandis que les bureaux du club accèdent à la lumière naturelle par la façade extérieure. Seul le couloir distributif n'est pas éclairé naturellement mais ses besoins de lumière naturelle sont moins critiques que ceux des espaces cités précédemment.



Figure 10 : **Partitionnement interne et accès à la lumière naturelle des bureaux et skyboxes du niveau 4. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; Hachures : Sébastien Ghiezen**

Enfin, le niveau 5 ne contient que quelques bureaux, mais surtout des espaces extérieurs à destination de la presse et des locaux techniques.

Le porte-à-faux de 5m réalisé par rapport aux niveaux 1 et 2 des étages supérieurs permet de créer un espace de circulation abrité de la pluie et ombragé en été.

Les principales caractéristiques footballistiques du stade sont les suivantes :

- 18 250 places ordinaires
- 1 160 business-seats
- 264 skybox seats
- 264 sièges dans les offices-boxes
- 84 places PMR
- 148 sièges " presse "

La distribution fonctionnelle prévue par les plans architecturaux est celle décrite sur les figures 11 à 16 selon le code couleur ci-dessous :

- |   |   |
|---|---|
| ● Surface commerciale: 5 530 m <sup>2</sup>         | ● Skyboxes - office boxes: 1 500 m <sup>2</sup> |
| ● Bureaux: 16 700 m <sup>2</sup>                    | ● Tribune de presse: 300 m <sup>2</sup>         |
| ● Fonctions liées au football: 7 500 m <sup>2</sup> | ● Cuisines - Sanitaires - Remises               |
| ● Fitness: 4 000 m <sup>2</sup>                     | ● Locaux techniques                             |
| ● Restauration: 3 000 m <sup>2</sup>                | ● Circulations verticales                       |
| ● Promenade du supporter: 10 000 m <sup>2</sup>     |   |

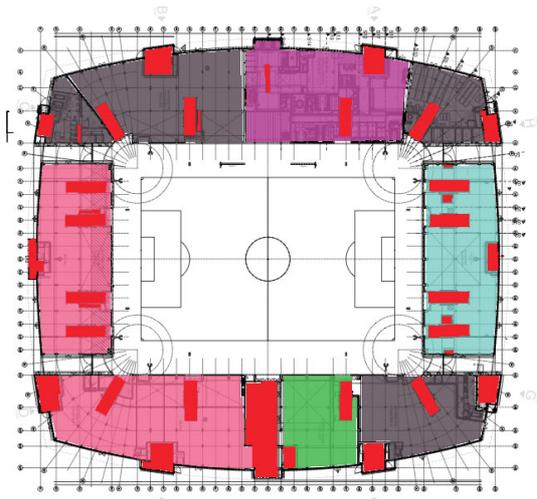


Figure 11: Distribution fonctionnelle du niveau 0 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014), mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen

**Niveau 0 (0.00):** La distribution fonctionnelle du niveau de plein pied est composée en majorité d'espaces de vente (5 330 m<sup>2</sup>) dont le supermarché. Sont également prévus 1000 m<sup>2</sup> de bureaux et une salle de fitness (2430 m<sup>2</sup>). Enfin, les 2 250 m<sup>2</sup> de la "zone football" intègrent les vestiaires, la salle de presse et des espaces d'accueil pour les officiels. Les nombreux espaces techniques de ce niveau remplissent à la fois une fonction technique et logistique (5 840 m<sup>2</sup>). C'est pour cette raison qu'ils se trouvent sur les coins, où le déchargement des camions est prévu. Enfin, il n'est pas surprenant de trouver un nombre important de circulations verticales, celles-ci étant destinées aux gradins et à la distribution intérieure du stade

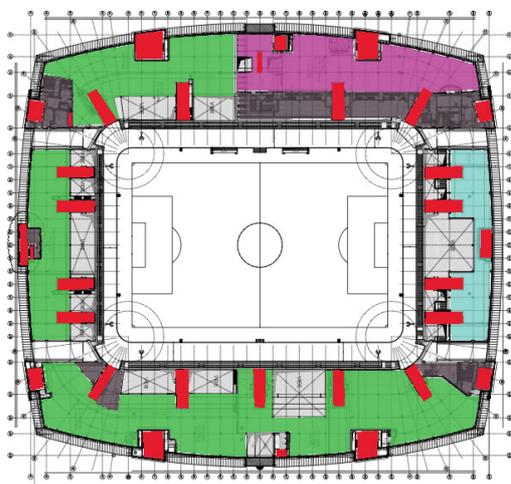


Figure 12: Distribution fonctionnelle du niveau 1 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen

**Niveau 1 (+ 3.78m):** Ce niveau contient principalement des bureaux (7 800 m<sup>2</sup>). Il inclut un second niveau de 1 500 m<sup>2</sup> pour la salle de fitness et 2 000 m<sup>2</sup> de lounge, composant les espaces de la "zone football". La gestion du niveau sous gradin, en lien avec le niveau 0, se fait soit par utilisation de mezzanines, soit en y disposant des espaces techniques ou sanitaires. Les mezzanines mises à disposition peuvent être fermées si les bureaux au-dessus des espaces de vente ne sont pas loués par la même entité, puisque la hauteur minimale sous gradin, au niveau 0 est de 2,4m.

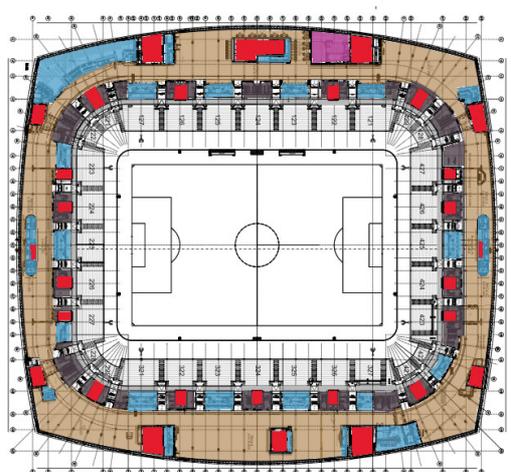


Figure 13 : Distribution fonctionnelle du niveau 2 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen

**Niveau 2 (+ 8.28m):** C'est par ce niveau centralisé, la promenade des supporters, que les supporters accèdent aux gradins. La possibilité leur est donnée de se balader sur les 10 000 m<sup>2</sup> du périmètre complet (à l'exception de la zone réservée aux supporters visiteurs) du stade. S'y retrouvent, sans surprise, un nombre important d'espaces de restauration et de distribution de boissons, ainsi que des sanitaires. Ceux-ci sont placés sur la partie centrale afin d'optimiser l'accès à la lumière naturelle.

Cet espace est considéré comme extérieur par la réglementation incendie mais est maintenu à une température minimale de 10°C. Un lounge à destination des joueurs a également été prévu

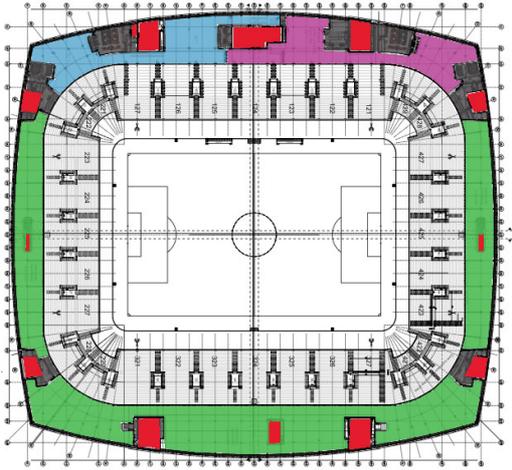


Figure 14 : Répartition fonctionnelle du niveau 3 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen

**Niveau 3 (+ 14.58m):** Cet étage est constitué, majoritairement, d'espaces de bureaux (5500 m<sup>2</sup>) disposant d'une vue complète sur le stade. Le restaurant d'affaires (1500 m<sup>2</sup>) et un grand espace de réception (1800 m<sup>2</sup>), pouvant être adapté en restaurant, complètent le 3e anneau.

Ce niveau est le premier à bénéficier d'un accès traversant à la lumière naturelle puisqu'il est le premier à être en surplomb des gradins.

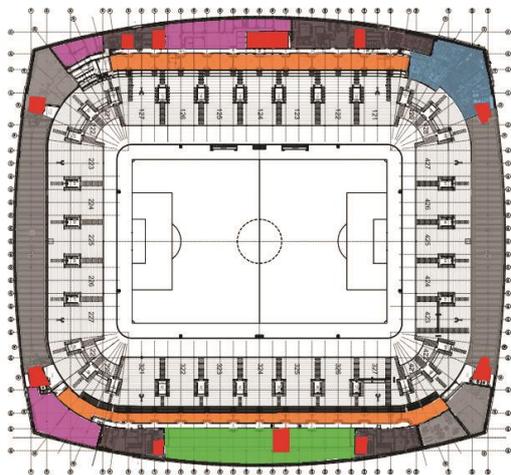


Figure 15 : Répartition du niveau 4 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen.

**Niveau 4 (+ 19.8m):** Côté intérieur, le stade présente des office-boxes (650 m<sup>2</sup>) et skyboxes (840 m<sup>2</sup>), tandis que sur la façade extérieure sont situés des bureaux. Une partie de ceux-ci sont destinés au club (650 + 800 m<sup>2</sup>), tandis que les 1200 m<sup>2</sup> restants sont loués. Un des coins est occupé par un restaurant étoilé d'une capacité de 160 couverts (500 m<sup>2</sup>). Les petits côtés sont occupés par des espaces techniques dont la prise et le rejet d'air pour la ventilation.

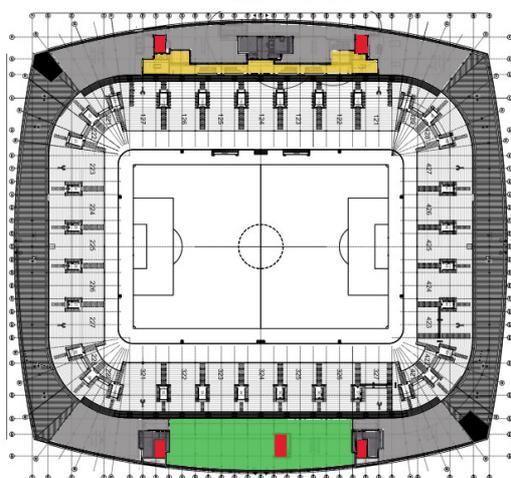


Figure 16 : Répartition fonctionnelle du niveau 5 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen

**Niveau 5 (+ 23.04m):** Sans surprise, la majorité des espaces techniques accueillant les chaudières, tour d'aération, etc. se retrouvent au niveau 5 qui constitue le niveau le plus haut. Se trouvent également sur ce niveau les espaces à destination de la presse (tribune commentateur, studio, plateformes caméras etc.) dont la position haute donne la meilleure visibilité sur la pelouse.

Enfin, 1200 m<sup>2</sup> bureaux sont, également, prévus pour au sein de ce dernier anneau.

Les plans, coupes et façades plus détaillés à la disposition du lecteur dans l'Annexe 1 – Documentation du stade.

Il faut noter qu'à l'heure actuelle tous les espaces ne sont pas encore terminés et/ou loués. Par exemple, la salle de fitness prévue est encore en chantier, tandis qu'il est prévu qu'une garderie prenne place dans l'enceinte, sans qu'une position précise n'ait été déterminée jusqu'à présent.

La sélection du mix le plus adéquat des fonctions à intégrer dans le stade a constitué un exercice délicat. On peut, ainsi, s'étonner de la présence d'un supermarché dans un stade. Néanmoins, dans la mesure où la plupart des fonctions sont appelées à interagir entre elles, avec le complexe Dakar et avec les entreprises voisines, le mix choisi paraît judicieux. Les jours de match, il est demandé à ce que l'ensemble des activités au sein du stade, autres que le football ou liées à celui-ci, soient fermées au plus tard une heure avant le coup d'envoi. Cette disposition permet de réduire, par exemple d'éventuels embarras de circulation.

Les espaces loués sont transmis dans un état de gros œuvre fermé aux locataires, comme illustré par la figure 17. Ceux-ci sont, alors, responsables de se raccorder au réseau de chauffage et de distribution d'eau, en respectant les prescriptions dérivant du dimensionnement. Le locataire a la liberté de réaliser le partitionnement interne comme il le souhaite et de sélectionner les finitions et entreprises de son choix. De ce fait, la connaissance précise de l'ensemble des matériaux utilisés dans l'intégralité du stade se révèle complexe.



Figure 17 : État dans lequel sont livrés les espaces aux locataires

## 2.4 Matériaux

La structure principale de la Ghelamco Arena a été réalisée à partir d'éléments préfabriqués en béton armé, assemblés in situ, pour un total de 18 000m<sup>3</sup> ou 45 000 tonnes. Les principaux intérêts de la préfabrication sont la possibilité d'exercer un contrôle qualité plus approfondi, de réduire la quantité de déchets produits, de mieux gérer les quantités de ressources nécessaires et de réduire les délais d'exécution. Un total de 22 mois de chantier aura tout de même été nécessaire pour mener cette partie du chantier à son terme. L'attention vis à vis du recyclage est pratiquement inexistante puisque les éléments ne contiennent aucun composant issu du recyclage et que les perspectives en fin de vie se limitent à un éventuel concassage en granulats. L'utilisation de béton pour la réalisation de la structure satisfait directement les exigences en matières de sécurité incendie puisque chaque élément vertical est RF 2h, tandis que ceux horizontaux sont RF 1h. Si la distribution interne des espaces peut facilement être modifiée au cours du temps en raison du choix des systèmes de

partitionnement, l'adaptabilité globale du stade est bien plus limitée. Ainsi, une extension de la capacité d'accueil pour 5 000 personnes supplémentaires ne serait possible qu'en utilisant la "fosse". Pour des raisons d'économie financière et de matériaux, la structure n'a, en effet, pas été prévue pour supporter un éventuel anneau supplémentaire dans le futur.

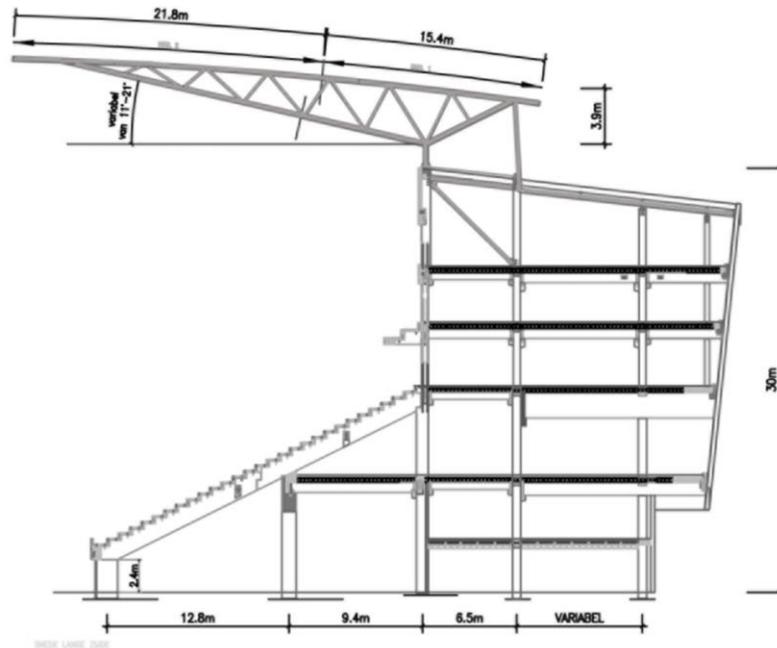


Figure 18 : Coupe structurelle (Vk Engineering, 2014)

Au-dessus de la structure en béton armé sont ancrées la structure métallique de la toiture du niveau 5 et celle servant d'auvent aux gradins. La structure de la toiture a été conçue pour épouser la structure en béton sous-jacente. L'acier qui les compose a subi, en atelier, un traitement par peinture contre la corrosion et l'incendie afin de la garantir RF 1h. L'auvent est, pour sa part, composé de 58 fermes identiques en acier S355 d'une masse de 8 tonnes chacune. Appuyées sur deux colonnes de béton, elles décrivent un porte-à-faux d'une trentaine de mètres.

Outre la courbure transversale de l'auvent, nécessaire à l'évacuation de l'eau de pluie (voir figure 18), une différence de niveau existe entre les côtés longs et courts du stade. Afin de traiter cette dernière, chaque ferme du quart de stade a une position différente selon l'axe z. Il en résulte l'ondulation de la toiture selon une double courbure dont la continuité est garantie par l'utilisation d'aluminium pour la couverture. La figure 19 illustre l'ondulation longitudinale de la toiture et la position variable des fermes selon l'axe z. (Interview de Madame Blondeel, 2014), (Interview de Monsieur Mattijs, 2014)

Chaque ferme est composée de deux éléments assemblés in situ par boulonnage, ce qui simplifie la mise en œuvre et permet de réaliser plus aisément un éventuel démontage. La réalisation des deux éléments constitutifs est, quant à elle, menée par soudage en atelier. Vu la classification environnementale "atmosphère urbaine et industrie légère", les 1 100 tonnes d'acier utilisées ont été traitées contre la corrosion selon les recommandations de la norme ISO 12 944 par application de 3 couches de coating. Si l'acier est recyclable, à fortiori lorsque des assemblages boulonnés sont réalisés, l'application de coatings protectifs pose toujours question car ceux-ci doivent être éliminés, opérations souvent émettrices de vapeurs toxiques, avant les traitements de recyclage. Afin de réaliser le montage complet de la structure de l'auvent, deux mois de travail auront été nécessaires sur le chantier. (Interview de Monsieur Moonen, 2014)



Figure 19 : Photo du 29 juin 2013, lors de la pose de la couverture en aluminium de la toiture ondulée, sur le chantier. Photographie : Pieter Vantieghem (source : <http://www.ourfuturestartshere.be/pictures>, 2013)

La couverture de l'auvent est réalisée par des plaques d'aluminium couvrant toute la longueur d'une ferme. Ce matériau a été choisi en raison du rendu esthétique qu'il offrait, de sa masse limitée et de sa capacité à être continuellement courbé. Les perspectives de recyclage de l'aluminium sont plutôt bonnes même s'il nécessite une quantité importante d'énergie lors sa production industrielle. L'aluminium est, également, utilisé, comme c'est souvent le cas, pour réaliser la structure portante de la façade vitrée.

Cette façade vitrée est constituée d'un double vitrage feuilleté avec un coating d'argent et de l'argon comme gaz de remplissage. De teinte légèrement bleutée, ses principales caractéristiques physiques sont un coefficient de transmission lumineuse élevé ( $TL=49\%$ ), un facteur solaire faible ( $FS=23\%$ ) et une isolation thermique minimum garantie à  $U_g=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La surface totale de la façade vitrée représente  $18\,200 \text{ m}^2$  d'une épaisseur de  $27 \text{ mm}$ . La principale particularité architecturale de celle-ci est l'angle de  $6^\circ$  qu'elle forme par rapport à la verticale. Le fabricant des vitrages utilisés annonce incorporer  $30\%$  de verre recyclé dans son processus de fabrication et affirme que  $100\%$  de ses vitrages sont recyclables. Il paraît, toutefois, raisonnable de penser que le verre feuilleté nécessitera un traitement complémentaire particulier en vue de son recyclage.

Si les principaux matériaux caractérisant le stade ont été abordés ci-dessus, un nombre important d'autres matériaux ont été utilisés ou seront encore utilisés. L'ambition de ce travail ne se situant pas dans la réalisation et la description de toutes les solutions techniques imaginées, la description en reste là.

## 2.5 Gestion de l'énergie

Le système HVAC a été imaginé de manière à diviser le stade en deux parties, chacune étant le miroir de l'autre. Seule la description d'une des deux parties sera réalisée, l'autre étant exactement identique.

L'ensemble du dispositif a été dimensionné afin de maintenir, toute l'année, la température des locaux à  $21^\circ\text{C}$ , à l'exception de la promenade des supporters pour laquelle la seule exigence est une température supérieure à  $10^\circ\text{C}$ . Il est à noter que le cahier des charges du dimensionnement prévoyait qu'une température maximale de  $26^\circ\text{C}$  pouvait être utilisée comme limite en été. (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2013) La figure 22, sur la

page 51, représente schématiquement le principe de fonctionnement de l'installation HVAC. Elle illustre le cas d'une unité de traitement de l'air comme terminal car il s'agit du cas le plus répandu dans le stade. Bien sûr, le fonctionnement global des chaudières, unités de production du froid ou échangeurs de chaleur restent valables dans le cas d'un autre type de terminal.

Le système de chauffage se compose de 3 chaudières (2 effectives et une de réserve) à condensation fonctionnant au gaz, d'une puissance d'environ 600 kW chacune. Le chauffage sert à alimenter en eau chaude les unités de traitement d'air (1445 kW) et ventilo-convecteurs présents pour la plupart des locaux), quelques radiateurs (173 kW pour les radiateurs et ventilo-convecteurs), le ballon de stockage des sanitaires (150kW) et un ballon de stockage de réserve. Chaque local dispose d'un groupe de ventilation autonome : une unité de traitement d'air ou un ventilo-convecteur. Ceux-ci fonctionnent sur le principe des échangeurs air-eau: l'air amené est porté à la température souhaitée par échange convectif forcé avec deux systèmes de serpentins au sein desquels circulent respectivement l'eau chauffée et de l'eau " glacée" . Lorsque l'air vicié est extrait, il peut, après avoir été filtré, être partiellement être réutilisé en étant mélangé à l'air frais qui sera pulsé. La fraction restante d'air vicié sera utilisée, avant son rejet à l'extérieur, pour préchauffer l'air frais, en passant au travers d'un échangeur de chaleur rotatif.

Le chauffage du terrain est, lui aussi, alimenté par ces chaudières mais ne s'enclenche, bien entendu, qu'à la demande. Une puissance de 600 kW pour son utilisation a été prévue.

Le système de refroidissement de l'eau utilisé s'articule autour d'une machine frigorifique et d'une tour d'aérefroidissement. Le principe de celle-ci est de faire en sorte qu'un échange convectif entre l'eau circulant dans les tuyaux et l'air extérieur soit réalisé, comme le montre la figure 20. Pour favoriser les échanges thermiques, les tuyaux sont arrosés d'eau. Le surplus d'eau récolté est ensuite utilisé afin de charger l'air pulsé en humidité. Le dimensionnement permet une réduction de température de l'eau de l'ordre de 6°C. Pour faire face aux risques de gel de l'eau utilisée et se passer de glycol, les conduites extérieures sont calorifugées avec de la laine de roche et recouvertes d'une feuille d'aluminium. Un système de résistance électrique enroulé autour des conduits se déclenche automatiquement afin de maintenir la température de l'eau supérieure à 3°C.

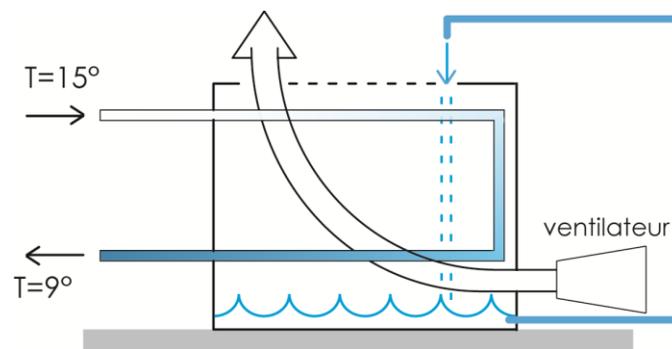


Figure 20 : Fonctionnement d'une tour d'aérefroidissement

La tour d'aérefroidissement permet un refroidissement direct de l'eau utilisée par le système HVAC dans des conditions hivernales ou nocturnes. Lorsque la température extérieure ne le permet pas, l'utilisation d'une machine frigorifique est nécessaire. Le refroidissement de celle-ci est, toutefois, réalisé via la tour. Le but de ce système de bypass est de réduire les consommations énergétiques de la machine frigorifique et de valoriser autant que possible des solutions passives, comme l'exploitation du froid extérieur. Le liquide réfrigérant utilisé par la machine frigorifique est du R134a. Il s'agit d'un réfrigérant ne contribuant pas à la déplétion de la couche d'ozone. (MER, 2007), (Interview des Monsieur Pannier, 2014), (Interview de Monsieur Van Uyttenhove, 2014) (Devis, 2011)

L'alimentation électrique constitue un autre point important de la gestion énergétique du stade. Si l'électricité n'est utilisée que de manière très ponctuelle pour réaliser un éventuel chauffage nécessitant une très grande réactivité, son impact pour l'éclairage est non-négligeable. Les consommations électriques pour l'éclairage des espaces à l'intérieur du stade sont limitées grâce à l'accès à la lumière naturelle permis par les façades vitrées. La régulation de l'éclairage artificiel offert aux utilisateurs, éclairage minimal fourni par clic sur un interrupteur et appoint éventuel par rotation progressive de celui-ci, est un autre moyen de contenir la consommation électrique des espaces intérieurs. L'éclairage de la façade de la Ghelamco Arena est réalisé au moyen de LEDs. L'éclairage de la pelouse est, par contre, réalisé au moyen de luminaires aux halogénures métalliques, conformément aux pratiques courantes. La conception de l'éclairage de la pelouse cherchait à multiplier le nombre de points lumineux fixés à l'auvent pour augmenter l'uniformité de l'éclairage, réduire la pollution lumineuse et réduire les risques d'éblouissement pour les automobilistes circulant sur les autoroutes voisines ou les hélicoptères à destination de l'hôpital tout proche. L'intensité de l'éclairage peut être adaptée en fonction des circonstances et ainsi correspondre au mieux aux besoins: 500 lux (base), 1 200 lux (compétitions belges), 2 000 lux (compétitions européennes). La figure 21 illustre le dispositif d'éclairage mis en œuvre lors des matches de football. Deux générateurs électriques de sécurité (160 et 600 kVA) sont prévus au sein de l'enceinte et répondent à une double utilité. D'une part, ils permettent en cas de panne de prendre le relais ou de gérer les situations à risque, comme une évacuation, d'autre part, ils se déclenchent lorsque la consommation électrique atteint un seuil prédéterminé et fournissent le surplus d'électricité requis. L'intérêt est de permettre leur utilisation ponctuelle mais surtout de réduire la consommation de pointe, particulièrement onéreuse. (Interview de Monsieur Van Goethem, 2014)

Au-delà de l'éclairage, le système HVAC a lui aussi besoin d'énergie électrique pour garantir son bon fonctionnement. Les ventilateurs, pompes et circulateurs sont des exemples parmi d'autres d'équipements installés fonctionnant à partir d'électricité. Le but du travail n'étant pas de fournir une explication complète de l'installation électrique prévue au sein du stade, ces éléments ne sont pas décrits. Par contre, le dispositif d'éclairage photosynthétique de la pelouse et son impact dans la gestion d'un stade font l'objet d'une attention dans le chapitre 4. (VK Engineering, 2010)



Figure 21 : Eclairage nocturne de la façade lors de l'inauguration, le 17 juillet 2013, (source : <http://www.ourfuturestartshere.be/pictures>, 2013)

Afin de réaliser des économies énergétiques, une étude a été menée et des mesures ont été prises afin de limiter les quantités d'eau chaude sanitaire produites. Ainsi, à l'exception de certains locaux comme les vestiaires ou la cuisine des horeca pour lesquels un besoin est établi, les autres points de puisage n'ont pas accès à l'eau chaude sanitaire.

Afin d'optimiser les consommations et améliorer leur efficacité, un dispositif impressionnant de relevé de données et de contrôle en temps réel de celles-ci a été mis en place. Le gestionnaire des réseaux peut à tout instant contrôler les différents paramètres du système HVAC (par ex. température des locaux, % d'air frais ou concentrations en CO<sub>2</sub>). Le système déclenche des alarmes lorsque les valeurs seuils pré-enregistrées des paramètres sont atteintes ou lorsqu'il faut procéder à une intervention de maintenance. Malgré ce dispositif, les utilisateurs du bâtiment conservent la possibilité d'agir sur leur environnement. Ainsi, l'ouverture des fenêtres leur reste possible, ils peuvent, aussi, contrôler l'intensité de l'éclairage artificiel qu'ils désirent ou ont la liberté de réguler leur environnement thermique par l'action sur la vitesse de l'air pulsé et de sa température selon un intervalle de 8°C. Des échanges et feed-back sont prévus entre les utilisateurs et le gestionnaire réseau afin de calquer au mieux les conditions standards de chaque local avec les besoins individuels de leurs utilisateurs.

Ce système est également utilisé pour le déclenchement ou non du chauffage du terrain. Lorsqu'une température extérieure seuil est atteinte, le système se met en route automatiquement. Toutefois, le gestionnaire conserve la main et peut annuler cette instruction s'il ne la juge pas pertinente. Par exemple, cette année, les températures seuils n'ont été atteintes que durant des périodes sans impératifs footballistiques. Le chauffage du terrain n'avait, dès lors, pas de raison d'être et n'a pas été enclenché. (Interview de Messieurs Gees et Pannier, 2014)

En matière de PEB, le stade doit être conforme à la réglementation en vigueur au moment de l'introduction du dossier. Celle-ci date de 2008 et se réfère, donc, aux exigences d'application entre 2006 et 2009 en Région Flamande. Deux destinations sont à distinguer dans les exigences qu'ils doivent satisfaire:

- les bureaux qui doivent respecter un K 45 maximal avec des valeurs U maximales (ou des R minimaux) et respecter un E 100. Une ventilation minimum doit également être prévue.
- "les autres destinations spécifiques" pour lesquelles les exigences sont limitées au K 45 maximum, aux valeurs U et à la ventilation minimum.
- Les principales valeurs  $U_{max}$  à respecter, qui sont communes aux deux destinations pour lesquelles le stade est concerné, sont:
  - façades vitrées:  $U_{max} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  et  $U_{g,max} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - murs extérieurs:  $U_{max} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - toits et plafonds:  $U_{max} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - séparation opaque à l'intérieur du volume protégé ou entre deux volumes protégés:  $U_{max} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Le stade a satisfait les exigences de la PEB, au prix de nombreuses adaptations et modifications. Ainsi, finalement, le U moyen global du stade vaut  $U_{moy} = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Quelques valeurs U caractéristiques sont:

- façade vitrée:  $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- toiture plate au-dessus des niveaux 3,4 et 5:  $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
- plancher entre deux volumes protégés ou à l'intérieur du volume protégé:  $U = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$
- murs extérieurs (dont les gradins):  $U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$

Le stade a obtenu un niveau K 31 qui le place en conformité avec les exigences légales. Alors que l'ambition était d'atteindre un niveau E60, les espaces évalués n'ont, jusqu'à présent, pu atteindre qu'un niveau E80. Celui-ci surpasse, toutefois, les exigences formulées par la réglementation PEB d'application. Pour les espaces qui ne sont pas encore loués, les

locataires sont tenus de réaliser l'évaluation PEB et de prendre les mesures nécessaires pour se mettre en conformité avec celle-ci. De tels impératifs sont logiques dans la mesure où ils sont responsables de la réalisation de leur raccordement aux réseaux, du partitionnement intérieur des espaces, de leur isolation et de leurs finitions.

Si les résultats obtenus par le stade étaient comparés avec les exigences actuelles de la PEB, les résultats seraient insuffisants. Le K40 serait respecté mais pas le E60 ni certains niveaux U. De plus, l'utilisation d'un minimum d'énergie renouvelable est exigée.

La façade vitrée constitue, par rapport à l'évaluation PEB, le gros point négatif puisqu'elle pénalise très fortement les valeurs U en raison de son faible caractère isolant.

S'il était à refaire aujourd'hui, l'utilisation de technologies type pompe à chaleur ou panneaux solaires a été décrite comme incontournable par le certificateur PEB en charge du dossier. Il est à souligner que l'installation de panneaux solaires a été un temps envisagée mais le surcoût pour le dimensionnement de la structure de l'auvent, qui ne porte que sa couverture et le système d'éclairage, ne rendait pas la solution rentable à terme.

En revanche, les systèmes de ventilation installés pour répondre à l'important besoin existant, dû à la façade vitrée, ont un rendement de 86%, supérieurs à la moyenne habituellement comprise entre 74 et 81%. (Interview de Monsieur van Reeth, 2014), (Interview de Monsieur Van Uytenhove, 2014), (Energy Projects, 2013)

Schéma de principe du fonctionnement du système HVAC de la Ghelamco Arena, pour les unités de traitement d'air

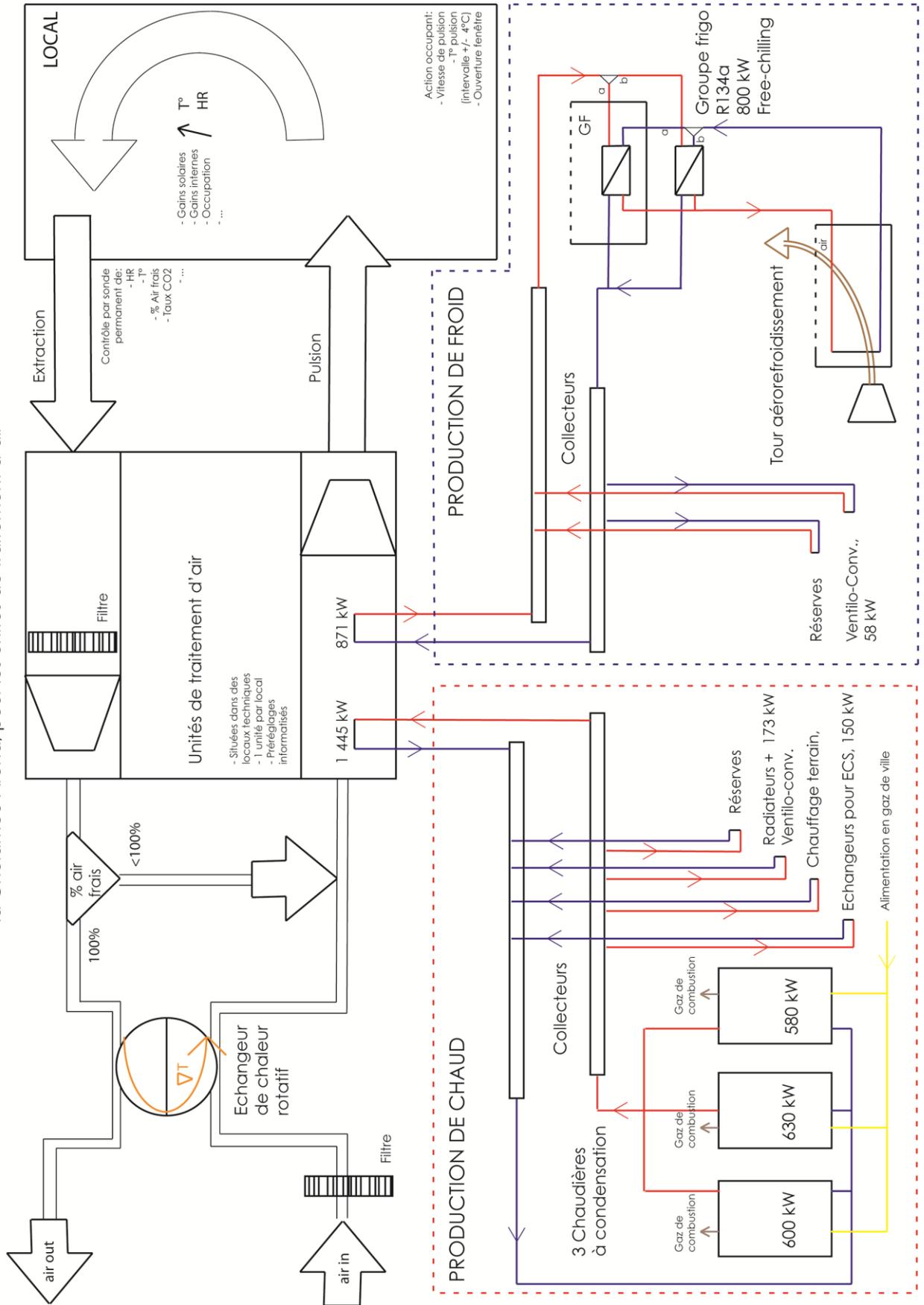


Figure 22: Schéma de principe du fonctionnement du système HVAC de la Ghelamco Arena pour les unités de traitement d'air

## 2.6 Gestion de l'eau

L'utilisation d'un site précédemment urbanisé pour l'implantation de la Ghelamco Arena a permis de donner une nouvelle vie à celui-ci et de ne pas "artificialiser" un terrain jusqu'alors vierge. En corollaire, le site d'implantation était complètement imperméabilisé et a nécessité la réalisation d'études sur la pollution du sol. Malgré sa proximité avec l'Escaut et la Muinsschelde, le site n'est pas classé zone inondable. Enfin, la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol, même après le réaménagement de celui-ci a dû être considérée comme nulle. Une attention particulière a, donc, dû être portée pour le dimensionnement du système d'égouttage.

Afin de réduire les consommations d'eau potable et gérer une partie des eaux de pluie, les auteurs de projet ont choisi de récolter au sein de deux réservoirs de 666 m<sup>3</sup>, chacun, l'eau de pluie incidente aux 21 480 m<sup>2</sup> de toiture du stade. Ces réservoirs ont été dimensionnés de manière à pouvoir alimenter les sanitaires et réaliser l'arrosage de la pelouse de football, illustré sur la figure 23. Initialement, le dimensionnement devait permettre de garantir l'autonomie de ces consommations pour une durée de 21 jours sans précipitations mais les réservoirs installés ont, finalement, un volume supérieur à ces prévisions. L'installation d'équipements à faible consommation d'eau pour les WC, urinoirs ou robinets constitue une autre mesure prise afin d'augmenter l'autonomie du stade vis à vis de l'eau de distribution. Trois puits de rétention d'eau ont également installés sur le site pour une capacité totale de 696 m<sup>3</sup>. Vu les conditions du site, la mise en place de puits était imposée par la réglementation de la Région Flamande. Leur but est de temporiser le transfert des eaux de pluie provenant de la Ghelamco Arena vers les trois réseaux d'égouttage auxquels elle se raccorde.



Figure 23 : Photo du 17 juillet 2013 de l'éclairage de la pelouse du stade et de son arrosage automatique. Photographie : Yves Masscho, (source : <http://www.ourfuturestartshere.be/pictures>, 2013)

Les dispositions réglementaires imposaient aux auteurs du projet de végétaliser 10% de la superficie de la parcelle, la pelouse de football n'étant pas considérée comme espace vert. La préservation d'une zone de broussailles d'intérêt biologique, l'engazonnement et la

plantation d'espèces indigènes (ex. des aulnes et chênes) pour une surface totale de plus de 12 000 m<sup>2</sup> correspondent à 15,7% de la superficie totale du site. La sélection de ces espèces végétales a été réalisée de manière à réduire au maximum l'entretien nécessaire. Le revêtement imperméable en asphalté, correspondant aux cheminements automobiles, et celui formé de pavés de béton perméables représentent respectivement 35% et 10% de la surface de la parcelle. (VK Engineering, 2013)

L'évacuation des eaux usagées générées par le stade se fait par le raccordement aux réseaux d'égouttage existants. La station d'épuration de Gand-Ossemeersen ayant confirmé qu'elle était en mesure de prendre en charge le traitement des 1 163 EH (863 EH au quotidien + 300 EH pour l'activité footballistique) produits par la Ghelamco Arena, aucune solution complémentaire de traitement des eaux usées n'a été envisagée. (MER, 2007), (Interview de Madame Blondeel, 2014)

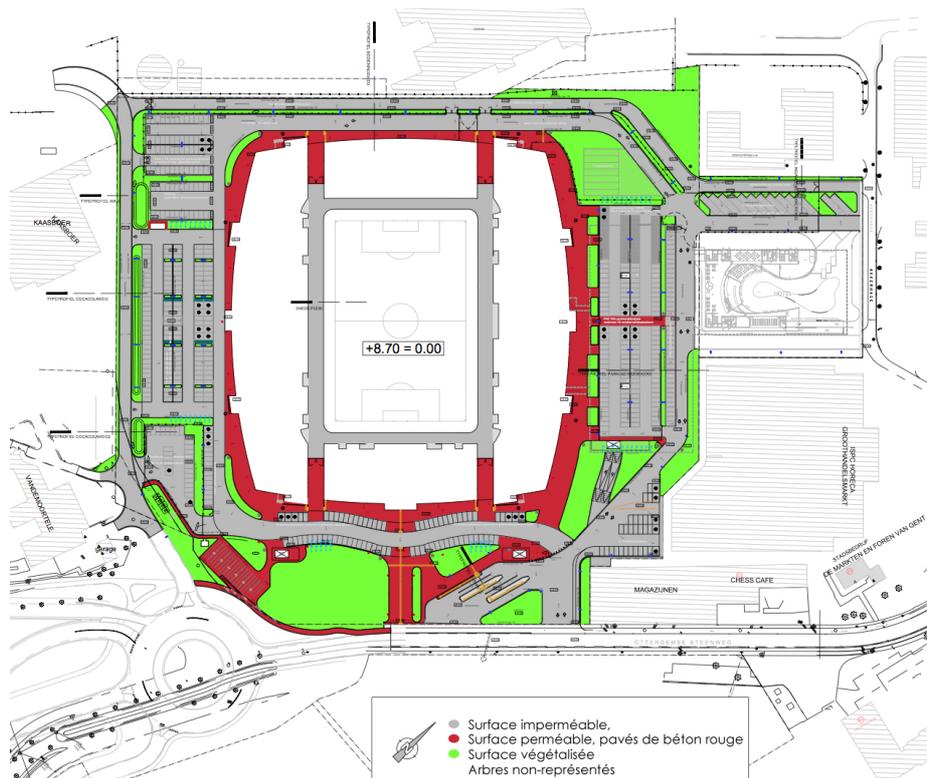


Figure 24 : Matériaux utilisés pour la réalisation des aménagements extérieurs. Plan des aménagements extérieurs : (Vk Engineering, 2014) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen

### 3 Evaluations quantitatives

La réalisation de l'évaluation de la Ghelamco Arena selon quatre méthodes d'évaluation existantes vise deux objectifs:

- La réalisation d'une comparaison entre les méthodes sur base d'une évaluation pratique et pas seulement à partir d'éléments théoriques, comme c'est le cas dans la littérature. Ainsi, le mode de fonctionnement de chacune des méthodes, leurs spécificités et le degré de précision exigé sera décrit.
- L'évaluation d'un stade par les différentes méthodes permettra de critiquer la pertinence des critères évalués ou des éventuels manquements et adaptations nécessaires. Ces évaluations doivent constituer une base sur laquelle s'appuyer pour l'éventuel développement futur d'un référentiel spécifique aux stades.

Le choix des quatre méthodes d'évaluation, LEED, HQE, BREEAM et SB-TOOL, a été dicté par leur popularité et les spécificités de leur fonctionnement. Par rapport, à la comparaison globale du chapitre 2, réalisée sur base de la littérature, CASBEE n'est pas repris. Conçue à destination du marché asiatique et non-accessible en anglais, l'utilisation de cette méthode n'était pas pertinente.

Les évaluations se dérouleront en deux temps:

- l'évaluation complète selon LEED et HQE
- une évaluation qualitative de BREEAM et SB-TOOL

Contrairement aux deux premiers outils qui sont utilisés de manière complète, l'étude de BREEAM et SB-TOOL n'entrera pas dans le détail de l'évaluation. Leur évaluation se contentera de décrire le mode de fonctionnement de chacune d'elles et leurs principales spécificités. Le timing imposé par la réalisation de ce travail et les nombreux éléments communs aux deux autres méthodes, justifient ce choix d'une évaluation plus "méta". Celle-ci, toujours basée sur les référentiels et guides d'évaluation, reste orientée application et ne sera pas dénuée d'intérêt.

Bien sûr, les évaluations réalisées seront entachées de biais nécessitant de les observer avec toute la critique nécessaire. Ainsi, le lecteur se référera, systématiquement, aux annexes au sein desquelles il trouvera le détail de celles-ci et des calculs.

La première source d'approximation est, évidemment, la conséquence que je ne sois accrédité pour l'utilisation d'aucune de ces méthodes. Bien que les recommandations des guides pratiques aient été suivies scrupuleusement, que je me sois tourné vers des personnes qualifiées en cas de doute, l'erreur est toujours possible.

Autre source de biais, aucun référentiel n'est spécifiquement développé pour l'évaluation des stades. Certains critères perdent leur sens ou proposent des échelles d'évaluation inadaptées. Inversement, des éléments essentiels à un stade, tels le chauffage du terrain, ne sont jamais pris en considération. Dans la mesure où l'objectif est précisément de déterminer si ces référentiels sont adaptés pour l'évaluation directe des stades et en vertu des choix de référentiels effectués, décrits dans les hypothèses générales, cette approximation paraît raisonnable.

Un biais provient, encore, de l'absence ou du manque de précision sur certaines informations nécessaires. De fait, malgré l'accès à un nombre important d'informations, certaines données nécessaires m'ont manqué.

Dans le même ordre d'idée, des décalages entre les solutions prévues et celles finalement réalisées in situ sont inhérentes aux projets de cette ampleur. Ces décalages trouvent leur origine entre la prise de décision dans l'urgence du chantier et les difficultés de communication au sein des grandes équipes multidisciplinaires. Ainsi, il est possible qu'une solution prévue n'ait finalement pas été mise en place sur chantier. Toutefois, l'utilisation de documents "as built" lorsqu'ils existent doit permettre de réduire significativement cette source d'approximation.

Ultime source d'imprécision, le fait que l'ensemble des espaces au sein du stade ne soient pas encore terminés et/ou loués, comme mentionné précédemment. De ce fait, certains espaces intérieurs ne peuvent faire que l'objet d'une évaluation prévue ou prévisible. La justesse rigoureuse souhaitée pour une évaluation imposerait l'utilisation d'un même niveau de précision des données. Vu les objectifs du travail, cette approximation ne devrait pas être insurmontable.

L'ensemble de ces raisons invite, donc, à observer les résultats obtenus avec recul. Ceux-ci doivent davantage être compris de manière indicative, plutôt qu'absolue. L'attention sera davantage portée sur la manière que sur le résultat.

Cette section reprend les résultats des évaluations selon chaque méthode, par thématiques. S'il souhaite avoir accès au détail complet des calculs réalisés, des critères et des exigences, le lecteur se référera aux annexes 2 et 3.

### 3.1 LEED

Depuis sa création à la fin des années 1990, la méthode américaine LEED est devenue l'une des plus populaires sur le marché international. Son utilisation pour de nombreuses destinations de bâtiments, dans un grand nombre de pays, en fait un outil rôdé, devenu incontournable dans le domaine. (Lee, 2013) C'est pour cette raison et parce que l'opportunité d'accéder facilement au référentiel s'est présentée à moi que cet outil a été choisi pour réaliser l'évaluation de la Ghelamco Arena.

#### 3.1.1 Présentation de la méthode

L'évaluation consiste en l'attribution, selon le niveau de performance du bâtiment, de points pour un total de 110 (100 + 10 bonus) possibles. Ces points sont obtenus en respectant les exigences des différents crédits. Ces crédits sont répartis entre 7 grandes thématiques abordant chacune plus précisément une préoccupation du développement durable. La distribution des points entre les thématiques se fait selon la manière décrite par le tableau 11:

Thématique	Points
Site durable	26 pts
Efficienc e en eau	10 pts
Energie et Atmosphère	35 pts
Matériaux et Ressources	14 pts
Qualité de l'environnement intérieur	15 pts
Innovation dans le design	6 pts bonus
Priorités régionales	4 pts bonus

Tableau 11: Répartition des points entre les thématiques de LEED (U.S. Green Building Council, 2009)

Les points obtenus dans chacune de ces thématiques sont additionnés pour obtenir le score du bâtiment sur 100. Selon celui-ci, voir le tableau 2, le bâtiment recevra un grade allant de certifié (40-49 pts) à Platine (>80 pts) ou ne sera pas certifié.

Un certain nombre de prérequis sont exigés afin de garantir une performance minimale du bâtiment. Le respect de ces prérequis ne permet pas d'obtenir des points mais simplement de poursuivre l'évaluation de la thématique ou du crédit. La réalisation de tous les prérequis n'est pas obligatoire mais il n'est pas, non plus, possible d'être certifié en ne répondant à aucun d'entre eux.

Une performance allant au-delà des exigences peut être valorisable au travers de la thématique de l' " Innovation dans le design" et permettre, ainsi, au bâtiment de recevoir des points supplémentaires.

La thématique des " Priorités régionales" permet d'encourager les acteurs à se concentrer préférentiellement sur certaines préoccupations jugées localement plus critique par un jury d'experts internes à l'USGBC. (U.S. Green Building Council, 2009)

#### 3.1.2 Détail des résultats

Pour réaliser l'évaluation, la version "LEED 2009 for New Construction" a été utilisée. Bien qu'initialement prévu pour les bâtiments de bureaux, le référentiel a entre-temps été utilisé pour l'évaluation de bâtiments commerciaux, hôteliers et résidentiels. Son cadre d'application privilégié est orienté vers les bâtiments neufs ou en profonde rénovation. Comme décrit dans les hypothèses générales, l'utilisation d'un référentiel générique me paraît être la plus pertinente, en l'absence d'un référentiel spécifique à la destination "stade" ou assimilé. (U.S. Green Building Council, 2009)

Il faut noter que la version de LEED utilisée pour cette évaluation n'est pas la dernière sortie sur le marché puisque, depuis décembre 2013, une nouvelle version est disponible. Néanmoins, pour des raisons de facilité d'accès au référentiel, à des interlocuteurs qualifiés, l'utilisation de cette ultime version n'était pas possible dans le timing imparti. Un travail futur pourrait, à cet égard, étudier l'impact des nouvelles versions ou mises à jour des outils de certification durable sur l'évaluation des bâtiments et sur les résultats obtenus.

Le détail de l'évaluation et des hypothèses réalisées est consultable dans l'annexe 2.

## Site durable

Cette thématique aborde les préoccupations liées au paysage, aux cheminements et aux abords extérieurs du bâtiment. Les objectifs visés sont:

- La sélection et le développement raisonnés du site: choisir un site dont l'impact environnemental est limité, rechercher l'intégration dans un réseau de services existant, privilégier la réutilisation et l'optimisation d'infrastructures.
- La réduction des émissions dues au transport: encourager l'utilisation de transport moins polluants (commun, pistes cyclables) et la localisation à proximité de logements.
- L'aménagement d'espaces verts durables: planter des espèces indigènes pour lesquelles le besoin en irrigation, en pesticides ou en engrais chimiques est faible.
- La protection des zones d'habitat voisines: préserver et restaurer la végétation, les spécificités locales et la vie sauvage présentes.
- La gestion de l'eau à évacuer: développer des stratégies permettant le contrôle, la réduction et le traitement des eaux à évacuer.
- La réduction de l'effet îlot de chaleur: utiliser des surfaces réfléchissantes et végétales limitant l'augmentation de température aux abords du bâtiment.
- L'élimination de la pollution lumineuse: développer une stratégie d'éclairage extérieur limitant les coûts, l'intrusion dans les logements et les nuisances envers la vie nocturne animale.

Cette thématique est composée d'un prérequis, sept crédits et dix sous-crédits. Un total de 26 points est mis en jeu, avec 6 points bonus de performance exemplaire en plus. La Ghelamco Arena a validé le prérequis et 8 crédits sur 14. Un total de 17 points a été obtenu, ainsi qu'un points bonus.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena de remporter des points sont:

- Sélection d'un site industriel à réhabiliter au sein d'un tissu proposant de nombreux services
- Proximité aux transports en commun
- Gestion de l'eau de pluie

A contrario, la Ghelamco Arena est pénalisée pour ces raisons:

- Absence d'attention sur l'effet îlot de chaleur
- Développement d'espaces de parking pour des véhicules très performants ou le carpooling

Les bons résultats obtenus par la Ghelamco Arena ne constituent pas une surprise. La sélection d'un site d'implantation adapté est fondamentale dans le cas des stades. L'accessibilité à celui-ci, la réutilisation d'eau de pluie et le développement d'espaces verts constituent, en effet, des thèmes centraux sur lesquels les concepteurs de stades doivent se pencher.

La thématique aborde des sujets variés concernant l'utilisation adaptée d'un site et du respect de celui-ci. Les critères sur le développement d'espaces verts, de respect des espèces présentes sur site ou de la réduction des impacts du chantier en sont des témoignages.

La mobilité, en lien avec le choix d'implantation, constitue le cœur de la thématique. Ainsi, un choix stratégique de la localisation (dans un tissu offrant de nombreux services ou dans un quartier dense) et la mise en œuvre de quelques mesures faciles (parkings vélo, prévoir des places de parkings spécifiques) peut permettre d'obtenir 18 points. Alors que la mise à disposition de places de parkings particulières est fortement détaillée dans la méthode (et permet d'obtenir 5 pts), il est surprenant de ne pas retrouver un critère semblable pour des places accessibles aux PMR.

Par contre, les impacts sur le voisinage ne sont que peu étudiés. En effet, il ne suffit pas d'être respectueux envers son site d'implantation pour respecter le voisinage. Des critères comme l'impact sur l'ensoleillement du voisinage, l'impact sur le trafic local, la production de bruit ou de pollution sont absents. Le crédit visant la réduction de pollution lumineuse s'intègre dans cette idée mais est seul.

Puisque le site sur lequel s'insère le stade est industriel, ce critère de réduction de la pollution lumineuse nocturne peut paraître hors contexte. En effet, si les désagréments d'une telle pollution sont compréhensibles en zone résidentielle, ils le sont beaucoup moins sur un site industriel. En vérité ce crédit ne se limite pas à ces désagréments mais cherche aussi à préserver un accès au ciel de nuit et à limiter les nuisances sur les animaux nocturnes. La mise en parallèle de ce crédit avec la prise de mesures préventives contre les comportements non-civiques me paraît être intéressante.

Deux crédits de cette thématique encouragent la verdurisation du site. Il s'agit d'une excellente initiative vis à vis de la qualité d'ambiance créée, du respect de la biodiversité ou dans l'optique de la gestion de l'eau. Toutefois, aucune évaluation de la manière de le faire n'est réalisée. Ainsi, pour une surface de verdurisation égale, on peut soit créer un grand espace, soit créer une somme de petits espaces verts, peu ou pas utilisables. Bien sûr, l'homme est une menace pour la biodiversité mais ne serait-il, quand même, pas intéressant d'encourager le développement d'espaces verts appropriables ? Il s'agit là d'une proposition pour aller plus loin, la priorité restant le développement d'espaces verts.

La question de la prise en compte de la surface de pelouse du stade se pose également. Il s'agit d'un espace vert pouvant assurer un rôle positif comme dans la gestion de l'eau. Par contre, la quantité importante de traitements qu'il requiert est contradictoire vis à vis de la démarche de plantation d'espèces indigènes. De plus, le développement de la biodiversité sur cette surface est incompatible avec une utilisation sportive. Au sein des différents calculs, la pelouse de football n'a donc pas été comptabilisée comme espace vert.

Par rapport à la question de l'accessibilité automobile des stades, des questions supplémentaires se posent par rapport à d'autres destinations de bâtiments. Quel sera l'impact sur les réseaux de la circulation du stade ? Quel sera l'impact sur le voisinage en termes de parking ou de vandalisme ? Des quartiers résidentiels doivent-ils être traversés ? Quelle attitude adopter vis à vis des parkings ? Ces questions sont d'autant plus complexes que l'utilisation de la fonction football se fait, généralement, une à deux fois toutes les deux semaines.

## **Efficacité en eau**

Cette thématique aborde les préoccupations liées à l'amenuisement des ressources d'eau potable, leur pollution et les coûts de leur consommation. Les objectifs qui y sont visés sont :

- Le monitoring de l'efficacité des consommations d'eau: comprendre les sources de consommation, identifier les économies réalisables, les vérifier.
- La réduction de la consommation d'eau potable: installer des appareils à faible consommation et utiliser d'autres sources d'eau.
- La réduction de la consommation d'eau: réduire la consommation d'eau nécessitant un traitement afin de réduire la consommation énergétique liée à ce traitement (ECS) et la quantité de traitements nécessaires (adoucissement, purification).
- La réalisation d'un aménagement végétal nécessitant peu d'arrosage: planter des espèces indigènes ou auto-suffisantes, nécessitant peu d'irrigation ou de fertilisants.

Cette thématique est composée d'un prérequis et trois crédits. Un total de 10 points est mis en jeu, avec 2 points bonus de performance exemplaire, en plus. La Ghelamco Arena a validé le prérequis et 2 crédits. Un total de 7 points et 1 point bonus a été obtenu.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena de remporter des points sont :

- Réutilisation d'eau de pluie pour limiter les consommations en eau potable
- Utilisation d'équipements à faible consommation en eau

En revanche, la Ghelamco Arena a apporté une réponse insuffisante à:

- Aménagement paysager peu économe en eau

Les résultats obtenus par la Ghelamco Arena pour cette thématique sont bons, ce qui ne constitue pas une surprise puisque des mesures ont été prises afin d'utiliser l'eau de manière efficace. Il faut, tout de même, noter que les mesures prises n'ont nécessité qu'un effort limité : équipements à faible consommation, ou contribuant à résoudre d'autres problématiques, gestion des importants volumes d'eaux de pluie.

Le mauvais résultat obtenu pour le crédit de consommation en eau des aménagements paysagers est toutefois surprenant. En effet, le crédit n'est pas validé alors qu'excepté la pelouse du stade, pour laquelle les citernes à eau de pluie ont été dimensionnées, il n'est pas prévu de procéder à l'arrosage des autres espaces verts. Ces résultats sont d'autant plus surprenants que les auteurs ont pris des dispositions importantes afin, justement, de minimiser les consommations d'eau (dimensionnement des citernes, dispositifs automatisés de déclenchement, essences végétales indigènes, etc.).

La principale raison de ce résultat provient probablement de la manière proposée par la méthode pour évaluer les consommations d'eau. Une seule étude globale de la consommation d'eau de tous les espaces verts, en considérant obligatoirement que leur arrosage doit être réalisé. Outre le fait que des consommations qui ne sont pas censées se produire sont comptabilisées, il est clair que la consommation d'eau de la pelouse, très importante, plombe les résultats de l'ensemble. Ainsi, peut-être, aurait-il été plus indiqué de réaliser deux évaluations distinctes: celle de la pelouse et celles des autres espaces verts.

Le problème lié à la comptabilisation des consommations d'eau par des espaces verts prévus pour ne pas en nécessiter est la conséquence du mode de fonctionnement de l'outil. Une consommation de référence en eau des surfaces vertes est calculée selon des barèmes fournis dans le référentiel et est comparée avec la quantité de précipitation mensuelle minimale. Comme ces barèmes sont très génériques, ils ne permettent pas de valoriser la plantation d'espèces indigènes, adaptées au climat local et nécessitant, de ce fait, peu ou pas d'arrosage.

L'objectif clairement annoncé pour la thématique est la réduction des consommations d'eau potable. Cet objectif me paraît bien encadré par les différents crédits qui permettent, au travers des évaluations numériques, d'appréhender la quantité totale d'eau en jeu.

Néanmoins, la préoccupation de l'eau ne se limite pas à la simple utilisation plus rationnelle de la ressource. Il est à peine caricatural de constater que l'installation de citernes à eau de pluie, d'appareils efficaces et la plantation d'espèces indigènes, des mesures simples et rapidement rentabilisées suffit à obtenir les 10 points mis en jeu. Ceci ne me paraît pas suffisant pour pouvoir se considérer respectueux vis à vis de la ressource eau. Par exemple, des considérations quant à sa pollution, ses rejets, la surcharge sur les réseaux d'égouttage et d'épuration engendrée par le bâtiment devraient, selon moi, intervenir.

Cette thématique devrait peut-être, également, englober les deux crédits de contrôle de la qualité et de la quantité d'eau de pluie présents dans la thématique Sites durables. Le référentiel gagnerait, certainement, en clarté, même si ces crédits sont, aussi, liés à la question des surfaces perméables du site.

## Energie et Atmosphère

Cette thématique aborde les préoccupations liées à la diminution des sources d'énergie fossiles, aux émissions de gaz à effet de serre et aux coûts énergétiques opératifs des bâtiments. Les objectifs visés par la thématique Energie et Atmosphère sont:

- La performance énergétique: développer une approche énergétique intégrée de tous les aspects du bâtiment.
- L'ambition, dès la conception, d'atteindre un niveau de performance énergétique élevé et la mise en place d'un système de monitoring: viser, lors de la conception, une haute performance énergétique; vérifier la correspondance entre les performances visées et celles mesurées lors de la livraison; mesurer et contrôler la performance, à long terme.

- La prescription de liquides réfrigérants pauvres en chlorofluorocarbones (CFC): choisir et installer des équipements sans réfrigérants à base de CFC et faiblement nocifs pour la couche d'ozone.
- L'utilisation d'énergie provenant de sources renouvelables: utiliser les sources d'énergie renouvelables disponibles sur le site ou de l'énergie verte provenant d'ailleurs.

Cette thématique est composée de trois prérequis et 6 crédits. Un total de 35 points est mis en jeu, avec 2 points bonus de performance exemplaire, en plus. La Ghelamco Arena a validé tous les prérequis et 4 crédits. Un total de 14 points a été obtenu.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena de remporter des points sont:

- Utilisation d'un réfrigérant (R134a) dont l'impact sur le réchauffement climatique et la déplétion de la couche d'ozone est considéré comme limité.
- Réalisation d'un monitoring approfondi des consommations des systèmes HVAC

A contrario, la Ghelamco Arena est pénalisée parce que

- Pas d'utilisation d'énergie renouvelable présente sur site ou d'énergie verte produite ailleurs
- Diminution de seulement 20% des consommations énergétiques par rapport aux consommations énergétiques de référence

Les résultats obtenus par la Ghelamco Arena sont satisfaisants compte tenu de la difficulté d'optimiser ses consommations énergétiques.

Le choix de réaliser une façade intégralement vitrée est, ici, pénalisé malgré l'utilisation d'une technologie avancée. L'obtention de 7 points sur les 19 possibles de l'optimisation des performances énergétiques n'est pas mal mais doit être nuancé. En effet, se référer à la PEB de 2006 constitue un sérieux avantage, vu les durcissements ultérieurs en matière d'exigences énergétiques. Similairement, l'évaluation selon le référentiel LEED de 2009 est certainement moins contraignante que s'il avait fallu la réaliser avec la dernière version (2013).

Le renvoi vers des références payantes par le référentiel me semble, clairement, être un gros point négatif même si, normalement les assesseurs connaissent ces références puisqu'ils ont dû passer un examen. Néanmoins, l'accès difficile à l'information, pour le simple particulier me semble préjudiciable.

La thématique s'articule davantage autour de l'énergie que de l'atmosphère. En effet, à l'exception de l'étude de la composition des liquides réfrigérants, aucune attention n'est portée sur les émissions de gaz ou de particules. On aurait pu s'attendre à trouver des crédits évaluant les rejets des systèmes de production énergétique.

Aller plus loin dans le monitoring et ne pas simplement se contenter de vérifier que les économies prévues sont atteintes aurait également été intéressant, dans une optique d'excellence.

D'autres éléments n'ont pas du tout été pris en compte comme la réalisation adaptée des réseaux (calorifuge), l'efficacité de leur conception ou de la disposition des locaux.

Des crédits encourageant la conception bioclimatique auraient pu trouver une place et contribuer à réaliser des économies énergétiques. Les crédits mettent, essentiellement, en avant un résultat final à obtenir mais ne balisent pas assez un chemin pour y parvenir. Les crédits sur le commissionnement me semblent tenter de le faire mais constituent davantage une suite logique d'opérations à mener qu'un inventaire de mesures concrète pour améliorer les performances énergétiques.

Le référentiel semble ignorer l'existence des bâtiments passifs qui pourraient, pourtant être intégrés dans la thématique vu la réponse qu'ils y apportent.

Dans le cas des stades, les principaux éléments qui nécessiteraient une attention spécifique me semblent être la gestion de l'alimentation électrique pour l'éclairage, la gestion du système de chauffage de la pelouse et l'utilisation éventuelle de radiants pour chauffer les tribunes.

## Matériaux et Ressources

Cette thématique aborde les préoccupations liées à la réduction des déchets produits, l'impact environnemental des matériaux amenés et quittant le site et une meilleure gestion des matériaux et déchets opératifs. Les objectifs visés par la thématique Matériaux et Ressources sont:

- Le choix de matériaux durables: sélectionner des matériaux selon leur impact environnemental, social et sur la santé.
- La réduction de la production de déchets: réduire les sources, réutiliser et recycler le plus possible.
- La réduction des déchets à la source: réduire la quantité de produits nécessaires.
- La réalisation d'un plan de gestion des déchets afin de les tracer jusqu'à leur dépôt.
- La réutilisation et le recyclage: trier efficacement les déchets afin de réduire leur quantité et considérer toutes les alternatives possibles lors du choix des matériaux.

Cette thématique est composée d'un prérequis, sept crédits et deux sous-crédits. Un total de 14 points est mis en jeu, avec 5 points bonus de performance exemplaire, en plus. La Ghelamco Arena a validé le prérequis mais aucun crédit et n'obtient, donc, aucun point. Vu les résultats obtenus, il n'y a pas d'éléments positifs pouvant être mis en évidence

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée sur l'élément suivant:

- Aucune réutilisation connue de matériaux issus de l'ancienne halle

Le résultat de cette cible doit être appréhendé avec énormément de recul. En effet, trop peu d'informations étaient disponibles pour réaliser l'évaluation des différents crédits. De ce fait, 10 des 14 crédits mis en jeu n'ont, en vérité, pas pu être évalués. Les évaluations proposées dans ces crédits reposent sur les coûts. Les détails financiers de l'opération ne m'ayant pas été communiqués, il me paraissait délicat de réaliser leur estimation. D'autant plus que la plupart des éléments principaux (gros œuvre et couverture/façades) ont été réalisés sur mesure pour le stade. De plus, sans métré, il aurait, également, fallu estimer certaines quantités mises en œuvre.

Au-delà de ce manque de données, deux enseignements me semblent pouvoir être tirés pour la Ghelamco Arena:

- l'emploi de matériaux provenant de la réutilisation ou du recyclage n'a pas ou pratiquement pas eu lieu
- les matériaux utilisés pourront, généralement, être réutilisés ou recyclés entièrement ou en partie

Le fait que la thématique impose la quantification des types de matériaux utilisés semble très intéressant. Comparer à partir des coûts paraît être un moyen efficace pour inviter les décideurs à vérifier si les matériaux recyclés/recyclables - réutilisés/réutilisables sont réellement plus chers. Si ce n'est pas le cas, ne pas utiliser de tels matériaux ne se justifie pas. Comme le présent travail en est une illustration, l'accès au prix des différents éléments reste un problème, même en phase de conception.

## Qualité d'environnement intérieur

Cette thématique aborde les préoccupations liées à l'amélioration de la qualité de l'environnement intérieur, au confort et bien-être des occupants, à la consommation énergétique, l'efficacité des renouvellements d'air et la concentration en polluants dans le bâtiment. Les objectifs visés par la thématique Qualité d'environnement intérieur sont:

- L'amélioration de la ventilation: augmenter le niveau de ventilation du bâtiment, utiliser un récupérateur de chaleur et développer des stratégies d'amélioration de la qualité de l'air.

- La gestion des contaminants présents dans l'air: interdire de fumer à l'intérieur, réaliser des mesures de concentrations de CO<sub>2</sub>, utiliser des filtres à haute performance, optimiser l'efficacité du taux de renouvellement d'air et protéger les bouches de pulsion durant le chantier.
- L'utilisation de matériaux non-nocifs: diminuer la prescription de matériaux chimiques et planifier les chantiers afin d'éviter le chargement des matériaux en contaminants ou moisissures.
- L'action des utilisateurs sur leur environnement: permettre aux utilisateurs de régler l'éclairage et le chauffage pour améliorer leur confort et leur productivité ainsi que l'efficacité du bâtiment.
- L'accès à la lumière naturelle et aux vues: diminuer la consommation d'éclairage électrique et augmenter l'accès à l'éclairage naturel et aux vues pour les utilisateurs.

Cette thématique est composée de deux prérequis, huit crédits et douze sous-crédits. Un total de 15 points est mis en jeu, avec un point bonus de performance exemplaire en plus. La Ghelamco Arena a validé les deux prérequis et 10 crédits. Un total de 10 points a été obtenu, en plus desquels 1 point bonus.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena de remporter des points sont:

- Bonne qualité de ventilation et respect des normes pour la conception et la réalisation de celle-ci
- Contrôle sur les systèmes thermiques et lumineux par les occupants
- Utilisation de matériaux émettant peu ou pas de particules

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport à :

- Prévention du risque d'éblouissement
- Manque d'information sur certaines sources potentielles d'émissions

Les bons résultats de la Ghelamco Arena dans cette thématique s'expliquent, tout d'abord, par le respect de toutes les normes de bonne pratique pour la conception et la réalisation des systèmes de ventilation. Leur monitoring approfondi constitue également un aspect apprécié. La possibilité laissée à l'utilisateur de modifier son environnement en contrôlant la température ou le niveau d'éclairage permettent de contribuer à son bien-être et à ce que les consommations soient les plus proches possibles des besoins réels.

L'absence de mesures contre le risque d'éblouissement dû à la façade vitrée a pénalisé le stade qui n'a pu valider tous les crédits relatifs au traitement de la lumière naturelle. C'est dommage car la gestion de la lumière naturelle est sensée être une des forces du projet.

Pour cette thématique aussi, la difficulté d'accès à certaines informations a été remarquée. En effet, il est plus facile de réaliser, en phase de conception, la prescription de matériaux et solutions faiblement émettrices en particules nocives que de réaliser le relevé " as built " .

Un critère visait l'amélioration de 30% de la qualité de l'air fournie dans les locaux, par rapport au cadre réglementaire. Celui-ci n'est pas bien adapté à la situation belge puisque les exigences réglementaires réclament un apport de 100% d'air frais pour les débits minimaux.

Au-delà des crédits d'accès à la lumière naturelle, la qualité d'éclairage à l'intérieur des locaux n'est jamais évoquée. La qualité de l'éclairage artificiel, ne fait ainsi, l'objet d'aucune attention, excepté la possibilité d'agir dessus.

La ventilation naturelle et mécanique est, durant toute la thématique, étudiée de manière scindée. S'il est logique qu'elles le soient, n'aurait-il pas été cohérent de trouver un crédit ou un point bonus pour les cas d'utilisation de ventilation mécanique permettant l'ouverture d'une fenêtre? Ainsi, la possibilité d'action laissée à l'utilisateur, comme pour l'éclairage et la température pourrait trouver, ici aussi, une récompense.

Le prérequis veillant à ce que personne ne fume dans un rayon de 7m autour d'une porte ou d'une fenêtre est délicat à évaluer. A moins qu'un fumoir ne soit mis à disposition, les fumeurs fument généralement à côté de la porte d'entrée qu'ils empruntent. Il est difficile de contrôler la distance à laquelle les fumeurs fument. De plus, la mise en place de sas n'est pas

valorisable dans le crédit, alors que leur intérêt par rapport à cette préoccupation semble évident.

### **Innovation dans le design**

Cette thématique aborde les préoccupations liées à l'utilisation de techniques ou technologies innovantes. Celles-ci sont développées par l'industrie ou la recherche pour améliorer nettement les performances standards. Les objectifs visés par la thématique Innovation dans le design sont:

- L'implémentation de nouvelles technologies ou méthodes: développer des techniques de conception, des solutions spécifiques à un lieu ou à une région dont les bénéfices environnementaux constituent une plus-value démontrée.

Cette thématique particulière n'est composée que de deux crédits. Un total de 6 points bonus est mis en jeu. La Ghelamco Arena a validé un crédit pour un total de trois points.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena de remporter des points sont:

- Satisfaction des exigences pour 3 niveaux exemplaires

A contrario, la Ghelamco Arena n'obtient pas d'autre point bonus en raison de:

- Pas d'utilisation d'éléments innovant faisant l'objet du dépôt d'un dossier
- Pas d'interaction entre un assesseur LEED et l'équipe de projet

La récompense des niveaux de performance exemplaires obtenus et de l'interaction avec un certificateur LEED durant la phase de conception me paraissent logiques. Toutefois, l'interaction avec ce dernier ne signifie pas qu'un impact sera mesurable sur le projet. En effet, seule sa participation est demandée: la réalisation d'un rapport à destination des autres membres n'est même pas requise. On peut, donc, demander si ce crédit ne risque d'être utilisé de manière malhonnête. Bien sûr, mobiliser un évaluateur LEED coûte de l'argent et le bon sens voudrait que cet argent serve à autre chose qu'à obtenir un point. Toutefois, que se passe-t-il si un des architectes est accrédité ?

On peut se poser des questions sur les efforts à fournir en termes de performances exemplaires. Compte tenu qu'un maximum de trois niveaux de performance exemplaire rapporte des points, la méthode montre qu'elle est déjà satisfaite si les équipes produisent un ou deux efforts exemplaires. Est-ce suffisant ?

La reconnaissance de l'innovation dans la conception permet aussi de gagner des points bonus mais il faut constituer un dossier réunissant de nombreux éléments et pièces justificatives. Il faut produire beaucoup d'efforts (conception et constitution du dossier) et faire face aux risques de mauvaise mise en œuvre ou de dysfonctionnement, inhérents à l'innovation. De plus, des surcoûts ne peuvent être exclus. Tout cela pour, finalement, obtenir un point si le dossier est validé. La méthode n'encourage-t-elle pas, plutôt à concentrer ses efforts sur un crédit comme l'optimisation de la performance énergétique où 19 points sont en jeu?

### **Priorité Régionale**

Cette thématique aborde des préoccupations environnementales uniques et locales à certaines zones géographiques. L'objectif est d'encourager les équipes à se pencher sur ces questions considérées régionales et à y répondre de manière prioritaires. C'est le cas en validant les crédits identifiés " Priorité Régionale " par une antenne locale de l'USGBC

Cette thématique particulière n'est composée que d'un crédit. Un total de 4 points est mis en jeu. La Ghelamco Arena a obtenu deux points.

Les priorités régionales de maximisation des espaces ouverts et de contrôle des quantités d'eau de pluie sur site ont été validées.

A contrario, la Ghelamco Arena n'a pas validé:

- Energie renouvelable présente sur site
- Véhicules à faibles émissions et efficaces en carburant
- Technologies innovatrices de traitement des eaux usées
- Commissionnement amélioré

La Ghelamco Arena n'obtient que la moitié des points pour cette thématique, ce qui est moyen. Ceci s'explique parce que l'évaluation est réalisée alors qu'aucune attention vis à vis de la certification LEED n'avait été portée durant la conception.

Dans le cadre d'une réelle volonté de certification LEED, ces points me semblent assez faciles à obtenir dans la mesure où la première chose à faire est d'en prendre connaissance. Selon les opportunités et contraintes du projet et de son site, l'équipe de projet sélectionnera les 4 crédits lui paraissant les plus facilement atteignables. Comme aucune performance supplémentaire n'est exigée, le projet sera deux fois gagnant puisqu'il validera les crédits et obtiendra les points bonus supplémentaires. L'objectif visé par cette thématique me paraît, donc, mis en œuvre de manière efficace.

Le principal problème concerne la détermination des crédits qualifiés de priorités régionales. Normalement, une antenne locale de l'USGBC doit se prononcer sur le sujet et garantir, ainsi, la correspondance avec la réalité locale. Néanmoins, le développement de telles antennes est encore trop limité dans le monde. Pour tous les pays ne disposant pas d'une telle structure, des priorités régionales internationales ont été définies. La contradiction avec la volonté de correspondance aux réalités locales est évidente puisque des pays provenant de continents, climats et conditions complètement différentes se réfèrent aux mêmes priorités régionales. C'est pour cette raison que j'ai préféré me référer aux priorités régionales françaises. Même si, dans le cadre d'une véritable évaluation, l'hypothèse ne serait pas valide, la réaliser me semblait plus représentatif de la situation réelle.

L'absence d'antenne dans certains pays peut être expliquée par une question de temps ou par la diffusion trop faible de la méthode. Peut-être serait-il possible, en attendant, de grouper plusieurs pays aux conditions semblables ensemble, comme mon hypothèse le suggère.

### 3.1.3 Récapitulatif et limitations

#### Résultats

Au terme de cette évaluation, la Ghelamco Arena obtient un score total de 47/100, ce qui lui permet de recevoir le grade "certifié". Il s'agit du premier niveau de certification de la méthode.

Les éléments suivant peuvent expliquer que le stade n'ait pas obtenu un meilleur résultat:

- Le stade n'a pas été conçu pour répondre aux exigences de la certification LEED. Puisque la certification n'a pas constitué un objectif, les concepteurs n'ont pas spontanément intégré certains éléments qui auraient pu leur apporter des points.
- L'absence de certaines données: lorsque des données nécessaires à l'évaluation n'étaient pas disponibles, aucun point n'a pas été attribué.
- Des résultats moyens pour la performance énergétique: l'obtention de 7 des 19 points mis en jeu pour le crédit d'optimisation des performances énergétique constitue une pénalisation importante du score global (12%).

#### Limitations

La méthode LEED présente les particularités suivantes:

- Unités américaines et utilisation de l'anglais : développé aux Etats-Unis, le référentiel est réalisé en anglais et a recours aux unités américaines. Une attention importante de la part de l'évaluateur est nécessaire afin que la conversion des unités et des valeurs soit réalisée correctement. De même, la maîtrise suffisante de l'anglais sera nécessaire afin de comprendre correctement les exigences. Puisque l'évaluateur est,

normalement, accrédité par l'USGBC, la compréhension des critères d'évaluation ne devrait, toutefois, pas constituer un problème.

- Certaines normes de référence utilisées ne sont pas toujours disponibles librement. Bien que les évaluateurs soient censés avoir prouvé leur connaissance de celles-ci par la réussite d'un examen, ce n'est pas forcément le cas des équipes de projet. La méconnaissance de ces normes peut, selon moi, être à l'origine d'une qualité déficiente des solutions mises en œuvre.
- Utilisation de nombreuses valeurs numériques provenant de calcul ou de données relatives aux éléments du projet. Ces valeurs numériques sont comparées à des valeurs de références caractéristiques de la préoccupation évaluée par le crédit. Cette comparaison permet l'attribution directe de points pour le crédit. L'avantage est qu'au-delà des hypothèses de calcul réalisées, une évaluation numérique constitue une approche objective d'une problématique. La quantification des choses me semble, également, intéressante en vue de prendre conscience des impacts réels. Par contre, la collecte de données peut s'avérer longue et difficile.
- L'évaluation porte essentiellement sur des éléments techniques et leur performance. Le bien-être et le confort des utilisateurs ne sont que très peu pris en compte directement. Ceux-ci sont évalués indirectement au travers de la valeur des paramètres devant les représenter (ex: la qualité d'air alimentant les espaces est caractérisée par les débits mis en place).
- La réalisation de l'évaluation du stade m'a permis de me rendre compte de la difficulté d'accès à certaines informations. Il est beaucoup plus facile d'utiliser le référentiel comme base pour la réalisation des cahiers des charges que pour vérifier la performance de tous les éléments mis en œuvre. De même, la vérification de la correspondance entre les performances prévues et celles effectives est plus facile que le relevé complet des données du projet.
- La méthode aborde des thématiques variées sans aller non plus trop loin dans le nombre de crédits. Aborder beaucoup de préoccupations permet d'encourager les équipes de projets à tenir compte de nombreux éléments impactant sur la durabilité du bâtiment. L'excès de critères peut, toutefois, devenir nuisible car le poids de chaque critère sur le score global devient très faible. Le poids de chaque crédit de la méthode LEED sur le score global n'est jamais inférieur à 1%. Un tel impact me paraît le minimum pour ne pas qu'un effet "goutte d'eau dans l'océan" soit ressenti.
- Certaines thématiques comme la qualité acoustique et la qualité de l'éclairage, qui sont des préoccupations courantes de ce genre de méthodes, ne sont pas prises en compte.
- La préoccupation des Sites durables ne prend absolument pas en compte l'impact du bâtiment sur son voisinage, au-delà de la faune et la flore. L'insertion adaptée d'un bâtiment dans son environnement me paraît, pourtant, être un élément essentiel pour caractériser la durabilité des bâtiments.

### 3.2 HQE

Il est intéressant d'utiliser la démarche HQE vu son élaboration en France, un contexte semblable à celui de la Belgique. Une autre particularité de la démarche HQE est de proposer un Système de Management de l'Opération (SMO) ne se retrouvant dans aucune autre méthode. D'autre part, la méthode de certification est particulière puisque la démarche souhaite éviter toute hiérarchisation entre les cibles. Dernier élément de différenciation, le référentiel utilisé pour l'évaluation, "Equipements sportifs - Salle multisports 2014", est destiné à l'évaluation d'infrastructures sportives. Bien qu'il y ait de nombreuses différences entre une salle multisports et un stade prévu pour la pratique sportive en extérieur, d'intéressants parallélismes peuvent être tirés, notamment par rapport à la gestion des vestiaires ou la capacité d'accueil du public. Il s'agit, en effet, de la destination la plus proche de celle étudié durant ce travail.

### 3.2.1 Présentation de la méthode

Définie comme une "démarche de management de projet visant à obtenir la qualité environnementale d'une opération de construction ou de réhabilitation", la démarche HQE est composée de deux parties complémentaires:

- Le Système de Management de l'Opération (SMO) qualifiant le management développé. (Certivéa, 2011)
- La Qualité Environnementale du Bâtiment (QEB) qualifiant les performances architecturales et techniques. (Certivéa, 2010), (Certivéa, 2010)

#### Le Système de Management de l'Opération (SMO)

L'objectif du SMO est de mettre en place une organisation de travail efficace entre les acteurs pour leur permettre de prendre les bonnes décisions, au bon moment. A terme, il doit aussi contribuer à l'amélioration de l'efficacité des systèmes.

Le maître d'ouvrage jouera un rôle de coordinateur essentiel dans la définition d'objectifs, de méthodes et de moyens. Au travers de la compréhension approfondie du projet et de la délimitation claire des tâches de chacun, le SMO garantira la qualité de réalisation escomptée.

Quatre chapitres constituent le SMO et requièrent la réalisation des actions suivantes:

1. L'engagement du Maître d'Ouvrage: décrire et justifier les principaux objectifs financiers, fonctionnels et le profil de Qualité Environnemental du Bâtiment.
2. La mise en œuvre et le fonctionnement: décrire et formaliser contractuellement les compétences, responsabilités et documents à fournir par chaque acteur.
3. Le pilotage de l'opération: vérifier l'état d'avancement de l'opération, la conformité de son exécution et identifier les éventuels manquements. Evaluation de la QEB aux trois moments prévus par le référentiel et proposition de corrections éventuelles.
4. Capitalisation: réaliser un bilan, après livraison, des écarts et dysfonctionnements constatés et d'un retour de la satisfaction du client afin d'améliorer la qualité des prochaines opérations.

En conclusion, le SMO vise à fournir un cadre de travail, au sein duquel règnent organisation et structure, afin d'atteindre le meilleur degré d'efficacité.

#### La Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB)

La QEB est formée de 14 cibles, déclinées en sous-cibles, représentant les enjeux environnementaux. Un niveau de performance est attribué à chaque cible entre "base" (minimum acceptable, performance courante ou réglementaire), "performant" (bonnes pratiques) et "très performant" (performances maximales constatée mais restant atteignables). Un score global ne sera jamais formulé à partir de ces niveaux de performance. En effet, la méthode fonctionne avec un profil, défini par le Maître d'Ouvrage, afin d'éviter la hiérarchisation des cibles. La méthode souhaite, ainsi, encourager une approche intégrée des enjeux environnementaux.

Afin de calculer le niveau de performance des cibles, les sous-cibles suivent un principe d'agrégation:

- niveau de base: satisfaire toutes les préoccupations de base
- niveau performant: satisfaire toutes les préoccupations de base et performantes
- niveau très performant: satisfaire toutes les préoccupations de base et performantes et atteindre un seuil minimum de points.

Ces points valorisent les initiatives innovantes dépassant nettement les performances habituelles.

Dernière particularité de la méthode, le principe d'équivalence: il permet d'accepter une méthode d'évaluation alternative, proposée par le Maître d'Ouvrage, sous la condition d'une justification adéquate. Réponse à la variété de solutions existantes, ce principe, valable à partir d'un niveau performant, est un gage de souplesse mais peut aussi compliquer l'évaluation.

Les 14 cibles étudiées par la QEB sont répertoriées dans le tableau 12, ci-dessous:

1. Relation du bâti avec son environnement immédiat	8. Confort hygrothermique
2. Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction	9. Confort acoustique
3. Chantier à faible impact environnemental	10. Confort visuel
4. Gestion de l'énergie	11. Confort olfactif
5. Gestion de l'eau	12. Qualité sanitaire des espaces
6. Gestion des déchets d'activité	13. Qualité sanitaire de l'air
7. Maintenance et pérennité des performances environnementales	14. Qualité sanitaire de l'eau

Tableau 12 : Les 14 cibles composant la QEB (Certivéa, 2010)

Pour que la certification ait lieu, il faut que le profil QEB réponde, au moins, aux exigences suivantes:

- Niveau "de base" atteint pour toutes les cibles
- Niveau "performant" atteint par au moins 4 cibles
- La cible 4, gestion de l'énergie, est au moins "performant"
- Niveau "très performant" pour au moins 3 cibles, autres que les 4 cibles "performant"

### 3.2.2 Détail des résultats

Pour évaluer la Ghelamco Arena selon la démarche HQE, une simple évaluation de la qualité environnementale des bâtiments (QEB) est réalisée. En effet, les bonnes pratiques qu'encourage à adopter le SMO servent à atteindre les niveaux de qualité fixés lors de la conception du projet. Puisque le stade est terminé, à l'exception de certains locaux devant être aménagés par les locataires, il serait artificiel d'évaluer, à posteriori, la méthodologie d'un travail déjà réalisé. D'autant que l'accès à ces informations est loin d'être évident et que l'évaluation des processus d'interaction entre les acteurs n'est pas l'objectif prioritaire de ce travail.

Contrairement à la procédure d'évaluation habituelle de HQE, l'évaluation est réalisée avant d'établir le profil de la QEB. En effet, l'évaluation des niveaux de performance va permettre de déduire si le stade est en mesure de proposer un profil certifiable. Il n'est pas question de spéculer, avant l'évaluation, sur un profil de QEB qu'il faudrait vérifier. Cette hypothèse est la conséquence de l'évaluation à posteriori d'un bâtiment qui ne souhaitait pas être certifié. Le détail de l'évaluation et des hypothèses réalisées est consultable au sein de l'annexe 3.

#### Cible 1: Relation du bâtiment avec son environnement immédiat

L'objectif de la cible est de décrire comment le projet exploite les potentialités du site et agit sur le milieu environnant: la collectivité, les écosystèmes et les riverains. Les préoccupations considérées sont:

- Les réseaux disponibles et leur entretien
- La biodiversité
- Les aspects liés au soleil, aux vues ou au calme
- L'influence du projet sur le confort et la santé des usagers

La cible est composée de trois sous-cibles citées dans le tableau 13:

1.1	Aménagement de la parcelle pour l'intégration dans un tissu urbain durable
1.2	Qualité d'ambiance des espaces extérieurs pour les usages
1.3	Impacts du bâtiment sur le voisinage

Tableau 13 : Sous-cibles composant la cible 1 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "performant" et 29 points sur les 60 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- L'attention portée sur l'accessibilité au site et les nombreuses mesures prises à cet égard.
- Le réaménagement d'un site bâti, en zone industrielle, dont les conditions initiales sont améliorées.
- La limitation des impacts négatifs sur le voisinage (pollutions sonore, acoustique, etc.).

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée pour les éléments suivants:

- La lutte contre les îlots de chaleur est insuffisante
- Les cheminements piétons abrités sont inexistantes depuis les parkings
- Le développement de solutions allant au-delà des exigences réglementaires

Le bon résultat dans cette cible s'explique, avant tout, par la sélection d'un site au sein duquel les conditions sont favorables.

Ainsi, son caractère industriel, son urbanisation préalable et l'éloignement des zones résidentielles font en sorte que le stade soit moins nuisible sur son voisinage que les bâtiments qui le composent.

L'amélioration des conditions initiales dans lesquelles le site se trouvait a grandement contribué à la bonne évaluation du stade. Le choix d'un site dont les conditions initiales étaient particulièrement défavorables permet, donc, au stade de facilement se mettre en évidence.

Le respect des exigences de la démarche vis à vis de la mobilité me paraît normal pour un stade de football de 20 000 personnes pour lequel cette thématique est un enjeu majeur. Applicables pour des salles de sport, dont la capacité est généralement bien moins importante, ces niveaux d'exigence n'ont rien d'insurmontables et sont, donc, facilement atteints.

A l'exception de la lutte contre les effets îlots de chaleur, les sous-cibles pour lesquelles le stade n'a pas obtenu de bons résultats ne me semblent pas réalistes. Il paraît, en effet, difficilement envisageable de réaliser des cheminements piétons abrités depuis les zones de stationnements extérieures, au vu de la capacité à prévoir. De même, surmonter nettement les exigences réglementaires, comme pour le pourcentage de surface végétalisée, était compliqué, financièrement ou physiquement, pour un projet de cette envergure.

## Cible 2: Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction

L'objectif de la cible est d'améliorer la qualité des interactions entre matériaux, systèmes constructifs, techniques de mise en œuvre, qualité architecturale et impacts environnementaux et financier, au travers de choix intégrés.

Les préoccupations de la cible sont:

- La qualité et la performance de l'ouvrage lors de son utilisation
- La facilité d'entretien et de nettoyage
- La liberté d'adaptabilité et la longévité du bâtiment

La cible est composée de quatre sous-cibles suivantes :

2.1	Choix constructifs pour la durabilité et l'évolutivité de l'ouvrage
2.2	Choix constructifs pour la facilité d'entretien de l'ouvrage
2.3	Choix des produits de construction afin de limiter les impacts environnementaux de l'ouvrage
2.4	Choix des produits de construction afin de limiter les impacts sanitaires de l'ouvrage

Tableau 14 : Sous-cibles composant la cible 2 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu le niveau de performance "de base" et 19 points sur les 40 possibles.

Les principaux éléments positifs développés par la Ghelamco Arena vis à vis de cette cible sont:

- Liberté d'adaptabilité dans le temps des espaces intérieurs par le choix des structures primaires et secondaires
- Choix de matériaux produits localement
- Choix de matériaux ou de dispositifs nécessitant peu d'entretien

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée pour les éléments suivants:

- Pas d'accès aux risques cancérigènes des produits constitutifs des surfaces
- Pas d'étude de différents scénarii pour la sélection des produits du gros œuvre

La Ghelamco Arena aurait obtenu le niveau très performant si différents scénarii pour la sélection des matériaux du gros œuvre avaient été réalisés. Il aurait également fallu intégrer un pourcentage minimal de bois dans la structure et avoir accès au contenu cancérigène de ses matériaux.

La pertinence de ces critères dans un stade de l'ampleur de la Ghelamco Arena me semble discutable. L'utilisation de bois structurel a-t-elle vraiment sa place dans un stade de cette taille ? A l'exception de la toiture plate du niveau 5, où des poutres en lamellé-collé auraient pu être utilisées, l'utilisation de bois pour la structure me paraît difficile. Si tel avait été le cas, il aurait fallu se poser la question de la compatibilité (et de la pertinence) entre les trois matériaux utilisés : bois – béton – acier et de leurs comportements physiques différents.

L'élaboration de différents scénarii peut être critiquée de manière semblable. Réaliser la structure en bois me paraît difficilement concevable, même si de nombreux exemples de ponts de chemins de fer en bois existent (Franssen, 2013). Quant à l'utilisation d'une structure métallique, elle doit faire face aux contraintes de sécurité incendie. La mise en vibration de la structure sous l'action du mouvement des supporters ne doit pas, non plus, être perdue de vue. En conclusion, l'utilisation d'autres matériaux pour la structure aurait sans doute été possible mais pour des raisons comme l'expérience, la rapidité d'exécution, le coût des solutions et de leur conception, une structure en béton semble être la solution la plus efficace.

L'accès à la classification cancérigène des produits est lié à la qualité de l'information disponible et à la hiérarchisation des priorités. Dans le cadre d'une vraie certification, ce critère aurait, sans doute, été validé car un effort aurait été fourni pour sélectionner des matériaux dont la description existe.

Les résultats par rapport à la durabilité, l'évolutivité et l'entretien sont très bons, ce qui n'est pas surprenant vu qu'une réflexion a été menée, notamment avec VEAMO, à ce sujet. Les critères d'évaluation de ces sous-cibles sont, toutefois, fort qualitatifs et ne requièrent que peu de données numériques.

Le contenu en substances nocives est, lui, bien plus décrit avec des concentrations maximales à ne pas dépasser. Les exigences portent sur tous les matériaux utilisés, hors il n'est pas toujours simple d'avoir accès à l'ensemble de ces données. Il est, évidemment, plus facile de prescrire dans un cahier des charges les concentrations maximums autorisées pour la sélection des matériaux plutôt que de réaliser un relevé et en vérifier la conformité, à posteriori. L'absence d'informations sur certains produits (la certification et les tests coûtent aux entreprises) peut orienter les auteurs de projets vers des produits dont ils sont sûrs d'avoir les informations. Le danger est, donc, de favoriser les grands groupes ou d'utiliser, sans cesse, les mêmes produits. La connaissance des produits disponibles sur le marché peut, donc, devenir très limitée.

### **Cible 3: Chantier à faible impact environnemental**

L'objectif de la cible est de réduire l'impact environnemental du chantier.

Les préoccupations de la cible sont:

- La réflexion sur les sources de pollution
- Le développement de séances de concertation entre les acteurs pour améliorer le déroulement et la perception du chantier

La cible est composée des trois sous-cibles:

3.1	Optimisation de la gestion des déchets de chantier
3.2	Limitation des nuisances pendant le chantier
3.3	Limitation des pollutions et consommations de ressources pendant le chantier

Tableau 15 : Sous-cibles composant la cible 3 (Certivéa, 2010)

Il a été décidé de ne pas réaliser l'évaluation de cette cible. L'accès à de nombreuses données est très difficile et leur consistance pas toujours garantie.

Si le début effectif des travaux date de 2006 avec le démantèlement de l'ancienne halle, ceux-ci ne sont pas encore tout à fait terminés puisque des espaces doivent encore être loués et/ou parachevés, malgré l'inauguration en juillet 2013. Entre ces deux dates, le chantier est resté plusieurs années à l'arrêt et l'entreprise générale chargée de la maîtrise d'œuvre a changé. Les personnes responsables ont, également, défilés, ce qui ne facilite pas l'accès à la ressource adéquate. Dans ce contexte, la réalisation d'une évaluation suffisamment représentative de la situation semblait difficilement possible.

#### Cible 4 : Gestion de l'énergie

L'objectif de la cible est la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et la prévention de l'épuisement des ressources.

Les préoccupations de la cible sont:

- L'architecture bioclimatique
- La limitation des consommations énergétique lors de l'exploitation
- Le choix de systèmes et vecteur énergétique optimisant les émissions de gaz à effet de serre et polluants
- 

La cible est composée des 3 sous-cibles:

4.1	Réduction de la demande énergétique par la conception architecturale
4.2	Réduction de la consommation d'énergie primaire
4.3	Réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère

Tableau 16 : Sous-cibles composant la cible 4 (Certivéa, 2010)

Afin de compléter les référentiels développés, parmi lesquels celui relatifs aux "Salles multisports, 2010" un addendum pour la cible 4 a été développé par Certivéa. Le but de celui-ci est d'épouser les exigences du durcissement de la réglementation énergétique, réalisé en France en 2012. Pour la destination nous intéressant, il se matérialise, exclusivement, par l'adaptation du niveau d'exigence de certains critères, comme la valeur du coefficient U de chaque paroi. Comme pour la PEB, cet addendum ne s'applique pas aux projets antérieurs à la nouvelle réglementation technique. Il n'a, donc, pas été considéré lors l'évaluation de la Ghelamco Arena.

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "base" et 0 points sur les 30 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- La réalisation et le respect des exigences de la PEB.
- L'installation de systèmes à haut rendement, par rapport aux normes lors de la conception.

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée pour les éléments suivants:

- Pas de réalisation d'une simulation thermique dynamique
- Pas d'utilisation ou production d'énergie renouvelable
- Pas d'optimisation des besoins énergétiques et des émissions

Pour obtenir la certification HQE, il faut que cette cible atteigne un niveau de performance "performant". Pour atteindre un tel niveau de performance il aurait fallu prendre en compte les principes du bio climatisme dans la conception du stade, réduire de 50% les consommations d'énergie par rapport aux consommations de référence, réaliser une simulation thermique dynamique et justifier le choix de vecteur énergétique en regard aux émissions de CO<sub>2</sub>.

L'absence de prise en compte des principes du bio climatisme dans la conception du stade illustre que la performance énergétique repose exclusivement sur l'utilisation de procédés techniques performants plutôt que sur une conception sage. A cet égard, le choix d'une façade intégralement vitrée est, évidemment, particulièrement pénalisant, surtout qu'aucune protection solaire n'est prévue. Bien sûr, la conception d'un stade multifonctionnel devant répondre à énormément de contraintes techniques ne permet pas l'intégration facile des principes du bio climatisme. Il aurait, quand même, certainement été possible de prendre quelques dispositions.

La réduction de 50% des consommations énergétiques par rapport à la consommation de référence est un critère qu'il était peu probable d'atteindre. En effet, la réglementation PEB à respecter exigeait un niveau E100. Celui atteint étant E80, un gain de 20% par rapport aux exigences légales est réalisé. Ce critère sanctionne, donc, l'écart entre les exigences HQE et celles de la PEB d'application. Les exigences PEB auxquelles se réfère le stade datent de 2006, tandis que le référentiel de la démarche a été élaboré en 2010. Entre les deux, la réglementation énergétique s'est fortement durcie. Les niveaux d'exigences et les sujets abordés sont bien plus détaillés, complexes et contraignants. Les contextes d'évaluation étant difficilement comparable, il me paraît peu pertinent de jeter la pierre à la Ghelamco Arena.

La réalisation d'une simulation thermique dynamique aurait permis d'augmenter la compréhension thermique du stade et d'en optimiser les consommations. Toutefois, le programme n'étant pas parfaitement fixé au moment de la conception et les exigences de certains espaces restant floues, des hypothèses ont dû être faites pour le dimensionnement du système HVAC. Celles-ci ont une influence sur la destination future des espaces puisqu'ils en limitent les possibilités. Vu l'ordre de précision des hypothèses et des données initiales et vu la complexité à mettre en œuvre pour réaliser une simulation thermique dynamique, (la réalisation de l'étude PEB a déjà été très compliquée), réaliser une telle simulation ne me semblait, effectivement, pas vraiment justifié.

La justification du choix de vecteur énergétique le plus adapté vis à vis des émissions de CO<sub>2</sub> aurait certainement été réalisée si les auteurs de projet avaient été invités à le faire. Ce qui est sanctionné, c'est que le choix s'est porté sur un système pour son efficacité énergétique, sa capacité à répondre aux besoins formulés par le dimensionnement et son accès facile à l'alimentation, plutôt que par ses rejets. La place étant laissée à la justification et au compromis, il me semble qu'un tel choix aurait certainement été validé.

Enfin, un meilleur résultat aurait été obtenu si l'installation de panneaux solaires avait été réalisée, comme ce fut un temps envisagé. La sous-cible ne tient, par contre, pas compte de tout le contexte influençant une telle prise de décision (subsidés, potentiel solaire, etc.). Face au manque de rentabilité de la solution, aucun panneau solaire n'a été installé. La cause principale est le faible prix de revente du surplus d'électricité produite au réseau. En Allemagne, de nombreux stades sont équipés de panneaux solaires parce que ces prix sont nettement plus intéressants. Des travaux ont, actuellement, lieu afin de développer des solutions permettant le stockage de l'électricité produite et son utilisation ultérieure. Ainsi, le surplus pourrait être réutilisé la nuit et l'indépendance par rapport au réseau serait totale. (Interview de Monsieur Bellin, 2014) L'installation de panneaux solaires thermiques ne me semblait pas pertinente, non plus. En effet, les besoins en ECS sont limités tandis que, vu les apports solaires et gains internes, le système HVAC doit travailler en refroidissement une bonne partie de l'année. Le responsable des infrastructures du club a expliqué qu'il est

possible d'installer un dispositif éolien de production d'électricité. Cette solution n'est, toutefois, pas à l'ordre du jour. (Interview de Monsieur Piens, 2014) De toutes façons, il me semble que la première priorité doit être de réduire les besoins énergétiques, avant de songer à des alternatives.

### Cible 5: Gestion de l'eau

L'objectif de cette cible est l'optimisation des quantités d'eaux utilisées et la rationalisation de l'exploitation des ressources à disposition.

Les préoccupations de la cible sont:

- La réflexion sur l'alimentation, la gestion des eaux de pluie
- L'évacuation des eaux usées

La cible est composée des sous-cibles répertoriées ci-dessous :

5.1	Réduction de la consommation d'eau potable
5.2	Optimisation de la gestion des eaux pluviales
5.3	Gestion des eaux usées

Tableau 17 : Sous-cibles composant la cible 5 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "de base" et 17 points sur les 40 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Utilisation d'eau de pluie pour couvrir l'arrosage de la pelouse et les besoins des WC
- Installation d'équipements à faible consommation en eau

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport aux éléments suivants:

- Pas d'amélioration du coefficient d'imperméabilisation du site
- Pas de recyclage ou traitement des eaux usées sur site

Le stade n'obtient qu'un niveau de performance "de base" malgré des efforts notables en matière de gestion rationnelle de l'eau. Ainsi, une attention particulière a été portée sur la réutilisation de l'eau de pluie. L'utilisation d'eau potable est, de ce fait, limitée aux douches, lave-mains, préparation des repas et nettoyage de la vaisselle. A côté de cela, l'installation d'équipements à faible consommation permet de réaliser facilement d'autres économies.

A échelle plus macroscopique, il est vrai que la présence des zones de parkings en asphalte pénalise fortement le stade et qu'il aurait été plus intéressant d'avoir recours à davantage de matériaux perméables. Cependant, vu l'état initial du site, la situation a été notablement améliorée. De plus, aucune infiltration à travers le sol ne pouvait être considérée. Face à ce problème, la solution de puits de rétention d'eau a été développée et menée au-delà des exigences légales. Ce travail n'est, cependant, pas valorisé dans l'évaluation.

Le recyclage des eaux usées, sur site, avant réutilisation, est aussi une solution intéressante faisant l'objet d'un critère. Cela permet de réduire les consommations d'eau potable et de ne pas surcharger les réseaux existants. Néanmoins, dans le cas présent, cette solution était peu réaliste vu l'importante quantité d'eau de pluie déjà réutilisée. De plus, comme la station d'épuration était en mesure de reprendre les eaux usées, qu'un réseau d'égouttage voisin existait, cette dépense supplémentaire ne paraissait pas justifiée.

Deux fichiers Excel sont fournis afin d'évaluer la consommation d'eau, la couverture des besoins par l'eau de pluie récupérée et les autres valeurs de calcul nécessaire. L'outil rapide fourni dans le fichier de calcul général s'avère plus intéressant car il est possible de l'adapter aux spécificités du projet. En effet, l'outil complet intègre plus de données mais ne fournit pas un résultat représentatif, dans le cas de la Ghelamco Arena. Par exemple, la pelouse doit être répertoriée comme espace vert mais la méthode n'accepte pas que sa consommation

soit supérieure à 0.8m<sup>3</sup>/jour. Les résultats calculés ne sont, donc pas représentatifs puisque la pelouse constitue la plus grosse consommation d'eau de pluie, avec les 2.4 m<sup>3</sup>/jour nécessaires pour la maintenir dans un état impeccable.

#### **Cible 6: Gestion des déchets d'activité**

L'objectif de cette cible est la limitation de la production de déchets et la réflexion sur leur mode de gestion, de tri et de valorisation in situ.

La cible est composée des deux sous-cibles reprises dans le tableau 18:

6.1	Optimisation de la valorisation des déchets d'activité
6.2	Qualité de gestion des déchets d'activité

Tableau 18 : Sous-cibles composant la cible 6 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "très performant" et 10 points sur les 10 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Optimisation des circuits de tri, collecte, recyclage et valorisation des déchets avec les entreprises responsables
- Dialogue avec l'entreprise responsable de la collecte des déchets pour gérer le flux produit
- Prise de mesures limitant les nuisances dues au stockage des déchets

Le niveau de performance atteint par le stade dans la gestion des déchets n'est pas une surprise. La présence à proximité d'une société de gestion des déchets a constitué une opportunité afin de prendre en compte les meilleures stratégies actuelles vis à vis de cette problématique. Ces résultats sont le fruit d'un échange constructif entre société et client et d'une gestion en bon père de famille.

Tous ces efforts sont remarquables mais aucun critère encourageant la réduction des déchets produits n'est présent. La réduction de la quantité de déchets produits et son optimisation me semblent, pourtant, être la première des priorités. Le déchet le mieux traité n'est-il pas le déchet inexistant? Un système de monitoring semblable aux consommations d'eau ou d'énergie pourrait facilement s'appliquer. Il pourrait servir d'outil pour réaliser des économies financières, en plus de diminuer l'impact environnemental. Pour un match de football, les quantités de déchets triées représentent, d'après les observations actuelles, entre 0,58 et 1,32 tonne.

## Cible 7: Maintenance, Pérennité des performances environnementales

L'objectif de la cible est la réduction des besoins de maintenance.

Les préoccupations de la cible sont:

- La simplification de l'exécution et la réduction de l'impact environnemental des produits et procédés
- La simplification de l'accès et de l'entretien
- La prise en compte des désagréments causés pour les exploitants par l'entretien
- La mise à disposition de moyens de contrôle des performances.

La cible se décline selon les sous-cibles suivantes :

7.1	Optimiser la conception des systèmes de l'ouvrage pour une maintenance simplifiée
7.2	Mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des consommations pendant l'exploitation de l'ouvrage
7.3	Mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des performances des systèmes et conditions de confort pendant l'exploitation de l'ouvrage

Tableau 19 : Sous-cibles composant la cible 7 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "très performant" et 46 points sur les 50 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Mise en place d'un dispositif complet de monitoring de l'ensemble des données du système de HVAC et du réseau d'eau
- Conception du bâtiment telle que la maintenance soit facilement et confortablement réalisable par l'opérateur
- Echanges utilisateur-gestionnaire des réseaux afin d'optimiser les performances des systèmes et contrôler leur bon fonctionnement

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport aux éléments suivants:

- Division du monitoring selon différentes zones au sein des locaux non réalisée

D'importants efforts ont été réalisés afin d'avoir un relevé et un contrôle le plus fin possible sur les systèmes HVAC. La prise en charge complète de ces aspects par une entreprise spécialisée permet de garantir des performances de haute qualité et d'adopter des stratégies judicieuses. La facilité d'accès aux différents éléments des réseaux est également plébiscitée afin que les éventuels problèmes ou adaptations puissent être aisément résolus. Pour aller plus loin, il aurait fallu réaliser un relevé de données encore plus fin en atteignant une division en zones des différents locaux. Il est clair qu'il s'agit là des meilleures pratiques existantes et qu'il faut garder un regard critique entre l'incrément de performance obtenu et la surcharge de complexité à mettre en œuvre. En l'occurrence, mettre en place un tel dispositif n'était probablement pas nécessaire, vu les niveaux  $E_w$  en jeu.

Si le bâtiment est énergétiquement quelconque, il ressort de cette cible que sa gestion en phase d'exploitation est extrêmement rigoureuse et performante. Etant donné que la majorité des coûts a lieu durant la phase d'exploitation, une gestion pointue, si elle ne garantit rien, favorise une consommation plus adaptée. Notons quand même que la vigilance doit être de mise par rapport à l'exploitation des outils. En effet, ce n'est pas parce qu'un outil de gestion en temps réel très performant est mis en place qu'il sera effectivement utilisé correctement. Il est, néanmoins, légitime de penser que l'utilisation des outils sera réalisée dans les règles de l'art.

## Cible 8: Confort hygrothermique

L'objectif de la cible est de garantir le confort hygrothermique des utilisateurs, au cours du temps.

Les préoccupations de la cible sont:

- L'utilisation de systèmes passifs, de simulations aérauliques et thermiques dynamiques
- La réflexion sur les baies et leur système d'ouverture.

La cible est composée des quatre sous-cibles:

8.1	Dispositions architecturales visant à optimiser le confort hygrothermique en hiver comme en été
8.2	Création de conditions de confort hygrothermique en hiver
8.3	Création de condition de confort hygrothermique en été dans les locaux n'ayant pas recours à un système de refroidissement
8.4	Création de conditions de confort hygrothermique en été dans les locaux ayant recours à un système de refroidissement

Tableau 20 : Sous-cibles composant la cible 8 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena n'a pas obtenu le niveau de performance "de base", malgré 9 points sur les 12 possibles.

Les principaux éléments positifs de la Ghelamco Arena vis à vis de cette cible sont:

- Mise en place d'un système performant de régulation des conditions de confort, pour toute saison
- Respect des meilleures normes vis à vis du confort (vitesse de l'air, débits, températures, etc.)

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport aux éléments suivants:

- Pas de conception bioclimatique

Le niveau de performance obtenu lors de l'évaluation de cette cible est la conséquence de mauvais résultats dans la sous-cible 8.1. En effet, la Ghelamco Arena porte une grande attention à respecter les normes les plus pointues en utilisant des systèmes techniques évolués. Par contre, aucun acte architectural ou action conceptuelle ne permet de réduire les besoins, par exemple en refroidissement. Il est clair qu'un stade multifonctionnel a un programme qu'il n'est pas facile de gérer, que l'intégration d'éléments de brise-soleil dans une façade intégralement vitrée n'est pas évidente mais il est frappant de constater qu'il n'y a pas eu la moindre action bioclimatique.

La comptabilisation des points perd de sa pertinence car de nombreux critères de la cible n'ont pas été évalués. Ceux-ci cherchent à garantir un niveau minimum de performance de la ventilation des espaces sportifs. Pour l'évaluation d'un stade, au sein duquel la pratique sportive se fait en extérieur, ces critères n'ont aucune de raison d'être. Ceux-ci retrouvent, par contre, tout leur sens dans le cas où le stade dispose d'un toit rétractable, ce qui n'est, toutefois, pas le cas de la Ghelamco Arena.

## Cible 9: Confort acoustique

L'objectif de la cible est le maintien du contact auditif avec l'environnement sans que les activités des utilisateurs ne soient perturbées.

La cible est composée des deux sous-cibles suivantes:

9.1	Optimisation des dispositions architecturales pour protéger les usagers des nuisances acoustiques
9.2	Création d'une qualité d'ambiance acoustique adaptée aux différents locaux

Tableau 21 : Sous-cibles composant la cible 9 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "base" et 8 points sur les 25 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Choix de partitionnements internes respectant les critères d'isolation acoustique requis et respect des normes acoustiques
- Réalisation d'une étude de l'incidence acoustique du stade

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport aux éléments suivants:

- Absence de dispositions architecturales, volumétriques ou formelles permettant l'amélioration des conditions acoustiques intérieures

Cette cible illustre que la réponse apportée par le stade à l'acoustique interne se fait principalement de manière technique plutôt que conceptuelle. Un critère, traitant des stratégies, sanctionne cette attitude par sa non-réalisation. Or, répondre aux exigences de ce critère est nécessaire pour obtenir le niveau performant.

A nouveau, de nombreux critères de la cible n'ont pu être évalués car ils n'ont pas de pertinence dans le cas d'un stade à l'air libre. Par exemple, le temps de réverbération dans la zone sportive n'a pas de sens, alors qu'il est prépondérant pour une salle multisport. Similairement à la cible précédente, ces critères retrouveraient, par contre, tout leur sens si le stade disposait d'un toit rétractable.

Dans le cas de la réalisation d'un stade sans toit rétractable, la réalisation d'une étude acoustique des gradins pourrait s'avérer intéressante afin de garantir qu'outre un impact limité sur le voisinage, une ambiance acoustique agréable soit développée.

### **Cible 10: Confort visuel**

L'objectif de la cible est la mise à disposition d'une qualité d'éclairage suffisante, préférentiellement naturelle.

La cible est composée des deux sous-cibles ci-dessous:

<b>10.1</b>	Optimisation de l'éclairage naturel
<b>10.2</b>	Eclairage artificiel confortable

Tableau 22 : Sous-cibles composant la cible 10 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "base" et 11 points sur les 20 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Accès aux vues et à la lumière naturelle pour presque tous les locaux occupés et pour une grande partie des circulations
- Mise en place d'un système d'éclairage artificiel ajustable respectant toutes les normes de confort (IRC, Tc, uniformité), pour chaque type d'espace.

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport aux éléments suivants:

- Absence d'accès à la lumière naturelle pour les vestiaires
- Absence de mesures spécifique contre l'éblouissement, à l'intérieur des locaux, provoqué par la lumière naturelle.

Le stade aurait obtenu un niveau performant s'il n'y avait pas eu de critère évaluant les mesures prises contre l'éblouissement dû à la lumière naturelle. Celui-ci traduit le développement de solutions type casquettes, masques naturels qui sont absentes du stade. Ce seul critère empêche le stade de valoriser ce qui est sensé constituer un de ses points forts.

Vu le type de façade, il n'est pas surprenant de voir le stade obtenir de bons résultats vis à vis de l'accès à la lumière naturelle et aux vues. Le choix de développer des systèmes d'éclairage artificiel ajustables par les utilisateurs, dans le même ordre d'idée que la gestion des conditions hygrométriques, est apprécié. La possibilité de régler l'éclairage de la pelouse selon trois modes témoigne, encore, du souci de gestion économique des consommations, comme la cible sur la maintenance des performances en avait donné un aperçu. En revanche, les critères sur l'accès et la qualité de la lumière naturelle dans l'espace sportif n'ont pas été évalués. Comme d'autres discutés précédemment, ces critères ne trouvent pas la pertinence qui est la leur pour les pratiques sportives intérieures.

### Cible 11: Confort olfactif

Les préoccupations de la cible sont:

- L'action sur la ventilation et les sources d'odeur internes
- L'utilisation de solutions passives diminuant les effets des sources d'odeur extérieures.

La cible est composée des deux sous-cibles décrites par le tableau 23:

11.1	Garantie d'une ventilation efficace
11.2	Maîtrise des sources d'odeurs désagréables

Tableau 23 : Sous-cibles composant la cible 11 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "de base" et 6 points sur les 15 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Respect des normes et prescriptions des normes NBN en vigueur
- Identification des locaux à risque sur le plan olfactif et traitement individualisé de la ventilation au sein de ceux-ci

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée vis à vis des éléments suivants:

- Possibilité d'améliorer l'étanchéité de certains éléments
- Pas de réalisation d'une étude aéraulique détaillée permettant de garantir un balayage optimal des espaces par l'air

La Ghelamco Arena, malgré un résultat "de base", est plutôt performante au sein de la cible grâce à son respect de l'ensemble des normes de référence. Au-delà de la simple prescription de solutions techniques, la vérification de leur performance effective a également été réalisée et démontré la conformité avec la situation visée.

La réalisation d'une étude sur les locaux sources d'odeurs, les cuisines, et la mise en place d'un traitement individualisé de leur flux d'air est une mesure appréciée afin d'éviter toute propagation malheureuse.

Une étude aéraulique complète et approfondie aurait pu être intéressante afin de bien cerner l'ensemble des besoins et exigences. Cependant, les espaces au sein du stade ne nécessitent, qu'à quelques exceptions près comme les locaux médicaux, pas vraiment une qualité d'air parfaite. Une telle étude aurait été plus intéressante pour cerner les mouvements d'air dans les tribunes ou aux abords du stades.

### Cible 12: Qualité sanitaire des espaces

L'objectif de la cible est de limiter les sources d'ondes électromagnétiques ou de danger sanitaire.

La cible est composée des deux sous-cibles suivantes:

12.1	Maitrise de l'exposition électromagnétique
12.2	Création de conditions d'hygiène spécifiques

Tableau 24 : sous-cibles composant la cible 12 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena n'a pas obtenu le niveau de performance "de base", malgré 8 points sur les 15 possibles.

Les principaux éléments positifs de la Ghelamco Arena vis à vis de cette cible sont:

- Développement de stratégies facilitant le nettoyage des locaux et limitant le développement bactérien et fongique
- Prise de dispositions permettant garantir le maintien des conditions hygiéniques de qualité, au sein des locaux

A contrario, la Ghelamco Arena n'a pas porté d'attention aux risques électromagnétiques

Le stade ne reçoit aucune classification pour cette cible parce qu'il n'a pas été tenu compte des risques électromagnétiques. Dans le cadre d'une certification réelle, il n'aurait pas été difficile d'atteindre le niveau de base puisqu'il est simplement demandé d'identifier les sources d'ondes électromagnétiques et de radiofréquences. La couverture des événements sportifs par les médias fait du stade un important producteur d'ondes radios et électromagnétiques. L'approfondissement des recherches sur les risques réels des ondes sur la santé et leur résultats devront, donc, être exploités dans les stades.

Par contre, la seconde sous-cible a été très bien traitée puisque de nombreuses mesures ont été prises afin de garantir de bonnes conditions hygiéniques et leur maintien dans le temps. Ici encore, les stratégies simples adoptées qui permettent de faciliter le nettoyage sont des sources d'économies financières en phase d'exploitation.

### Cible 13: Qualité sanitaire de l'air

L'objectif de la cible est la limitation de la pollution de l'air due aux gaz chimiques, fibres, poussières, etc.

Les préoccupations de la cible sont:

- La ventilation
- La réduction des sources internes
- L'emploi de solutions passives protégeant l'environnement intérieur des sources extérieures.

La cible est composée des trois sous-cibles énumérées dans le tableau 25:

13.1	Garantie d'une ventilation efficace
13.2	Maitrise des sources de pollution internes
13.3	Maitrise des sources de pollution externes

Tableau 25 : Sous-cibles composant la cible 13 (Certivéa, 2010)

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "de base" et 6 points sur les 20 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Réalisation d'une étude sur les risques de pollution extérieure, conformément aux exigences formulées par les normes
- Développement d'un système de ventilation respectant les prescriptions formulées par NBN (cf. cible 11)

A contrario, la Ghelamco Arena a été sanctionnée par rapport aux éléments suivants:

- Pas de simulation aéraulique réalisée
- Dispositions "de base" dans la procédure de sélection des matériaux contenant des formaldéhydes et COV (cf. cible 2)

Les deux premières sous-cibles sont un récapitulatif des cibles 11 et 2, les critères sont les mêmes. La pertinence de cette redondance pose question.

La troisième sous-cible traite des risques de pollution extérieure et de mesures prises vis à vis de ceux-ci. Un tel critère est intéressant mais aurait mérité davantage d'attention que l'étude des concentrations en radon et la réalisation d'une étude des risques. En effet, dans le cadre du réaménagement de friches industrielles ou de terrains urbanisés, outre l'étude du degré de pollution du sol, les mesures prises pour l'assainir doivent être considérées. Ces mesures sont coûteuses mais auront un impact positif pour l'exploitant du site et la communauté voisine. Elles doivent, donc, être valorisées.

Il est souvent dit que la végétalisation des surfaces améliore la qualité de l'air. Peut-être qu'un critère de végétalisation des surfaces pourrait, ici aussi, trouver sa place.

Dans l'idée collective que la pratique sportive doit être bonne pour la santé, peut-être serait-il intéressant d'intégrer un critère d'implantation du stade au sein d'un environnement avec une bonne qualité d'air. En effet, on peut se poser la question de savoir si la pratique sportive dans un environnement pollué est réellement positive. Un tel critère serait contradictoire avec l'utilisation d'un site sur une friche industrielle et poserait la question de la dégradation de la qualité de l'air suite au flux automobile généré par le stade.

#### **Cible 14: Qualité sanitaire de l'eau**

L'objectif de la cible est de garantir la qualité de l'eau utilisée.

La cible est composée des trois sous-cibles reprises dans le tableau 26:

<b>14.1</b>	Qualité de la conception du réseau intérieur
<b>14.2</b>	Maitrise de la température dans le réseau intérieur
<b>14.3</b>	Maitrise des traitements

**Tableau 26 : Sous-cibles composant la cible 14 (Certivéa, 2010)**

La Ghelamco Arena a obtenu pour cette cible un niveau de performance "très performant" et 10 points sur les 15 possibles.

Les principaux éléments positifs qui ont permis à la Ghelamco Arena d'atteindre ce niveau de performance sont:

- Mise en place de système permettant le contrôle aisé des traitements appliqués à l'eau et bonne compréhension de ceux-ci
- Structuration, calorifugeage et choix de matériaux adaptés des réseaux d'eau
- Monitoring précis de la température au sein du réseau d'eau

A contrario, la Ghelamco Arena n'a que peu porté attention aux éléments suivants:

- Emploi exclusifs de produits chimiques pour limiter le risque de légionellose

La réutilisation d'eau de pluie et la volonté d'optimisation des consommations entraînent inévitablement une structuration des réseaux très claire. Sans cela, il serait impossible de garantir la qualité de l'eau distribuée et la réalisation d'un monitoring poussé. De même, le calorifugeage des conduites est indispensable lorsqu'il s'agit de transporter de l'ECS de manière efficace. Ces mesures ont été reconnues et ont valu de nombreux points à la Ghelamco Arena.

Le recours à des produits chimiques est justifié par la volonté d'éviter les surconsommations énergétiques. En effet, il paraît peu intéressant de chauffer l'ECS à 55° pour ensuite la mélanger à de l'eau froide afin de la ramener à une température confortable.

### 3.2.3 Récapitulatif des résultats et limitations

#### Résultats

Au terme de cette évaluation, la Ghelamco Arena obtient le profil de performance de la QEB suivant :

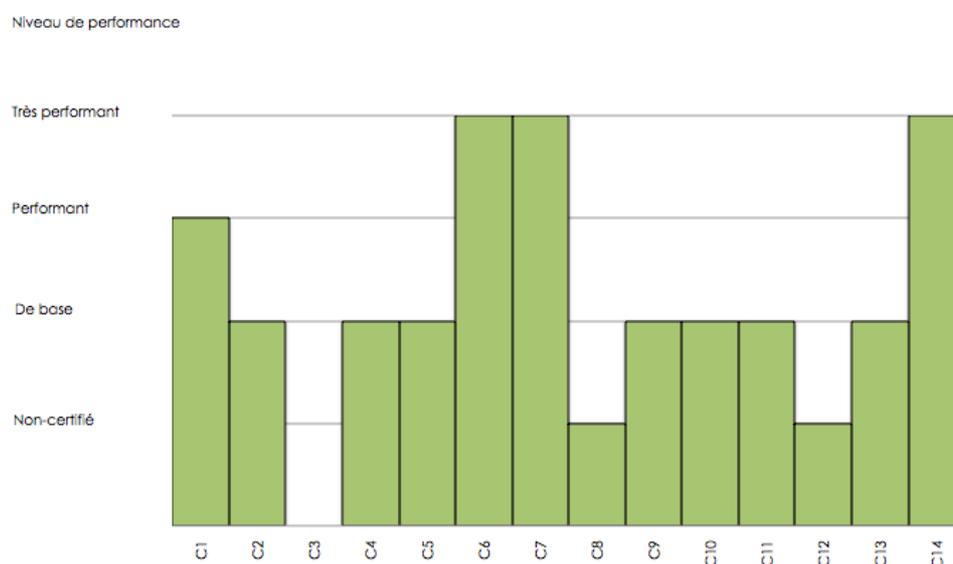


Tableau 27 : Profil QEB de l'évaluation de la Ghelamco Arena

Celui-ci doit être observé avec toute la critique évoqué précédemment et en connaissance des hypothèses réalisées. Un tel profil signifie que la Ghelamco Arena ne remplit pas les conditions de certification requises. En effet, il aurait fallu que toutes les cibles soient au moins "de base", la cible 3 n'est pas prise en considération, que la cible 4 soit au minimum "performant" et que deux autres cibles soient "performant" ou mieux. L'exigence de 3 cibles "très performant" est, par contre, atteinte.

La principale raison pour laquelle deux critères n'atteignent pas le niveau "de base" provient de l'absence d'application des principes du bio climatisme. L'essentiel de la performance du stade repose sur des choix techniques et le respect de toutes les normes et exigences légales à disposition. Dans l'optique de l'application des principes du développement durable, il est clair qu'il est logique de sanctionner un projet ne tirant pas profit de ces règles de conception. La nuance doit, tout de même, être apportée en précisant que la complexité d'un stade multifonctionnel n'est pas la même que celle d'une maison unifamiliale.

La réflexion portée sur une gestion optimale durant la phase d'exploitation a été récompensée au travers du niveau "très performant" obtenu par les cibles 6 et 7 sur la gestion des déchets d'activité et la pérennité des performances environnementales.

D'autres thèmes, censés être les points forts du stade n'ont, eux, pas été récompensés, comme la gestion de l'eau ou le confort visuel.

Vu la durée entre le début de la conception et la livraison, la thématique énergétique n'était pas facile à aborder: début de la conception en 2002, début du chantier en 2006, livraison en 2013. Durant ce laps de temps, les exigences énergétiques ont fortement évolué, alors que leur réponse au sein du stade n'était pas facilement adaptable.

Comme pour LEED, certains critères auraient facilement été atteints si les auteurs de projet en avaient eu la connaissance. L'absence de celle-ci s'explique parce que l'ambition des auteurs de projet n'était pas l'obtention d'une certification.

## Limitations

Aucune cible n'aborde le recours à des techniques innovantes qui pourraient ne pas être prises en compte dans l'outil. Un tel critère permettrait d'encourager les auteurs de projet à utiliser des solutions à la pointe de l'évolution et d'en tirer une reconnaissance. Ainsi, la recherche serait soutenue. De même, les équipes de projet n'ont aucun intérêt à utiliser des solutions allant au-delà des exigences minimales du niveau "très performant". Il n'y a, en effet, pas de reconnaissance supplémentaire à réaliser un hypothétique projet parfait, digne d'un 100/100. Certes, il y a les points au sein de chaque cible mais ceux-ci me semblent davantage destinés au calcul du niveau de performance qu'à une éventuelle valorisation du bâtiment.

De nombreux critères sont validés moyennant la prise de dispositions, l'élaboration de plans ou de notes, la consultation d'un expert ou la réalisation d'une étude d'évaluation. De tels critères ont l'intérêt d'encourager les équipes de projet à aller plus loin dans la compréhension des conditions liées au projet ou à réaliser le travail selon de bonnes pratiques. Néanmoins, ces crédits ne constituent en aucun cas une garantie qu'un niveau de performance sera atteint. En effet, rien n'indique que les bonnes décisions soient prises après ces phases d'information. De même, il semble probable que des études puissent être menées dans la seule ambition de réaliser le critère. Leur contenu n'est, d'ailleurs, pas toujours spécifié de manière très précise, ce qui laisse de la marge à l'interprétation. Tout cela est, évidemment, préjudiciable. Au-delà des bonnes pratiques, il me semble que des résultats probants doivent, tout de même, être mesurables si on veut prétendre à une certification.

Pour obtenir un niveau de performance "performant" au sein d'une cible, il est nécessaire de satisfaire les exigences d'un critère type "stratégies de conception". Il est sain d'encourager les équipes de projet à ne pas se contenter de choisir des systèmes ou technologies de pointe pour améliorer leur niveau de performance mais à, également, réfléchir. Par contre, si l'idée est bonne, sa mise en application est délicate puisque la réponse conceptuelle dépend grandement des opportunités du projet et de son site, qui sont plus ou moins uniques. L'estimation est laissée à l'évaluateur qui doit déterminer si les stratégies sont suffisantes ou adéquatement justifiées. La procédure ne semble pas très scientifique puisqu'aucun matériel standardisé ne garantit que la même situation évaluée par deux personnes différentes donnerait le même résultat.

Pour obtenir un niveau très performant, certains critères exigent le dépassement des exigences réglementaires locales selon un pourcentage préalablement fixé. De tels critères sont une traduction intéressante des réalités locales puisque les réglementations sont censées représenter les pratiques normales du marché. Néanmoins, le pourcentage fixe de dépassement peut ne pas représenter partout le même effort. En effet, malgré la définition, la sévérité d'une norme n'est pas forcément la même partout.

La similarité entre les salles multisports et les stades était intéressante pour l'évaluation et la compréhension des espaces concernés par la pratique sportive. En effet, bon nombre de préoccupations spécifiques, comme les niveaux d'éclairage, sont communes. Par contre le fait que l'espace de pratique sportive du stade soit ouvert, contrairement à la salle multisports a rendu l'évaluation de certains critères peu pertinente. Techniquement, la question s'est posée de savoir comment gérer les points au sein des cibles concernées. La logique a voulu qu'un critère non-pertinent soit neutralisé. Tout se déroule, donc, comme s'il n'avait jamais existé. Par contre, un critère pour lequel l'évaluation est impossible, par manque d'informations par exemple, est, lui, considéré comme non-atteint.

Le mode d'évaluation fait en sorte que chaque critère évalué ait un impact direct dans l'évaluation globale. En effet, ne pas valider un seul critère "de base" suffit pour que le bâtiment complet ne puisse être certifié. Pour les niveaux "performant" et "très performant", cette répercussion est plus douce puisque seule la cible concernée se verra attribuer le niveau de performance inférieur. Ainsi, malgré le nombre de critères, il n'y a pas d'effet "goutte d'eau dans l'océan", puisqu'ils sont tous importants.

Alors que des critères sur le monitoring des consommations énergétiques et en eau existent, il est étonnant qu'il n'y ait pas d'équivalent pour les déchets produits. En effet, le traitement des déchets constitue un enjeu environnemental et une source de coûts majeurs dans une

enceinte sportive. Outre les dispositifs de tri, réutilisation, recyclage, etc, n'est-il pas utile de veiller à réduire la quantité de déchets produits et ainsi, réduire les traitements nécessaires?

La définition du profil QEB par les acteurs peut être une arme à double tranchant. D'une part, les décideurs peuvent faire de certaines cibles des priorités, sans avoir de remords. Cela aide à gérer l'interaction, parfois contradictoire, entre des critères de cibles différentes. D'autre part, il est probable que certains décideurs soient tentés de se contenter du niveau minimum correspondant à leurs objectifs. En l'absence de reconnaissance supplémentaire, peu auront l'envie d'investir davantage d'efforts et d'argent dans des solutions plus performantes.

Les cibles liées au confort n'intègrent pas de critère lié à la possibilité d'action des utilisateurs sur leur environnement. Il est, pourtant, intéressant de permettre aux utilisateurs d'agir sur la température du local dans lequel ils se trouvent, la température de l'ECS, l'intensité de l'éclairage, etc. Comme c'est le cas dans la Ghelamco Arena, l'action de l'utilisateur peut être limitée à un intervalle préalablement défini afin d'éviter les surconsommations.

Le critère d'accès à la lumière naturelle et aux vues depuis les vestiaires est pertinent mais pose la question du respect de l'intimité, qui n'apparaît nulle part. Dans le même ordre d'idée, aucun critère social traitant du bien-être, de la qualité d'ambiance et axés sur l'utilisateur ou sur l'impact positif du stade sur une communauté ne sont développés. Si cette thématique peut broder des sujets difficiles à évaluer objectivement, d'autres éléments comme la qualité de vision depuis un gradin, l'attention portée envers les PMR pourraient être évalués.

Contrairement à l'évaluation de la QEB, les observations faites sur le SMO au sein de ce travail sont théoriques. Elles reposent exclusivement sur le guide pratique fourni avec le référentiel. L'objectif du SMO est d'améliorer les pratiques du monde de la construction en améliorant l'organisation, la compréhension des processus et la programmation des opérations. Ainsi, la qualité de réalisation de l'ouvrage est censée s'améliorer.

Le fond de la démarche est positif car les acteurs sont invités à se rencontrer très tôt dans la phase de conception pour mieux gérer un certain nombre de contraintes. L'ensemble des exigences et tâches de chacun des acteurs est exprimé clairement et porté à la connaissance de tous, ce qui ne peut qu'améliorer la compréhension. Il en va de même pour toute adaptation ou validation, durant le processus. Le principal problème est la quantité de documents à produire. Celle-ci est très importante puisque chaque décision doit être consignée par écrit et transmise à tous les intervenants. Chaque écart, par rapport à ce qui était prévu initialement, doit, également, faire l'objet d'un rapport en décrivant les causes exactes et le moyen de l'éviter à l'avenir. Outre un travail de consigne devenant rapidement conséquent, le risque est grand que les informations critiques soient noyées dans le flux d'informations. Par exemple, un document individuel doit décrire de manière précise chacune des phases de revue du projet qui est menée: ce qui sera vérifié, comment, par qui, pourquoi, etc. En caricaturant un peu, on peut dire que le contrôle hebdomadaire de l'avancement du chantier doit faire l'objet d'un cahier des charges.

S'inspirer du SMO pour adopter de bonnes pratiques d'organisation, pour améliorer le dialogue me paraît constituer une plus-value. Aller aussi loin dans le détail des pièces justificatives me paraît, en revanche, excessif, voire nuisible.

## 3.3 BREEAM

### 3.3.1 Présentation de la méthode

Lancée en 1993 au Royaume-Uni, la méthode BREEAM a l'ambition de s'appuyer sur une approche scientifique. Elle est développée continuellement par le BRE Global et les Nation Scheme Operators (NSO's), des organisations indépendantes adaptant les référentiels aux spécificités des pays dans lesquels ils se trouvent. Deux autres organes vérifient que les clients sont traités équitablement et que la méthode bénéficie de l'expertise technique et scientifique nécessaire. Depuis sa création, le nombre de programmes d'évaluation BREEAM n'a cessé d'augmenter. Cependant, tous dérivent des mêmes principes et exigences stratégiques, le BRE Global Code for Sustainable Built Environment. Bien que l'approche soit très flexible, il doit garantir le caractère scientifique, robuste et performant. (BRE Global Ltd., 2013)

La version à laquelle le travail se réfère est le BREEAM International pour la construction neuve 2013. Ce référentiel s'utilise dans les pays sans NSO afin d'évaluer les nouveaux bâtiments lors de la conception ou de la construction. Durant son cycle de vie, le bâtiment devra minimiser ses impacts négatifs sur l'environnement et maximiser ses impacts socio-économiques positifs. Les fiches BREEAM devront servir à l'évaluateur pour la réalisation d'une évaluation rigoureuse mais aussi aux équipes de projet pour déterminer leurs objectifs.

La méthode est articulée autour de 10 sujets abordant le développement durable sous l'aspect environnemental. L'équipe est libre de choisir les sujets d'évaluation en fonction du niveau de certification qu'elle souhaite atteindre.

Le BRE Global a divisé la destination des bâtiments en deux familles. Les bâtiments standards, pour lequel un référentiel est utilisable tel quel, et les bâtiments non-standards pour lesquels un aménagement des critères doit être réalisé. Cette division est illustrée par le tableau 28. Ainsi, selon le projet, mais pas sa localisation, le BRE Global va modifier la pondération des critères pour augmenter la cohérence de l'évaluation. Aucun critère n'est ajouté par rapport à la version de base. En revanche, un critère qui ne pourrait s'appliquer à une partie du bâtiment est supprimé pour l'ensemble du bâtiment. La suppression d'un critère n'est jamais justifiée par une exigence trop contraignante. Dans le cas d'un bâtiment multifonctionnel, les scores sont calculés séparément selon les référentiels spécifiques et sont ensuite agrégés au prorata des surfaces de plancher.

Secteur	Type de fonction	Fonction
<b>Résidentiel</b>	Résidentiel	Logements individuels ou collectif
<b>Non résidentiel, standard</b>	Bureaux	Bureau (+ laboratoire de recherche)
	Industrie	Unité industrielle de production ou stockage
	Commerce	Magasins, Fournisseurs de services sur le comptoir, Horeca
<b>Non résidentiel, non-standard</b>	Communautaire	Salle de conférence, Equipements sportifs, Bibliothèques, Hôpitaux, Ecoles, Cinémas et Théâtres
	Institutions résidentielles	Hôtels, Maison de repos, Internats, Baraquements militaires
	Public	Prisons, Tribunaux, Commissariat de police, Casernes de pompiers, Terminaux de transports publics, Musées, Lieux de Culte

Tableau 28 : Destinations évaluées par les référentiels BREEAM (BRE Global Ltd., 2013)

L'évaluation peut être menée durant la phase de conception ou entre la fin de la construction et la livraison. Dans le premier cas, une évaluation intermédiaire est octroyée, dans l'attente que l'évaluation post-construction confirme la correspondance entre les performances visées et celles effectives. Si tel est le cas, la certification est accordée. L'évaluation selon BREEAM porte sur les thématiques reprises dans le tableau 29, ci-dessous.

Management	Energie	Innovation
Eau	Déchets	Pollution
Santé et bien-être	Transport	
Matériaux	Utilisation de terrain et écologie	

Tableau 29 : Thématiques évaluées par BREEAM (BRE Global Ltd., 2013)

BREEAM insiste sur le fait que la conformité d'un critère puisse contrebalancer la non-conformité d'un autre. Néanmoins, pour garantir des performances fondamentales, des standards minimaux ont été définis. Ces standards doivent être vus comme des seuils minimaux à valider pour obtenir la certification. Ils sont communs à tous les programmes d'évaluation BREEAM, ainsi qu'aux référentiels sur mesure. Plus le grade à atteindre est élevé et plus le nombre de standards minimaux à satisfaire est important. Le tableau 30 résume les standards minimums à valider pour obtenir la certification selon les différents grades.

Chaque thématique possède une pondération déterminée par un jury d'experts. Cette pondération peut être adaptée sur base d'informations transmises par des experts locaux au BRE Global. Le but de cette adaptation est d'être le plus en phase possible avec les conditions locales.

Lorsque le score final de l'évaluation est calculé, un grade est attribué au projet selon les barèmes repris dans le tableau 31. BREEAM exprime, également, en toute transparence à quelle part du marché immobilier correspondent les différents grades.

Chacun des sujets est divisé en thèmes abordant les impacts du bâtiment sur son environnement ou sur les occupants. Des crédits leur sont attribués selon l'importance de mitiger l'enjeu qu'ils représentent.

Grade	Score (%)	Part du marché (%)
<b>Exceptionnel</b>	$\geq 85$	$\leq 1$ (innovant)
<b>Excellent</b>	$\geq 70$	$\leq 10$ (meilleures pratiques)
<b>Très bon</b>	$\geq 55$	$\leq 25$ (bonnes pratiques - avancé)
<b>Bon</b>	$\geq 45$	$\leq 50$ (bonnes pratiques - intermédiaire)
<b>Satisfaisant</b>	$\geq 30$	$\leq 75$ (bonnes pratiques - standard)
<b>Non-Classé</b>	$< 30$	

Tableau 30 : Score à atteindre pour obtenir chaque grade et correspondance entre les grades attribués par BREEAM et la part du marché immobilier qu'ils représentent. (BRE Global Ltd., 2013)

Lorsqu'un bâtiment va au-delà des meilleures pratiques, il peut être récompensé par l'obtention de crédits additionnels. Ceux-ci sont obtenus en satisfaisant les exigences des niveaux exemplaires proposées par le référentiel ou en démontrant une innovation. Ce dernier critère, pour lequel un dossier de description doit être validé par le BRE Global, permet l'ajout automatique d'un point au score final global.

Pour réaliser le calcul du score global selon BREEAM, l'évaluateur doit calculer le pourcentage de crédits validés au sein de chaque thématique. Ce pourcentage est multiplié par la pondération de la thématique. L'addition de tous les scores pondérés donne le score global de l'évaluation BREEAM.

Pour profiter de l'expérience acquise les fiches d'étude des bâtiments ayant obtenu un grade Exceptionnel sont consultables sur le site internet du BRE.

Lorsque des normes, standards ou codes de bonnes pratiques locales sont utilisées par les équipes de projet, il leur est demandé d'en envoyer les références au BRE Global. S'ils sont acceptés, ces textes peuvent substituer les niveaux d'exigences du référentiel de base.

	Satisfaisant	Bon	Très bon	Excellent	Exceptionnel
<b>Man 01 : Approvisionnement soutenable</b>	1 crédit	1 crédit	1 crédit	1 crédit	2 crédits
<b>Man 02 : Pratiques de construction responsables</b>	/	/	/	1 crédit	2 crédits
<b>Man 04 : Participation des parties prenantes</b>	/	1 crédit *	1 crédit *	1 crédit *	3 crédit *
<b>Hea 1 : Confort visuel</b>	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1
<b>Hea 02 : Qualité d'air intérieure</b>	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1
<b>Hea 04 : Qualité de l'eau</b>	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1
<b>Hea 08 : Espace extérieur privatif</b>	/	/	/	/	1 crédit
<b>Ene 01 : Réduction des émissions de CO<sub>2</sub></b>	/	/	/	6 crédits	10 crédits
<b>Ene 02 : Monitoring énergétique</b>	/	/	1 crédit *	1 crédit *	1 crédit *
<b>Ene 04 : Technologie basses ou zéro émissions de carbone</b>	/	//	/	1 crédit	1 crédit
<b>Wat 01 : Consommation d'eau</b>	/	/	1 crédit	1 crédit	2 crédits
<b>Wat 02 : Monitoring de l'eau</b>	/	Critère 1	Critère 1	Critère 1	Critère 1
<b>Mat 03 : Approvisionnement soutenable</b>	/	/	/	/	Critère 1
<b>Wst 01 : Gestion des déchets de construction</b>	/	/	/	/	1 crédit
<b>Wst 03 : Déchets opérationnels</b>	/	/	/	1 crédit	1 crédit

Tableau 31 : Standards minimaux à valider pour chaque grade de la certification BREEAM. (BRE Global Ltd., 2013)

### 3.3.2 Limitations et particularités

Le référentiel BREEAM décrit les règles de l'évaluation et les objectifs visés par la certification au travers des grades possibles. Son but est d'améliorer les bâtiments moyens qui représentent la plus grande part du marché. Pour cela, les premiers grades ne sont pas trop difficiles à atteindre) et n'entraînent qu'un faible surcoût rapidement rentabilisé dans le temps. Il faut également admettre que vu le coût de la certification, les clients souhaitent recevoir la certification et un grade plus valorisant que "certifié". (Interview de Monsieur Plunus, 2014

La manière selon laquelle le référentiel est décrit encourage les auteurs de projet à choisir le grade qu'ils souhaitent atteindre et puis seulement s'intéresser à comment y parvenir. Ils ne

sont, donc, pas du tout obligés de respecter un niveau minimum global pour l'ensemble des sujets, malgré les standards minimaux.

Le référentiel annonce qu'il ne s'intéresse qu'à des sujets environnementaux et que les composantes sociales et économiques ne sont pas prises en compte, même si la rentabilité intervient.

L'adaptabilité du référentiel aux textes réglementaires locaux permet à la méthode d'épouser davantage les conditions locales malgré qu'il s'agisse d'un outil générique. Le contrôle de ces réglementations par le BRE Global constitue un gage de qualité mais nécessite du temps et explique une partie du coût de la méthode.

L'adaptation par le BRE Global du référentiel générique aux situations non-standard permet à la méthode de pouvoir, théoriquement, évaluer toutes les destinations de bâtiment. Le temps et l'argent nécessaires pour le développement d'une évaluation à la carte seront, néanmoins, importants. Il pourra être trouvé dommage que seule l'adaptation des pondérations et la suppression de critères soient possibles. Cependant, afin de conserver une base commune, l'ajout de critères particuliers est difficilement envisageable.

L'adaptation des référentiels par des antennes locales permet de disposer d'un outil moins générique et plus représentatif, dans les pays où elles existent. Ces antennes requièrent, en revanche, du temps et du personnel qu'il faut payer.

Les projets exceptionnels sont mis en vitrine pour être utilisés comme exemples. Outre l'inspiration que les équipes de projet pourront y trouver, il s'agit d'un coup marketing intéressant pour les projets mis en lumière. Ce second aspect pose question puisque certains projets de plus petite taille, plus complexes et à budget plus limité apporteront une réponse peut-être plus qualitative que certains gros projets pour lesquels investir dans des technologies de pointe est un "must".

Malgré que le mode d'évaluation tente de le limiter, j'ai le sentiment qu'un effet "goutte d'eau dans l'océan" puisse être ressenti. En effet, chaque crédit subit une double pondération: celle au sein de sa thématique et celle de sa thématique au sein de l'évaluation globale. Le produit des deux pondérations représente l'impact du critère dans l'évaluation globale. Vu le nombre élevé de crédits, certains n'ont vraiment qu'un impact minime.

La méthode a principalement recours à des évaluations numériques. Même si le relevé des données numériques peut être long et fastidieux, il correspond, néanmoins, à la source la plus objective d'information. Lorsque l'évaluation n'est pas numérique, il est souvent demandé de démontrer que des dispositions ont été prises ou qu'un plan a été adopté. Puisque les éléments moins facilement quantifiables doivent être validés par l'assesseur et le BRE Global, le degré de subjectivité se réduit au profit d'une forme d'objectivité, due à la multiplicité des points de vue. Le bémol est que la vue du BRE Global sur l'opération se limite aux éléments et pièces reçues de la part de l'évaluateur.

Par rapport aux deux méthodes étudiées précédemment, l'étude du référentiel BREEAM "Construction neuve – International – 2014" montre que certains sujets qui n'étaient pas ou peu évoqués dans d'autres méthodes le sont ici. Quelques-uns de ceux-ci sont décrits ci-dessous en raison de leur intérêt particulier. Il est à noter que ce référentiel est l'équivalent selon BREEAM du référentiel "Construction neuve" de LEED, utilisé lors de la première évaluation.

### **Management 02 - Pratiques de constructions responsables**

Le but de ces 2 crédits est d'encourager les équipes à gérer le projet de manière adaptée. Ainsi, il est demandé à ce que les équipes se soumettent à un nombre minimal d'actions, considérées comme des pratiques responsables et répertoriées dans des grilles. Les sujets qui y sont abordés sont, par exemple, la prise de décision à partir d'études, la mise en place d'un système de feedback ou la vérification de la qualité des processus.

Valider ce critère n'est pas spécialement très compliqué mais permet de sensibiliser les intervenants à l'amélioration supposée de leurs méthodes de travail, comme le fait le SMO, dans HQE. Ainsi, l'ambition est de perfectionner la qualité, l'efficacité et le rendement du travail réalisé.

#### **Management 04 - Participation des parties prenantes**

Le but de ces 4 crédits est que le bâtiment soit fonctionnel et adapté aux besoins de ses utilisateurs. Pour y parvenir, les équipes de projet sont invitées à réaliser des séances de consultation populaire, intégrer des dispositions pour une accessibilité facile aux PMR ou la mise à disposition d'un guide du bâtiment à destination des utilisateurs. Un crédit est, également, prévu pour la réalisation, après un an d'occupation, d'un audit par un organisme indépendant. Cet audit porte sur le degré de satisfaction des utilisateurs vis à vis des performances du bâtiment.

Au travers ces crédits, l'attention est portée sur les utilisateurs, leur ressenti et la connaissance de leurs besoins particuliers. Réaliser ces actions est important dans le but d'une conception centrée sur leurs besoins. Toutefois, rien ne garantit que les recommandations formulées seront, effectivement, prises en compte dans la conception, ce qui les rendrait vaines. Ainsi, puisqu'aucun timing n'est imposé, ces séances peuvent se tenir à un stade où la conception ne peut plus subir de changement profond.

#### **Management 05 - Coûts sur le cycle de vie et planning de la vie des services**

Le but de ces 3 crédits est d'encourager les équipes de conception à identifier les besoins en maintenance à long terme, de les décrire et d'en faire un calendrier. Ceci afin de réaliser un choix entre plusieurs solutions ou d'informer les utilisateurs du bâtiment. Sont ainsi attendues des études LCC (Life cycle costs, coûts sur le cycle de vie) dont le niveau de détail déterminera le nombre de crédits obtenus.

Comme exprimé précédemment dans ce travail, ce genre de collaboration entre les outils du type LCA et les outils de certification durable des bâtiments est idéale. Ainsi, parmi plusieurs solutions possibles, un des critères de choix peut être le besoin en maintenance et les coûts associés, indissociable de toute étude de rentabilité. Le degré de précision des données et du résultat souhaité, la complexité à mettre en œuvre et le temps nécessaire doivent, néanmoins, ne pas être perdus de vue afin qu'une telle étude ait réellement l'impact escompté.

#### **Santé et bien-être 06 - Accès sécurisés**

Le but de ces crédits est d'encourager les équipes de projet à protéger les accès vers et depuis le site et d'y réduire le danger. Ainsi, en plus de la protection des accès, des gabarits minimaux pour les pistes cyclables et cheminements piétons et une série de règles destinées à favoriser la sécurité des usagers faibles doivent être respectées. En outre, ce crédit vise aussi à prévoir des zones de manœuvre facile pour les flux de livraison afin de réduire les accidents potentiels.

Lorsqu'il est observé individuellement, ce crédit ne présente rien d'exceptionnel. En effet, la plupart des règles qu'il donne dérivent de la bonne pratique et du bon sens et devraient toujours être respectées. Néanmoins, au sein d'un projet complexe rempli de contraintes comme un stade, disposer d'un tel critère permet de s'assurer que ces préoccupations essentielles ne soient pas oubliées. De plus, la présence de crédits traitant de la sécurité me semble importante: la vie humaine doit rester une priorité absolue.

#### **Transport 05 - Plan de navette**

Le but de ce crédit est d'encourager les équipes de projet à offrir plusieurs possibilités de transport aux utilisateurs, à travers l'élaboration d'un plan. Celui-ci reprendra, notamment, les mesures prises pour garantir la protection des modes doux et l'attitude face à la surcharge ou au manque de parking.

#### **Matériaux 04 - Isolation**

Le but de ce crédit est d'encourager les équipes de projet à utiliser des matériaux isolants d'origine responsable. La caractérisation de la provenance est déterminée par un système de score attribué par le BRE Global aux instituts de certification des matériaux, en fonction de leur fiabilité. Ce processus est un peu comparable à l'attribution d'une note par les agences de notation aux Etats.

Sachant que l'un des premiers conseils donné en Belgique pour l'optimisation de la performance énergétique est l'isolation, trouver un critère s'y référant est une manière d'inciter à isoler. Si le crédit ne se penche que sur le choix d'un matériau isolant fiable, ce qui est nécessaire pour garantir une isolation de qualité, peut-être aurait-il pu intégrer des considérations comme l'impact sur la santé ou le potentiel de recyclage. En effet, certains isolants sont reconnus comme irritants, dégagent des vapeurs toxiques lors de leur mise en œuvre et sont difficiles à recycler. Enfin, l'adéquation mise en œuvre des isolants est essentielle puisque certains isolants perdent une bonne partie de leur pouvoir d'isolation s'ils sont humidifiés.

#### **Matériaux 05 - conception pour la robustesse**

Le but de ce crédit est d'encourager les équipes de projet à protéger les éléments exposés afin d'en diminuer la fréquence de remplacement. Pour valider le crédit, il faut montrer que les éléments exposés ont été identifiés, et que des mesures de prévention et protection y ont été prises. Sont principalement concernés les éléments subissant le passage d'un flux (piéton, automobile, trolley, etc.) ou susceptibles de subir une collision.

L'idée du crédit d'encourager les équipes de projet à réfléchir de manière approfondie à l'élaboration de solutions durables et robuste est remarquable. En considérant que le matériau le plus respectueux de l'environnement est celui qui n'est pas utilisé, viser des solutions résistantes dans le temps est idéal. Ce crédit se limite à une gamme trop restrictive d'éléments et devrait s'appliquer à chaque composant du bâtiment. Le démontage d'éléments "sacrificiels" comme certains bardages fortement exposés pour le remplacement facile de la partie attaquée pourrait être valorisé dans un tel crédit.

La mise en œuvre d'un tel critère n'est pas évidente et la quantité de pièces justificatives à fournir pourrait devenir énorme. Cependant, fournir une checklist rappelant aux auteurs de projet de faire attention à cet aspect me semble un minimum. Un autre problème est que, parfois le surcoût de ces solutions, au moment de la construction, n'est pas mis en balance avec les économies réalisées sur le long terme. Enfin, le temps n'est pas toujours laissé aux concepteurs pour développer le détail de telles solutions.

#### **Déchets 03 - Déchets opérationnels**

Le but de ce crédit est d'encourager les équipes de projet à mettre à disposition des équipements de tri afin de rendre le recyclage des déchets opérationnels possible. La description claire des éléments triés et l'accessibilité aux équipements devront faire l'objet d'une attention particulière. Des équipements de stockage, dont les dimensions minimales sont imposées, devront être prévus et font partie d'un flux du type production-tri-collecte-stockage.

Le contenu de ce crédit est similaire à ce qui se trouvait dans les deux outils étudiés, précédemment. Pas plus que LEED ou HQE, BREEAM n'intègre la réalisation d'un monitoring sur la quantité de déchets produite par le bâtiment, ce qui me semble être un manque.

### **3.4 SB-TOOL**

#### **3.4.1 Présentation de la méthode**

Développée puis mise sur le marché en 1996, la méthode SB-TOOL se décrit comme un support générique pour évaluer la performance de la durabilité des bâtiments. L'outil mis à disposition par l'Initiative for Sustainable Built Environment (IISBE), un groupement international établi au Canada, se veut volontairement générique. L'IISBE considère que pour que les résultats d'une évaluation deviennent pertinents, il faut qu'une adaptation du système aux conditions locales ait été réalisée. Ainsi, une tierce partie reconnue, adaptera ce cadre générique en un outil adapté aux conditions locales, à la destination du projet et aux spécificités locales du marché. (Interview de Monsieur Larsson, 2014) (IISBE, 2012)

Pour cela, la version générique 2012 de SB-Tool se base sur deux fichiers Excel interdépendants:

- le fichier A: liste des critères, de leur échelle et de la pondération sélectionnés et adaptés selon la destination, la localisation et le contexte industriel dans lequel se trouve le bâtiment. Il n'est utilisable que par les tierces parties reconnues par iisBE.
- le fichier B: fichier d'évaluation au sein duquel sont insérées les données du bâtiment et calculés automatiquement les résultats. Ce fichier repose sur A et est accessible par des tierces parties reconnues ou par les auteurs de projets souhaitant s'autoévaluer.

La SB-Tool propose un total de 108 critères répartis en 29 thématiques distribuées dans 8 sujets. Selon l'évaluation, la tierce partie responsable de la mise au point du fichier A, doit décider de la portée de l'évaluation. Celle-ci détermine la quantité de critères utilisés pour l'évaluation. Ainsi, la profondeur de l'évaluation varie d'une portée minimum, les critères minimaux pour répondre aux sujets clés et obtenir une évaluation limitée mais rapide, à une portée maximale où tous les critères adaptés doivent être évalués, ce qui complexifie l'évaluation mais la rend plus précise. Le choix des critères d'évaluation en fonction de la portée visée est réalisé par la tierce partie reconnue.

Une évaluation peut être menée à quatre moments différents: préconception, conception, construction et occupation. Cette dernière évaluation ne pourra, toutefois, être réalisée qu'après un minimum de 2 ans d'occupation.

L'évaluation de chaque critère est réalisée grâce à une échelle de -1 à +5 au sein de laquelle le 0 représente le niveau de performance minimum acceptable, +3 les bonnes pratiques et +5 les meilleures pratiques.

Deux types de critères composent la méthode:

- des critères numériques: l'insertion d'une valeur numérique permet d'obtenir le score du critère par comparaison directe avec l'échelle.
- des critères qualitatifs: la sélection de la définition décrivant le mieux le projet, au sein d'un menu déroulant, permet d'attribuer un score au critère. En effet, chacune des définitions correspond à une cotation, de manière telle que l'intervalle entre deux définitions soit égal à 0,5 pts.

Chaque sujet d'une thématique est pondéré selon une définition donnée par l'organisme tiers. Le score de chaque thématique se calcule par simple sommation pondérée des sujets qui la composent. De même, grâce à la pondération des thématiques, le score global de l'évaluation s'obtient en calculant la somme pondérée du score de chaque thématique. (iisBE, 2012)

Les thématiques et les sujets sont les suivants:

S Localisation du site, services disponibles et caractéristiques du site

S1 Localisation du site

S2 Services accessibles hors site

S3 Caractéristiques du site

A Régénération et développement du site, conception urbaine et infrastructure

A1 Régénération et développement du site

A2 Conception urbaine

A3 Infrastructure et services du projet

B Consommation en énergie et en ressources

B1 Energie non-renouvelable totale en cycle de vie

B2 Pic d'électricité demandé par les installations et systèmes

B3 Utilisation des matériaux

B4 Utilisation d'eau potable, eau de pluie et eau grise

C Charge environnementale

C1 Emission de gaz à effet de serre

- C2 Autres émissions atmosphériques
- C3 Déchets solides et liquides
- C4 Impacts sur le site
- C5 Autres impacts locaux et régionaux
- D Qualité environnementale intérieure
  - D1 Qualité d'air intérieure et ventilation
  - D2 Température de l'air et humidité relative
  - D3 Lumière du jour et illumination
  - D4 Bruit et acoustique
  - D5 Contrôle des émissions électromagnétiques
- E Qualité des services
  - E1 Sécurité
  - E2 Fonctionnalité et efficacité
  - E3 Contrôle
  - E4 Flexibilité et adaptabilité
  - E5 Optimisation et maintenance des performances opératives environnementales
- F Aspects sociaux, culturels et perceptuels
  - F1 Aspects sociaux
  - F2 Culture et patrimoine
  - F3 Perception
- G Aspects économiques et de coût
  - G1 Economies et coût

Au sein du fichier B se trouve un onglet intitulé Processus intégré de design (Integrated Design Process - IDP) constituant un outil de support à la gestion du projet. Celui-ci fournit une liste d'étapes chronologiques à suivre par l'équipe de projet pour l'aider à être plus efficace. Cet élément n'entre pas en compte dans l'évaluation, sa seule ambition est d'informer.

### 3.4.2 Limitations et particularités

Le calcul des résultats se fait automatiquement et de manière instantanée dans le dernier onglet du fichier B. C'est la conséquence du mode de fonctionnement de la méthode qui attribue une valeur numérique à chaque sujet. La représentation graphique des résultats est très différente des autres méthodes : elle montre de manière directe le résultat obtenu pour chaque thématique, leur pondération, le score numérique global et une classification alphabétique de celui-ci.

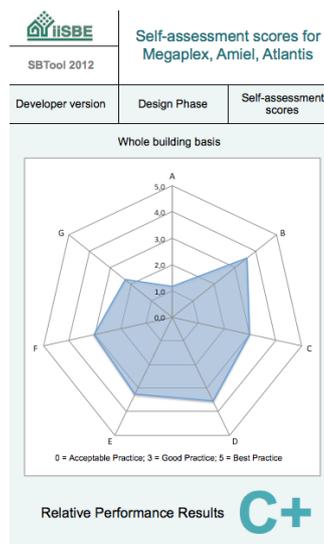


Figure 25: Exemple d'illustration des résultats obtenus selon chaque thématique, lors d'une évaluation avec SB-TOOL. (iISBE, 2012)

Par rapport aux autres outils, la SB-Tool se caractérise par un fonctionnement particulier. D'un outil générique, un outil adapté à la destination du bâtiment et au cadre régional est réalisé. Pour cette raison, il paraît être l'outil permettant l'évaluation la plus précise et la plus représentative.

Ce faisant, un travail supplémentaire d'adaptation du référentiel est nécessaire. Celui-ci peut devenir, selon la portée, assez long. Il doit être réalisé par une tierce partie nationale accréditée par l'ISBE. Malheureusement, chaque pays ne dispose pas d'une telle organisation. Pour le moment, 10 pays d'horizons aussi variés que le Canada, Israël, la Corée du Sud ou la République Tchèque sont représentés. Pour les autres, il n'est pas encore possible d'adapter la méthode comme il le faudrait. Par contre, la diversité des pays disposant d'une telle tierce partie constitue une opportunité en vue d'élaborer un outil générique de qualité.

Les trois portées possibles pour l'évaluation en augmentent la flexibilité et permettent de calibrer l'évaluation au temps et aux informations disponibles. Cette flexibilité améliore, certainement, l'attractivité de l'outil vis à vis du tandem maître d'œuvre - maître d'ouvrage, pas forcément toujours intéressé par une étude très détaillée. Actuellement, la méthode est moins utilisée que BREEAM ou LEED car moins connue et, donc, moins valorisable commercialement.

La démarche de conversion de phrases normalisées en un score numérique, sommé avec les autres critères numériques, constitue une manière intéressante d'objectiver des critères, habituellement subjectifs. Ainsi, l'évaluateur hésitera entre 2, maximum 3, alternatives qui, vu l'échelle de notation correspondent à un intervalle d'1,5 pts. Dès lors, la portée de la subjectivité de l'évaluateur est fortement limitée. Par contre, la définition des phrases qui laisseront le moins de place possible à l'interprétation et leur codification sont deux opérations nécessitant énormément de temps et d'expertise. Peut-être faut-il comprendre que les autres outils demandent plus d'expertise à leurs évaluateurs, avant de vérifier ce qu'ils ont fait, tandis que la SB-TOOL met beaucoup de temps à élaborer son système mais ne requiert pas la même expertise de la part de ses évaluateurs.

Par rapport aux autres outils, la SB-TOOL intègre des préoccupations sociales, culturelles et économiques, de manière plus précise. Comme pour BREEAM, certains de ces critères sont décrits ci-dessous:

#### **B.1.4 Consommation en énergie non-renouvelable pour le transport exigé par le bâtiment**

Pour les bâtiments accueillant un grand nombre de visiteurs, un tel critère peut s'avérer intéressant. En effet, il ne faut pas perdre de vue que, théoriquement, les consommations énergétiques globales du bâtiment doivent inclure celles nécessaires à son bon fonctionnement, mais aussi celles dues au transport de ses utilisateurs. Si des mesures importantes peuvent être prises pour réduire les consommations énergétiques du bâtiment, celles issues du transport de ses utilisateurs peuvent en constituer la contribution critique, qu'il faut veiller à réduire. L'évaluation se fait en calculant le nombre de kWh nécessaires en fuel et en électricité, annuellement

Ce critère doit être mis en relation avec le thème de l'accessibilité et de la localisation car c'est au sein de celui-ci que des mesures pour le transport peuvent être prises. Pour évaluer les consommations énergétiques liées au transport, de nombreuses hypothèses devront être faites comme le mode de transport, le nombre d'utilisateurs, la distance et la fréquence d'utilisation. Afin que celles-ci soient les plus représentatives de la réalité, le recours à des études statistiques constitue, certainement, une solution prometteuse.

#### **C5: Impact négatif du bâtiment sur le voisinage**

Trop rarement, l'impact négatif du bâtiment sur son voisinage est évalué. La SB-TOOL cherche à caractériser l'impact négatif du bâtiment sur son voisinage au travers de l'augmentation du pic de trafic le traversant, la diminution de l'accès à la lumière naturelle et au potentiel énergétique solaire, l'augmentation de température du sol et des aquifères due aux pompes à chaleur, la pollution lumineuse et la contribution réalisée par les surfaces pavées, de toiture et des traitements paysagers sur l'effet îlot de chaleur.

Il est clair que ces critères sont très intéressants dans le but de réaliser une quantification précise de l'impact d'un bâtiment sur son voisinage. Toutefois, l'accès à l'ensemble des données requises n'est pas toujours aisé, comme l'impact de la pompe à chaleur dans les changements de température.

#### **E1: Risques**

Parmi les risques qui sont évalués se trouvent, par exemple, la sécurité du personnel durant l'exploitation normale, le maintien de fonctions essentielles en cas de coupure de courant ou des questions plus conventionnelles comme le risque pour les occupants en cas de tremblement de terre, d'inondation ou d'incendie

Si d'autres méthodes cherchent à évaluer les risques potentiels de nuisances pour la santé provoquées par les ondes électromagnétiques ou les dégagements de fibres, ce que fait aussi la SB-TOOL, aucune n'évoque les risques de catastrophes et l'impact psychologique en résultant. Par exemple, l'évaluation des mesures prises face aux risques d'incendie ou d'explosion n'apparaissent nulle part alors que la sécurité des utilisateurs devrait être une priorité absolue. Les mesures à prendre face à ce genre de risques sont abondamment décrites dans les textes législatifs et prises en accord avec les services pompiers locaux. Souvent vus comme des limitations, il est rare de voir un concepteur chercher à repousser, dès le début, le niveau de ces exigences. Au contraire, des discussions avec les pompiers sont régulièrement menées afin d'adapter les propositions formulées et niveaux d'exigence, comme ce fut le cas de la Ghelamco Arena.

A cet égard, la clarté et la facilité d'évacuation pourrait, également, être quantifiée.

#### **E2: Fonctionnalité et efficacité**

Parmi les critères évalués par cette cible se trouvent l'adéquation conception des systèmes et équipements par rapport aux besoins des occupants, la fonctionnalité du layout vis à vis des exigences fonctionnelles, le dimensionnement suffisant des espaces, l'efficacité du transport vertical ou l'efficacité volumétrique. L'évaluation est réalisée par la mesure de paramètres caractéristique comme le temps pour se rendre du niveau 0 au niveau le plus haut du bâtiment, en période de pointe, ou le pourcentage du volume total directement fonctionnel.

De tels critères sur la fonctionnalité et l'efficacité du bâtiment doivent avoir pour but de garantir que les espaces de celui-ci permettent aux activités prévues de s'y dérouler. La fonctionnalité d'un bâtiment doit être quelque chose de normal puisque tout bâtiment a pour but premier de répondre à une utilité. Il est intéressant de constater que toutes les préoccupations abordées sont évaluées par des indicateurs numériques qui, malgré le débat que leur pertinence peut poser, rendent les évaluations indiscutables. Ainsi, par exemple, l'efficacité spatiale est mesurée par le pourcentage de couloir au sein de l'espace total. Il me semble, néanmoins, bon de préciser que la réalisation de ces critères ne doit pas être vue comme la garantie absolue d'un fonctionnement optimal du bâtiment mais plutôt comme la réalisation de mesures favorisant son bon fonctionnement.

Par contre, la définition d'un programme correspondant aux exigences des utilisateurs vis à vis des fonctions, des surfaces et des relations inter-espaces me paraît constituer l'élément charnière d'un tel critère. Si le programme n'est pas fourni au concepteur, une démarche de dialogue permanent et de recherche d'exemples comparables devra permettre l'évaluation, la critique ou l'adaptation du programme.

#### **E4: Flexibilité et adaptabilité**

Cette cible évalue le potentiel d'extension d'un bâtiment verticalement et horizontalement mais aussi la faculté de modifier les équipements techniques, la capacité pour la structure, les systèmes HVAC et électriques d'être adaptables pour accueillir d'autres fonctions que celles prévues. Un critère se penche également sur la faculté de modification ultérieure du vecteur énergétique utilisé par les systèmes du bâtiment.

Les outils présentés encouragent tous à limiter le développement urbain, au travers des critères récompensant la réutilisation de sites urbanisés. Par contre, la SB-TOOL est le seul à définir des critères liés à la flexibilité et à l'adaptabilité des bâtiments. Ces préoccupations sont, pourtant, d'autres mesures qui permettent de penser que les locataires préféreront

adapter le bâtiment au sein duquel ils se trouvent afin d'épouser l'évolution de leurs besoins, plutôt que de construire un nouveau bâtiment. Si la flexibilité structurelle est la plus difficile à mettre en œuvre en raison des surcoûts qu'elle peut générer, elle n'est pas la seule. Ainsi, la faculté d'action sur les systèmes et réseaux doit permettre aux utilisateurs de se tourner vers des technologies plus innovantes, sans devoir effectuer de modification structurelle majeure. Le développement de ces critères me semble, donc, être une bonne chose et le reflet d'une direction vers laquelle le monde de la construction se tourne.

## **F2: Culture et héritage**

Les deux critères étudiés traitent de la compatibilité de la conception architecturale avec les valeurs culturelles locales et de l'harmonie entre l'architecture du bâtiment et les bâtiments adjacents. Ces deux critères sont évalués par un expert sur base de critères comme le choix des matériaux, la hauteur, le retrait par rapport à la voirie ou le rapport et la position des pleins et vides.

C'est la première fois que des critères architecturaux entrent en ligne de compte dans les évaluations. Ceci n'est pas surprenant puisqu'une réflexion a, également, été menée sur la fonctionnalité du bâtiment. Or, un bâtiment n'est pas seulement fonctionnel, il doit être esthétique. Les critères ne cherchent pas à qualifier l'esthétique, en tant que telle, du bâtiment mais à déterminer si le bâtiment s'insère adéquatement dans son voisinage. Même si le jugement est rendu par un expert, une série de critères sur lesquels l'attention de celui-ci doit se porter cherchent à objectiver son avis. Par contre, le cas de la Ghelamco Arena pose question: comment doit être évalué un stade de football s'insérant dans un tissu industriel dont la qualité et l'unité architecturale n'ont pas été les priorités lors des constructions successives.

## **F3: Perception**

Comme la précédente, cette thématique regroupe des critères abordant le ressenti vis à vis du bâtiment, sur des aspects plus architecturaux et esthétiques. Pour réaliser l'évaluation, l'avis d'un expert et/ou de l'opinion publique peut être demandé. Plus le nombre de personnes amenées à se prononcer sera important et plus le résultat sera représentatif. Les critères évalués concernent, par exemple, l'impact des structures hautes sur les couloirs de vue, la qualité de vue depuis ces hautes structures ou la qualité esthétique extérieure et intérieure du bâtiment.

Comme pour la thématique F2, intégrer de tels critères est intéressant afin que le bâtiment ne constitue pas simplement une réponse technico-fonctionnelle mais contribue aussi à une architecture de qualité au sein de la ville. Il est, en effet, important que les outils de certification durable des bâtiments ne deviennent pas une bride à la créativité des architectes.

## **G1: Economies et coûts**

Les critères économiques évaluent, par exemple, les coûts prévus, par m<sup>2</sup>, pour la construction, la consommation d'eau et d'énergie durant l'exploitation. D'autres éléments comme le risque de l'investissement ou le montant des loyers sont, également, intégré au sein de cette thématique.

Pour la première fois, un outil intègre des données économiques et financières utilisées dans l'élaboration d'un business plan. Puisque le développement durable intègre les aspects sociaux et économiques, les retrouver ainsi détaillés au sein d'un outil permet de disposer d'une vue plus globale que la simple limitation aux aspects environnementaux. Dans le cas d'un stade, les aspects financiers seront essentiels, comme le montre l'histoire de la Ghelamco Arena. Ceux-ci déterminent, en effet, la faisabilité de l'opération. Vu que d'importants capitaux publics sont investis, les garanties d'un retour sur investissement par la location et d'un risque limité sont essentiels. Si le partenaire public perd de l'argent, cela signifie que les investissements dans d'autres secteurs plus importants, comme les soins de santé ou l'éducation, vont devoir être limités.

De cette étude sur SB-TOOL, il peut être déduit qu'il s'agit bien de l'outil le plus complet: il va nettement au-delà de la seule préoccupation environnementale. Par contre, le temps qu'il

requiert pour l'évaluation et l'adaptation de son référentiel est, logiquement, plus important. La quantité d'information à fournir sera, également plus conséquente, malgré trois portées d'évaluation possibles.

### 3.5 Tableaux récapitulatifs et conclusions

La présente section présente un récapitulatif des outils de certification durable utilisés ou observés. Sont abordés leurs principaux éléments caractéristiques, leur forces, faiblesses et manquements.

#### A. Général

Le tableau ci-dessous exprime les conditions générales des évaluations réalisées. Sont décrits la destination des bâtiments visés par chaque référentiel, la version utilisée et s'il s'agit de la dernière version mise à jour. Les pays pour lesquels les référentiels sont prévus et les unités au sein de celui-ci sont également décrits.

	LEED	HQE	BREEAM	SB-TOOL
<b>Destination</b>	Construction neuve	Salles multisports	Construction neuve *	Outil générique
<b>Version</b>	2009 (v4)	2010	2014	2012
<b>Mise à jour</b>	oui (2013)	non	non	non
<b>Pays visé</b>	International	France	International	A individualiser
<b>Langue</b>	Anglais	Français	Anglais	Anglais
<b>Unités</b>	US	MKSA	MKSA	MKSA

Tableau 32 : Conditions générales d'évaluation

\* Le référentiel BREEAM traite de la construction neuve moyennant certaines restrictions décrites dans la section 3.2.3

Ce tableau illustre qu'à l'exception de HQE, la maîtrise de l'anglais est indispensable à l'utilisation adaptée des outils. Il montre aussi que certaines limitations observées dans LEED sont, probablement, imputables à l'ancienneté du référentiel. Enfin, l'utilisation du système d'unités américaines complique l'utilisation de cette méthode.

#### B. Cadre d'évaluation

Les scores, grades, nombres de critères obligatoires intervenant dans chaque méthode sont repris dans le tableau suivant. Sont également répertoriés la répartition des critères dans chaque méthode et leur pertinence. Enfin, la possibilité d'utiliser les codes comme références pour l'évaluation et la qualification de l'organe en validant l'utilisation y sont, également, décrits.

	LEED	HQE	BREEAM	SB-TOOL
<b>Score obtenu</b>	47/100	Non-certifié	n.r.	n.r.
<b>Grade obtenu</b>	Certifié	Non-certifié	n.r.	n.r.
<b>Critères obligatoires</b>	8	143   107****	4   6   8   12   15	108 (tous)
<b>Critères non-pertinents</b>	0	46	0	0
<b>Critères "sport"</b>	0	64	0	0
<b>Préoccupations environnementales</b>	100%	100%	100%**	58%
<b>Préoccupations sociales</b>	0	0	0	10% ***
<b>Préoccupations économiques</b>	0*	0	0	4,5%

<b>Qualité des services</b>	0	0	0	27,5%
<b>Codes locaux</b>	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>Entité validant codes locaux</b>	Evaluateur	Evaluateur	BRE Global	Tierce partie

Tableau 33 : Cadre d'évaluation de selon chaque outil

\* L'utilisation de coûts de matériaux pour évaluer la fraction de matériaux répondant à une caractéristique physique, comme le caractère recyclable, n'est pas considéré comme assimilable à une préoccupation économique.

\*\* BREEAM est défini comme un outil d'évaluation de l'impact environnemental par le BRE Global.

\*\*\* Ne sont pas pris en considération les critères intervenant dans les autres outils comme l'accès aux vues. Ceci explique les valeurs différentes de ces pourcentages par rapport à ceux présentés dans la description de l'outil

\*\*\*\* Nombre total de critères "performant" au sein de l'outil. Tous ne doivent pas nécessairement être validés

Les scores obtenus par l'utilisation des outils, LEED et HQE, sont à observer avec la retenue nécessaire suites aux hypothèses réalisées. La similitude entre les résultats observés par thématiques est encourageante vis-à-vis de la cohérence et du sens des évaluations. Il s'agit, également, d'une preuve que, malgré des différences, les mêmes éléments sont déterminants dans les évaluations.

HQE et SB-TOOL exigent que de nombreux critères soient atteints pour la certification, tandis que LEED et BREEAM en requièrent un nombre moindre. Ces deux dernières méthodes permettent, à l'utilisateur de définir davantage ses priorités et de choisir les critères pour lesquels un haut niveau de performance sera attendu. SB-TOOL ne permet pas ce choix, ce qui nécessite de collecter de nombreuses données. HQE se trouve à l'interface entre les deux conceptions puisque si tous les critères "de base" doivent être remplis, une sélection parmi les critères "performant" peut être réalisée.

SB-TOOL est l'outil le plus complet puisqu'il est le seul à traiter de préoccupations sociales, économiques et fonctionnelles. BREEAM traite également de certaines préoccupations pouvant être considérées sociales, comme la consultation ou l'accessibilité PMR, mais se définit comme une évaluation de l'impact environnemental.

L'utilisation des codes locaux comme référence est autorisée dans chaque outil mais le contrôle de celle-ci ne se fait pas de la même manière. Pour LEED et HQE, l'évaluateur est responsable de la pertinence de l'utilisation de ces codes. Pour BREEAM, le BRE Global supervise l'utilisation de ces codes et doit donner son feu vert. Enfin, dans SB-TOOL, la tierce partie sélectionne les codes locaux adéquats lors de l'adaptation du référentiel générique.

### C. Divers

Ce dernier tableau résumé la prise en compte par les outils des impacts du chantier et la portée qu'ont les éléments descriptifs des bonnes pratiques de conception-construction qu'ils mettent à disposition. Enfin, le ressenti sur l'effet "goutte d'eau" ressenti lors de leur utilisation est spécifié.

	LEED	HQE	BREEAM	SB-TOOL
<b>Impacts chantier</b>	Non	Oui	Oui	Non
<b>Gestion opérations</b>	Informatif	Evalué	Evaluable	Informatif
<b>"Effet goutte d'eau"</b>	Non	Non	Oui	Oui

Tableau 34 : Eléments supplémentaires

Les impacts du chantier ne sont directement évalués que dans HQE et BREEAM. LEED prévoit un prérequis pour certifier que des mesures minimums sont prises par rapport à cette préoccupation mais celles-ci sont très limitées.

Chaque outil propose des éléments pour organiser les tâches jalonnant la conception et la construction du bâtiment. Ceux-ci visent à informer les équipes de bonnes pratiques qu'ils sont libres d'appliquer, dans LEED et SB-TOOL BREEAM les inclut dans des crédits évaluable, tandis que le SMO est intégré à l'évaluation HQE.

L'étude de quatre outils de certification durable des bâtiments au travers de l'évaluation d'un stade a permis de saisir les particularités de chacune et d'appréhender les manquements vis à vis de la destination "stade".

Pour toutes les méthodes, certains critères sont facilement réalisables, à condition d'en avoir connaissance. A cet égard, la Ghelamco Arena a parfois été pénalisée, rappelant une hypothèse importante du travail : ce stade n'a pas été conçu en vue d'être certifié. Un autre principe commun est qu'il est nettement plus facile de prescrire des performances, au travers des cahiers des charges, et de les vérifier que de réaliser un relevé complet.

La méthode la plus complète est SB-TOOL, vu la multiplicité des aspects qu'elle étudie. Son adaptation aux conditions locales et à la destination du bâtiment en fait un outil très riche, presque sur mesure, mais nécessitant un travail titanesque à réaliser par des tierces parties reconnues. Enfin, son fonctionnement par échelles numériques, très scientifique, donne un sentiment de fiabilité et d'objectivité du résultat supérieur aux autres méthodes. Son adaptabilité "facile" et les impacts socio-économiques qu'il intègre en font, pour moi, l'outil le plus adapté pour l'évaluation d'un stade. Certaines adaptations doivent être réalisées et un certain nombre de critères spécifiques être ajoutés.

La méthode HQE étudie pas mal d'aspects selon un mode de fonctionnement particulier rendant chaque critère important. Elle est beaucoup plus orientée sur la manière de gérer le projet, les démarches à réaliser et les éléments à prendre en compte plutôt que sur les résultats finaux. Bien qu'un certain nombre de valeurs numériques des paramètres caractéristiques soient requises, la quantité d'informations techniques à réunir est inférieure aux autres méthodes. La définition qu'elle se donne comme une "démarche de management de projet visant à obtenir la qualité environnementale d'une opération de construction ou de réhabilitation" est, d'ailleurs, cohérente avec cette constatation. Elle aborde, par contre, plus de thématique que LEED et BREEAM. Si le degré de compréhension quantitatif est critiquable, elle apporte une réponse à des équipes n'ayant que peu de temps ou d'informations à disposition. De plus, elle leur permet d'agir, ce qui est déjà un pas positif. De plus, l'idée d'encourager les concepteurs à réfléchir à des solutions conceptuelles, avant d'utiliser les techniques les plus modernes me semble saine.

LEED et BREEAM sont deux méthodes, finalement, assez semblables. Toutes deux utilisent de nombreuses caractéristiques physiques ou paramètres numériques pour réaliser l'évaluation.. La version de LEED utilisée pour l'évaluation datant de 2009, certaines thématiques prises en compte par BREEAM ne le sont pas dans LEED ou pas de manière aussi précise. Ce n'est pas l'objet de ce travail mais il serait intéressant de constater la plus-value apportée par la nouvelle version de LEED et/ou par chaque actualisation des outils. Cela permettrait de confirmer que les différences entre LEED et BREEAM sont bien dues à cet écart d'actualisation. Une quantification du temps optimal entre deux mises à jour pourrait être une autre réponse fournie par un tel travail. Plus encore que HQE, ces deux outils font l'objet d'un lobby commercial qu'il est important de garder à l'esprit au moment d'observer les résultats des évaluations.

Après l'évaluation de la Ghelamco Arena avec le référentiel pour les constructions neuves de LEED, on peut se demander si développer un référentiel spécifique aux stades est bien pertinent. Surtout que les résultats de l'évaluation avec HQE sont semblables. L'évaluation selon ce dernier outil a, de plus, nécessité l'élimination de nombreux critères par manque de cohérence.

En effet, en considérant la pelouse du stade comme un jardin intérieur, la promenade des supporters comme un hall et les vestiaires comme des espaces mis à disposition du personnel, l'utilisation d'un référentiel construction neuve deviendrait évidente. Un meilleur

score serait même obtenu puisque les 9 600 m<sup>2</sup> de pelouse seraient comptabilisés comme espaces verts.

Répondre par la négative à cette question renierait les particularités des stades. Quel jardin dispose d'un éclairage de 2 000 lux et d'un système de chauffage ? Quel jardin produit 1,5 tonne de déchets en une soirée ? Quel jardin draine 20 000 personnes en leur procurant le sentiment d'appartenance à une communauté ? Quel jardin génère autant d'emplois ? Quel jardin gêne les riverains par les nuisances sonores qu'il génère ?, etc.

Au-delà des ressemblances fonctionnelles illustrées par les trois hypothèses, la destination "stade" semble suffisamment unique et spécifique pour faire l'objet d'un référentiel particulier. Cette activité engendre des impacts environnementaux, sociaux et économiques qui lui sont propres, comme ceux mentionnés ci-dessus. Que la Ghelamco Arena puisse être envisagée comme un bâtiment classique doit être vu comme le signe que la multifonctionnalité y est réussie. Percevoir la Ghelamco Arena comme un bâtiment accueillant un certain nombre de fonctions, dont une fonction stade, est précisément l'objectif de cette multifonctionnalité.

Cette conclusion n'est pas vraiment une surprise. Des critères liés à la pratique sportive avaient, en effet, trouvé écho lors de l'évaluation du stade selon le référentiel "Salles multisports". Par exemple, la mise en place de différents niveaux d'éclairage. De plus, certains critères non-pertinents vis-à-vis de la Ghelamco Arena le seraient devenus si le stade était couvert d'un toit rétractable.

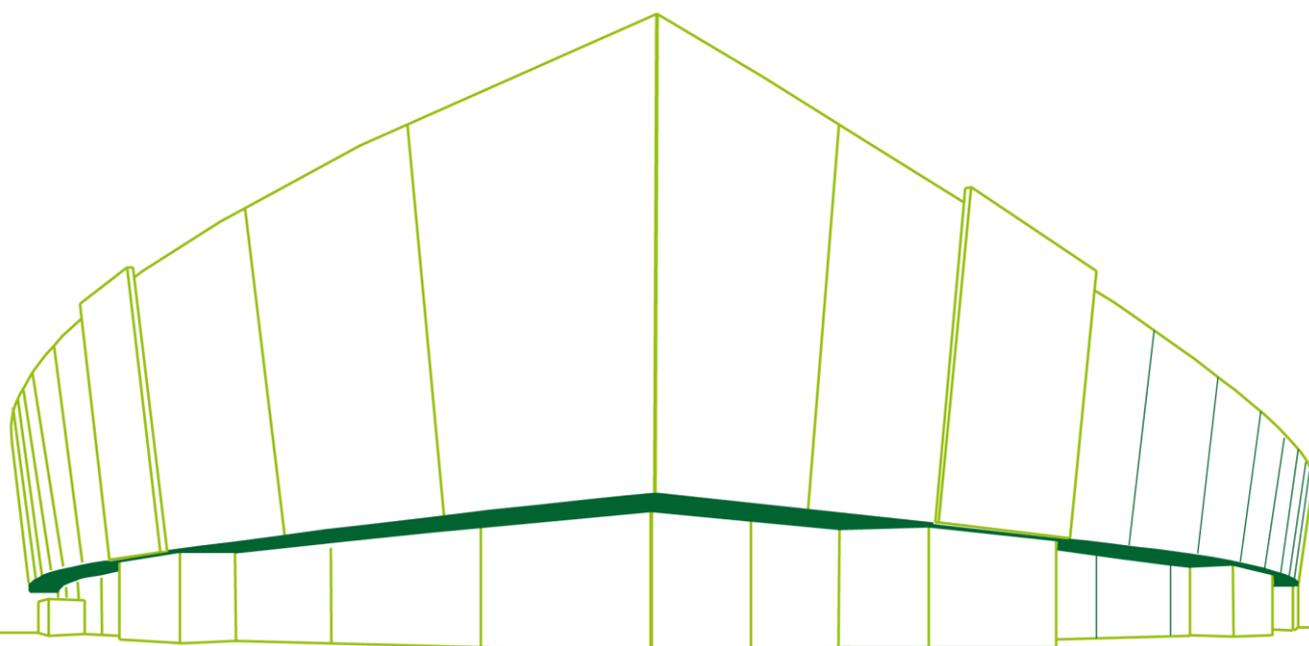
Enfin, lors de nos échanges par mail, Nils Larsson, membre de iisBE avait insisté sur le fait qu'une adaptation de la SB-TOOL à la destination "stade" était nécessaire. Il était dubitatif quant à la pertinence d'utiliser le référentiel d'une destination "assimilable". (Interview de Monsieur Larsson, 2014)

L'évaluation d'un stade multifonctionnel se ferait, logiquement, en scindant l'évaluation globale en plusieurs parties. La destination "stade" serait évaluée en parallèle à (aux) l'autre(s) destination(s) du bâtiment, comme les bureaux ou les espaces commerciaux. Le score global serait, ensuite, obtenu par la sommation pondérée des scores partiels, au prorata de leur surface de plancher. Comptabiliser la pelouse de football comme surface de plancher reste une question importante. La réponse dépend, en tous cas, de l'installation ou non d'un système de chauffage.

L'intégration de critères socio-économiques semble plus essentielle pour les stades que pour d'autres destinations comme les bureaux. Peut-être que c'est parce que ces fonctions ont pour vocation d'accueillir le public. D'autre part, il s'agit d'un investissement partiellement public : ne doit-on, donc, pas en espérer un retour social ? L'équipement ne doit-il pas améliorer le quotidien des communautés voisines ? N'est-ce pas une opportunité pour réaliser un projet d'envergure, par la mutualisation, plutôt qu'une somme de projets d'échelle moindre ?

Vu tous ces éléments, un référentiel spécifique répondrait à une utilité. Il pourrait être choisi de le développer au départ de HQE, qui intègre déjà certains critères fonctionnels, ou de SB-TOOL, vu les éléments socio-économiques qui y sont déjà présents. Dans les deux cas, les exigences techniques et spécifiques de la conception d'un stade devraient être approfondies et formalisées en critères. Des préoccupations socio-économiques, comme celles citées devraient également faire partie du référentiel.

# Chapitre 4: Bases pour l'élaboration future d'un référentiel spécifique



L'objectif de cette section n'est pas l'élaboration d'un référentiel spécifique aux stades. Une telle tâche constitue le travail réalisé par des équipes multidisciplinaires, durant un laps de temps important. Ceci ne correspond pas au cadre dans lequel s'insère le présent travail. Ce chapitre tentera, plutôt, de proposer des éléments pouvant servir de base à l'élaboration d'un référentiel spécifique puisse être menée. Ces éléments proviendront principalement de manquements constatés lors de l'évaluation de la Ghelamco Arena, Ils s'appuient sur la littérature, des guides de recommandations techniques réalisés par l'UEFA et la FIFA et les produits disponibles sur le marché.

## 1. Exigences fonctionnelles et catégories de stades

Lors d'un projet de modification de son stade, qu'il s'agisse d'une rénovation ou d'une construction neuve, un club est rapidement amené à effectuer des choix stratégiques : la capacité d'accueil, le type de match organisable, le type de gazon, la programmation intérieure, etc. Ces choix seront déterminants pour la suite du processus, de la conception à la réalisation.

Les quatre catégories de stade reconnues par la FIFA et l'UEFA permettent aux décideurs de se faire une première idée de leurs besoins réels. Ces catégories déterminent le type de match que sont autorisées à accueillir les infrastructures. Les principales caractéristiques de ces catégories sont reprises ci-dessous :

### A. Principaux critères pour toutes les catégories (UEFA, 2010)

Le tableau suivant reprend les principaux critères requis pour les 4 catégories de stades reconnues par les instances internationales.

<b>Terrain de jeu</b>	Parfaitement plat, revêtement certifié FIFA
	Drainage garantissant la praticabilité
	Chauffage garantissant la praticabilité
<b>Eclairage moyen minimum, en l'absence de diffusion télévisée</b>	350 Ev (lx) vers la tribune principale
<b>Locaux à prévoir</b>	3 Vestiaires (2 équipes, 1 corps arbitral) Local du délégué Local premiers secours pour officiels/joueurs Local contrôle antidopage Local(aux) premiers secours pour spectateurs
<b>Places stationnement</b>	2 bus + 10 voitures
<b>Places supporters visiteurs</b>	5% de la capacité totale
<b>Dimensionnement installation sanitaire</b>	Rapport hommes/femmes 80/20 1 WC/ 250 hommes 1 Urinoir/ 125 hommes 1 WC/ 125 femmes
<b>PMR</b>	Accès + places adaptées 1 WC PMR/ 15 PMR

Tableau 35 : Principaux critères requis communs aux 4 catégories de stades

### B. Zones réservées aux joueurs, officiels et spectateurs (UEFA, 2010)

Les critères relatifs aux espaces à destination des joueurs, officiels et spectateurs, selon chaque catégorie, sont repris dans le tableau 36:

		Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
<b>Dimensions terrain</b>	Long.	100 à 105 m	100 à 105 m	105 m	105 m
	Larg.	64 à 68 m	64 à 68 m	68 m	68m
<b>Eclairage moyen minimum</b>	Caméras fixes	Diffusion adéquate	800 Ev (lx)	1200 Ev (lx)	1 400 Ev (lx) uniformes
	Caméras mobiles	Diffusion adéquate	500 Ev (lx)	800 Ev (lx)	1 400 Ev (lx) uniformes
<b>Eclairage moyen minimum secours</b>		/	2/3 intensité	2/3 intensité	800 Ev (lx)
<b>Vestiaire arbitre</b>		/	/	20 m <sup>2</sup> **	20 m <sup>2</sup> **
<b>Stationnement VIP</b>		20 places	50 places	100 places	150 places
<b>Capacité minimum</b>		200 places	1 500 places*	4 500 places*	8000 places*
<b>Places VIP (visiteurs)</b>		50 (10)	100 (20)	250 (50)	500 (100)
<b>Salle de contrôle</b>		/	Oui	Oui	Oui
<b>Espace relations publiques exclusif</b>		/	/	/	400m <sup>2</sup>
<b>Entrée/Sorties</b>		/	/	/	Système moderne de contrôle des faux-billets
<b>Vidéosurveillance</b>		/	/	/	Permanente à l'intérieur et extérieur Relié à écrans de contrôle, possibilité de prendre des photos

Tableau 36 : Critères relatifs aux espaces à destination des joueurs, officiels et spectateurs selon chaque catégorie

\*L'intégralité des places sont assises, l'utilisation de places debout est interdite

\*\*Le vestiaire arbitre contient au moins deux douches, un WC, six sièges et une table

### C. Zones réservées aux médias (UEFA, 2010)

Les critères de chaque catégorie par rapport aux exigences médiatiques sont décrits dans le tableau suivant :

	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
<b>Zone travail</b>	50 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>
			Espace pour 15 photographes	Espace pour 25 photographes
<b>Plate-forme caméra principale</b>	4 m <sup>2</sup>	6 m <sup>2</sup>	6 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>
<b>Tribune presse : sièges couverts (pupitres)</b>	20 sièges (5)	20 sièges (10)	50 sièges (25)	100 sièges (50)
<b>Positions commentateurs</b>	2	3	5	25
<b>Studios télévision</b>	1 salle adaptable	5 m x 5 m, h. 2,3 m	5 m x 5m, h. 2,3 m	2 studios de 5m x 5 m, h. 2,3m dont 1 pour les commentateurs avec vue sur le terrain
				Espace nécessaire pour 4 interviews flash (2,5 m x 2,5 m)
<b>Zone pour cars reportage</b>	100 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	1000 m <sup>2</sup>
<b>Salle conférence de presse</b>	Oui	Plateforme caméra, estrade, système sonorisation, boîte branchement centralisée	Plateforme caméra, estrade, système sonorisation, boîte branchement centralisée	Plateforme caméra, estrade, système sonorisation, boîte branchement centralisée
		30 sièges	50 sièges	75 sièges
		Zone mixte entre les vestiaires et parking bus des équipes	Zone mixte entre les vestiaires et parking bus des équipes	Zone mixtes couverte d'une capacité de 50 représentants médias

Tableau 37 : Critères pour les zones réservées aux médias selon chaque catégorie

Ces catégories permettent de déterminer le type de match international qu'un stade peut accueillir. L'élaboration des critères d'infrastructure pour l'organisation des compétitions nationales est, en revanche, laissée aux fédérations nationales. Par exemple, pour organiser un match de Jupiler Pro League (division 1 belge), 8 000 places, dont 5 000 assises, et un éclairage moyen minimum de 800 lux sont requis. (URBSFA, 2014)]

#### D. Catégories de stades et organisation des matches

Le résumé du type de match international le plus élevé que chaque type de stade peut accueillir est présenté au sein de de la grille suivante : (UEFA, 2013)

	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3	Catégorie 4
<b>UEFA Champion's League</b>	/	2 <sup>e</sup> tour qualificatif	3 <sup>e</sup> tour qualificatif	½ finale
<b>UEFA Europa League</b>	/	2 <sup>e</sup> tour qualificatif	barrages	½ finale

Tableau 38 : Catégories de stades requis pour l'organisation de certains types de matches

Les critères requis pour l'organisation de matches entre équipes nationales sont nettement moins définis. Seules trois exigences sont formulées directement : accueil des spectateurs exclusivement dans des tribunes assises, localisation du stade à moins de 150km (ou 2 h de

route) d'un aéroport international et certification après inspection par des experts de la FIFA. La validité de ce certificat est de 2 ans. Pour le reste, les normes de référence sont celles de la publication "Stades de football – Recommandations et exigences techniques". Les exigences qui y sont formulées sont plus contraignantes que pour la catégorie 4. (FIFA, 2013) (FIFA, 2011)

L'organisation de la finale des deux compétitions mentionnées dans le tableau EEEE, d'une phase finale d'un Championnat Européen de football de l'UEFA (EURO) ou d'une Coupe du Monde de la FIFA de la FIFA (Coupe du Monde) ne peut se faire que dans des stades de catégorie 4 présentant des garanties supplémentaires. Ces stades particuliers sont qualifiés de stades "4 étoiles" et "5 étoiles", selon leur capacité. Les principaux critères supplémentaires sont décrits dans le tableau suivant (UEFA, 2013)

	4 Etoiles	5 Etoiles
<b>Capacité</b>	30 000 places	50 000 places
<b>Sièges</b>	Individuels et avec un dossier	
<b>Sécurité</b>	Pas de grillage autour de la pelouse	
<b>PMR</b>	2 secteurs couverts de 50 places chacun avec sanitaires et points de vente adaptés	
<b>VIP</b>	200 places dans la loge VIP	
	Zones d'accueil pour 400 invités VIP	
	Possibilité d'accueil pour 2 x 200 invités pour chaque équipe	
	Un grand espace extérieur pour 4 000 invités	
<b>Aéroport(s) international/ internationaux</b>	Capacité à reprendre quotidiennement 80 vols charters supplémentaires, de jour comme de nuit	
<b>Capacité hôtelière proche</b>	Finale Champion's League: 1 000 chambres dans des hôtels 5 étoiles *	
	Finale Europa League: 500 chambres dans des hôtels 5 étoiles	
	Offre de chambres suffisamment diversifiée et nombreuse	

Tableau 39 : Critères supplémentaires pour les stades 4 et 5 étoiles, par rapport à ceux de la catégorie 4

\* Niveau d'exigence sur lequel se calquent les stades accueillant la phase finale d'un Euro ou d'une Coupe du Monde.

## 2. Multifonctionnalité et dimensionnement

A côté de la catégorie du stade, sa capacité d'accueil, sa localisation et son type constituent des questions auxquelles l'équipe de décision doit rapidement apporter une réponse. D'après le Rapport Grands Stades 2016, celle-ci est fondamentale car elle aura trois répercussions financières majeures : la faculté d'organiser de grands événements sportifs, la faculté de trouver d'autres sources pour financer le développement du sport et le choix d'un modèle économique pour le sport. Une réponse ne sera pas donnée, ici, au degré idéal de multifonctionnalité mais quelques-uns des principaux paramètres de décision sont évoqués (Commission Organisation Euro 2016, 2008).

L'UEFA incite les acteurs à penser le "stade comme un générateur de revenus quotidiens". Lorsqu'une rénovation ou la construction d'un nouveau stade est projetée, l'Association propose de constituer une entité financière et juridique responsable du stade. L'objectif est

que celle-ci puisse réaliser un business plan et évaluer la rentabilité du stade, indépendamment de l'occupant principal.

La réalisation d'un business plan par une entité financière, indépendante d'un club ou d'une fédération, amènera les équipes à considérer d'autres sources de rentrées. La multifonctionnalité en est une réponse, dont le degré est évolutif.

Ainsi, la multifonctionnalité peut, d'abord, être envisagée par l'ajout de fonctions ou services utilisables en dehors des horaires de match. Les plus courantes sont les restaurants, commerces, bureaux, salles de sport ou la location de salles. Certains stades mythiques proposent des visites guidées et/ou l'accès à un musée consacré à leur histoire. Cela permet de faire découvrir au public des espaces habituellement inaccessibles.

Un autre type de solution vise à profiter de la capacité des stades à accueillir du monde en y implantant des fonctions générant un important flux de personnes. Sont, ici, envisagées des fonctions type cinéma, salles de conférence ou discothèques. Si la gestion des nuisances sonores vers le voisinage est adéquate, concentrer dans le stade les fonctions bruyantes peut s'avérer stratégique à l'échelle de la ville.

L'utilisation en semaine des parkings est un enjeu important et leur mise à disposition peut constituer une autre source de financement. Vu la connexion du stade avec les réseaux de transports en communs, une telle solution peut avoir des répercussions positives sur la mobilité urbaine. (UEFA, 2011)

Dernier type de multifonctionnalité, celle de l'espace sportif. De nombreux exemples de mutualisation sportive existent : football – athlétisme, football – rugby, football – cricket, etc. Le plus important est que cette mutualisation ne nuise pas à la qualité du spectacle ou du confort. Ainsi, malgré des technologies comme les sièges rétractables, l'association football – athlétisme est généralement déconseillée. L'utilisation de la pelouse pour l'organisation d'autres manifestations, comme des concerts, est une autre pratique courante. Les progrès réalisés dans le développement des gazons synthétiques permettent une utilisation plus intensive encore de l'espace central, avec un risque limité de dégradation. Il faut noter que la tenue de concerts impose d'autres contraintes particulières, comme la demande électrique, auxquelles les concepteurs devront penser. (FIFA, 2011)



Figure 26: distance optimale et distance réelle entre les spectateurs et le terrain dans le cas d'un stade avec et sans piste d'athlétisme (FIFA, 2011)

Professeur de Facility Management au Politecnico di Milano, Gianandrea Ciaramella identifie deux tendances parmi les projets de nouveaux stades. D'une part, il y a de grands stades pouvant accueillir au moins 60 000 personnes et, d'autre part, des structures limitées à 40 000 personnes au confort optimal.

Le premier type est, généralement, associés à un centre commercial. Si, dans un premier temps, le centre commercial bénéficie d'un effet attractif généré par le stade, il doit pouvoir rapidement devenir indépendant. A terme, l'ambition est que chacune des deux entités touche un public particulier, sans dépendre de l'autre. La mutualisation réduit considérablement les coûts globaux. L'économie sur les transports en commun et le parking, opportunité d'optimisation des consommations d'eau et d'énergie, meilleures perspectives de production d'énergie verte, ou réduction des coûts de construction en sont des exemples parmi d'autres.

Par contre, le taux de remplissage de ces stades constitue une menace sérieuse. Les grandes affiches attireront toujours les foules mais qu'en sera-t-il des autres? Les principales conséquences sont une perception négative due à l'ambiance plus feutrée et le manque à gagner dans l'entretien d'un stade à moitié vide. De plus, l'absence d'une connaissance suffisante sur la rentabilité de la combinaison stade-centre commercial incite les promoteurs à la prudence.

A l'opposé, un concept est de développer un stade plus petit, pas forcément beaucoup moins cher à l'investissement, mais très confortable. L'idée est de remplir le stade selon sa pleine capacité en quasi-permanence. Ainsi, les recettes de billetteries deviendraient une source de revenus quantifiée et "sûre". Les rentrées publicitaires pourraient être majorées par la garantie de toujours toucher 40 000 personnes. Une politique publicitaire plus incisive, basée sur un jeu spéculatif pourrait, également, être menée comme au Stade de France. Quelques commerces ou bureaux amélioreraient l'amortissement des coûts, sans prendre de risques démesurés. L'investissement initial s'avère souvent plus important, à moins d'élaborer des montages financiers particuliers avec les contracteurs. Le risque de ne pas pouvoir répondre à une demande importante pour les affiches doit, également, être mis en balance avec les avantages de cette solution. (Interview de Monsieur Ciaramella, 2014)

Ramenés à la Belgique, les capacités envisagées doivent être nuancées. La capacité des trois plus grands stades belge est donnée dans le tableau 40. Excepté pour le stade national, la construction d'un stade de 60 000 places par un club ne serait, probablement pas pertinente. Il serait, par contre, intéressant d'étudier la faisabilité de la combinaison stade-centre commercial à plus petite échelle. Ainsi, ne pourrait-on pas envisager une galerie commerçante intégrée à un stade de 20 000 places ? Le second type peut être directement observé via la Ghelamco Arena. En effet, celle-ci vise une capacité d'accueil raisonnable et déclare fièrement faire de chaque supporter un VIP.

Stade	Occupant	Capacité
<b>Stade Roi Baudouin</b>	/ *	50 093 places
<b>Stade de Sclessin</b>	Standard de Liège	30 023 places
<b>Stade Jan Breydel</b>	Club Bruges	29 043 places

Tableau 40: Capacité des 3 plus grands stades de Belgique (Standard,2014), (Prosportevent, 2014), (Clubbrugge, 2014)

\* Pas d'occupant fixe, alternance entre l'équipe nationale belge de football, l'athlétisme, des concerts, ...

Le taux de remplissage du stade constitue un des nœuds du problème. Celui-ci est difficile à estimer car il est lié aux résultats des équipes s'y produisant. La FIFA a observé que pour répondre au besoin d'extension d'un stade de 20 000 personnes, il est préférable de viser une capacité de 40 000 places plutôt que de 30 000. Cela s'explique par une certaine attraction

envers un nouveau stade plus propre, plus lumineux et plus confortable. (FIFA, 2011) Le Rapport Grands Stades confirme cette observation en remarquant que le taux de remplissage est fortement lié à la qualité du stade et son caractère moderne. Il conclut que si les clubs ne veulent pas devenir trop dépendants de droits télévisés spéculatifs, ils ont intérêt à investir dans leurs infrastructures. (Commission Organisation Euro 2016, 2008)

Si un minimum de multifonctionnalité paraît nécessaire pour assurer la viabilité des stades, le Professeur Teller (Interview du Professeur Teller, 2013) invite à la prudence. Sachant que l'offre commerciale est saturée dans la plupart des villes belge, l'intégration de commerces dans les stades ferait disparaître ces commerces du centre des villes. Les politiques d'aménagement du territoire doivent être prises en compte lorsque la multifonctionnalité est envisagée. Des études de marché et d'incidence devront donc, être commandées et éclairer la prise de décision. Comme le souhaite l'UEFA, l'utilisation diversifiée du site doit apporter une valeur ajoutée à la communauté, en plus de générer de nouvelles sources de revenus. (UEFA, 2011)

### 3. Mobilité et localisation

L'accessibilité aux stades et la mobilité dans leurs alentours constituent une préoccupation importante. L'importance du cheminement, presque religieux, dans l'expérience "football" (Terry) démontre que l'accès vers et depuis stade ne doit pas seulement être fonctionnel, il doit aussi être agréable.

Il ressort d'une étude réalisée en 2013 sur la mobilité des spectateurs anglais de football que 25% d'entre eux dépensent plus pour le transport que pour l'achat du billet. Le perfectionnement du système "KombiTicket" est une première piste pour résoudre le problème. Ce système permet d'utiliser gratuitement tous les transports en communs au moyen du billet de match. En 2006, lors de la Coupe du Monde allemande, ce système avait contribué à ce que 74% des spectateurs utilisent les transports en commun. (GreenGoal, 2006)

Les sondés demandaient aux clubs d'encadrer une démarche de covoiturage, de développer des systèmes "park and ride" (parking-satellites liés au stade par transport en commun ou navettes) et fournir un service de navettes gratuites depuis le centre. Enfin, la marche est appréciée des supporters, à condition qu'elle soit limitée à des distances raisonnables.

Pour les matches en déplacements, le train constitue le mode de transport le plus utilisé. Toutefois, de nombreux supporters le trouvent inadapté à leurs contraintes : horaires mal calibrés, fréquences insuffisantes, temps de parcours nettement supérieur à l'automobile, nécessité de nombreuses correspondances, prix exagéré par rapport au confort. Ainsi, il coûte en moyenne 19 £ de plus d'utiliser le train plutôt que l'automobile. (Campaign for Better Transport, 2013)

Le timing de la mobilité est une particularité importante à laquelle les décideurs doivent faire face. En effet, il a été constaté par la FIFA que les tribunes se remplissent de manière diffuse mais se vident instantanément. Il faut, donc, y faire particulièrement attention au moment de dimensionner ou estimer la capacité des réseaux.

La localisation du stade joue un rôle prépondérant dans son accessibilité. Ainsi, UEFA, FIFA et enquête insistent sur le fait qu'un stade localisé en dehors des villes est moins bien desservi par les transports en commun et mise davantage sur le transport automobile. Par exemple, 76% des supporters londoniens de Premier League n'utilisent que les transports en communs pour les matches à domicile, tandis que le train et/ou le bus et/ou le tram est utilisé par 66% du total, au moins une fois dans la journée. Le tableau suivant résume la qualification des trois principaux types d'implantation de stade selon les principaux critères d'accessibilité. Selon les cas, les valeurs moyennes prises par une implantation en banlieue, à l'intérieur de la ville

mais de typologie semi-urbaine, seront à majorer ou minorer. Si le réseau est adéquatement dimensionné, l'accès automobile à un site hors-ville sera plus facile et rapide qu'avec les transports en commun. Si le site dispose d'un parking facile, les utilisateurs se déplaceront préférentiellement en automobile pour ces raisons et par confort.

La gestion des parkings est un problème complexe qui requiert un dialogue maximum entre les autorités communales, services de l'ordre et auteurs de projet. Des flux très différents doivent être étudiés et séparés parmi lesquels les spectateurs locaux et visiteurs, les officiels et joueurs, le personnel, le service de restauration, les services de secours ou encore les PMR. En même temps, ces parkings doivent pouvoir être utilisables facilement durant la semaine. La FIFA recommande, pour un stade de 60 000 places, de prévoir 10 000 places de parking automobile et 500 places pour les autocars. (FIFA, 2011) Selon les options stratégiques et de conception choisies, les parkings pourraient être utilisés en semaine pour desservir d'autres fonctions du stade ou des alentours, accueillir des marchés, constituer un espace vert appropriable agissant comme "mur anti-bruit", faire office de parking de délestage, etc.

L'accessibilité et le raccordement aux transports en communs est déjà prise en compte dans les outils de certification durable des bâtiments. Cette évaluation reste pertinente pour un stade. Il serait intéressant d'évaluer la réponse fournie pour l'accessibilité le jour des matches. En effet, celle-ci nécessite des mesures particulières prises, de préférence en concertation avec les forces de l'ordre, les autorités communales et les fournisseurs de transport en commun. Au-delà du développement d'un plan qualitatif, la réalisation d'évaluations quantifiées des flux possibles, de leur comportement, leur incidence sur le voisinage est, comme la bonne pratique l'exige (FIFA, 2011), à recommander. Les instances du football recommandent également de sélectionner plusieurs sites possibles et d'en faire une analyse par critère avant le choix final. (UEFA, 2011) Il s'agit, là aussi, d'une réflexion saine méritant un critère. Celui-ci serait adapté aux spécificités du stade, par rapport aux critères de sélection de site déjà existants. La réponse aux problèmes ferroviaires soulevés doit se faire à une échelle supérieure : entre les fédérations, autorités nationales et sociétés de chemin de fer. Les tribunes se remplissent lentement mais se vident rapidement.

La gestion des parkings peut également être évaluée : comment sont-ils dimensionnés, comment sont-ils utilisés en dehors des heures de matches. Les critères de gestion des eaux pluviales y resteraient, bien sûr, d'application.

Le tableau 41 résume toutes ces préoccupations en synthétisant, selon les 3 principaux types d'implantation, la réponse apportée à quelques-uns des critères de sélection du site.

	Centre	Banlieue	Hors ville
<b>Accessibilité transports en communs</b>	Excellente	Bonne - Moyenne	Réduite
<b>Accessibilité automobile</b>	Difficile, besoin de coordination	Moyenne	Excellente mais attention au réseau
<b>Prix terrain</b>	Elevé	Moyen	Faible
<b>Possibilité extension</b>	Faible à nulle	Moyenne	Elevée
<b>Impact sur le voisinage</b>	Elevé	Moyen	Faible

Tableau 41: Qualification du type d'implantation selon certains critères de mobilité (UEFA, 2011)

## 4. Pelouse

Les exigences vis-à-vis de la pelouse d'un stade de football dépassent largement celles d'un simple jardin ou d'un parc. Pour expliquer certaines mesures, il convient de se souvenir que le maintien de la pelouse dans un état impeccable constitue le "core business" des clubs de football. (Interview de Monsieur Piens, 2014)

L'objectif de cette section ne sera pas de s'intéresser aux critères de choix entre un gazon naturel, synthétique ou hybrides. L'étude sera, plutôt, focalisée sur certaines spécificités des pelouses de stades : protection contre les intempéries et maintien à température des surfaces. Les systèmes de luminothérapie du gazon sont, également, abordés. La question des fertilisants n'est pas, non plus abordée mais mériterait assurément d'être traitée.

### 4.1 Protection contre les intempéries et maintien à température des systèmes

L'UEFA exige l'installation d'un système de chauffage garantissant la praticabilité du terrain, en toute saison. L'objectif de la mesure est d'éviter le report, en dernière minute, des matches. (UEFA, 2010)

Si les conséquences économiques d'un report de match sont lourdes, il convient de garder en tête que la sécurité des personnes se rendant au stade reste la priorité. Ainsi, un regard critique doit être conservé vis-à-vis de l'impact économique d'un report : il est possible qu'une pelouse soit praticable mais que le match soit reporté pour d'autres raisons, comme la sécurité routière. Le bilan environnemental et économique du chauffage du terrain s'avère, alors, catastrophique. (LFP, 2012)] De même, il convient d'observer avec recul la pertinence des calendriers sportifs élaborés.

L'UEFA propose comme solution l'installation d'une toiture au-dessus du stade mais est consciente que le volume d'air à chauffer est tel que les besoins énergétiques sont disproportionnés. (UEFA, 2010) De plus, l'installation de toitures est sujette à débats car elle nuit à la croissance du gazon naturel. En effet, pour réaliser la photosynthèse, celui-ci a besoin d'un minimum de lumière et de ventilation dont les toitures le privent. (Interview de Madame Pollet, 2014) Opter pour une telle solution ne paraît, donc, pas très raisonnable.

Traditionnellement, il existe deux typologies d'installation : les systèmes de bâches intégrant le chauffage par air pulsé et les réseaux de chauffage intégrés au sol. Cette dernière typologie se compose de deux familles : les systèmes électriques et hydrauliques.

#### 4.1.1 Bâche

Le principe de ce système repose sur le recouvrement du terrain par une bâche. Celle-ci protège la surface contre les intempéries et est suffisante pour une température jusqu'à -5°C, sur une courte période. Si la température est inférieure ou que la durée se prolonge, la pulsion d'air chaud sous la bâche est réalisée. Un tel système a une consommation d'environ 450 litres de fuel par jour.

Le principal problème de ce système est que le chauffage agit principalement sur l'air extérieur. En effet, en l'absence d'isolant, l'air pulsé ne chauffe que de manière limitée le terrain et se diffuse principalement vers le haut. L'augmentation de la température de l'air pulsé n'est évidemment pas une solution puisque les consommations vont exploser, tandis que le gazon risque d'être brûlé par effet flash.

Un autre problème est que certaines zones de la pelouse risquent de geler durant le match, ce qui est très dangereux pour les joueurs.

L'importante main d'œuvre qu'il nécessite, la question du stockage de la bâche et de l'évacuation de neige sont d'autres problématiques.

Ces systèmes ne constituent, clairement pas un optimum mais restent économiquement plus abordables, à court terme. Ils sont, pour cette raison, la norme dans beaucoup de clubs belges. (LFP, 2012)

#### 4.1.2 Systèmes de chauffage intégrés au sol

Le principe de ce système repose sur l'intégration dans le sol d'un système d'émetteurs de chaleur permettant de maintenir la température de celui-ci hors-gel. Utilisés en continu, ces systèmes contribuent à la croissance du gazon. Leur dimensionnement nécessite un relevé minutieux des données du climat et d'exposition du site, la nature du substrat et la surface chauffée. Le système sera, ensuite, plus ou moins raffiné selon le régime de fonctionnement et l'homogénéité visée. Il faut noter que ces systèmes ont une inertie supérieure aux précédents : 2 jours sont à prévoir pour atteindre la température visée. L'anticipation et une bonne régulation sont, donc, essentiels pour tirer la quintessence de ces dispositifs.

##### Système électrique

Le terrain est quadrillé par un maillage de câbles en aluminium qui, par effet Joule, dégagent de la chaleur. Celle-ci est progressivement absorbée par le sol, dont la température augmente jusqu'à atteindre la température de consigne. Le substrat contient des sondes permettant d'observer l'évolution des températures et de réguler le système.

Les câbles, d'une section de 25 mm<sup>2</sup>, se trouvent à une profondeur de 25 à 30cm de la surface avec un entraxe de 20 à 30cm, selon la puissance dégagée. Selon les particularités du stade, le terrain est divisé en secteurs, souvent entre 3 et 6. Chacun d'entre eux peut développer une puissance différente afin de garantir une température uniforme de l'ensemble de la pelouse. La sécurité est assurée par l'installation de tableaux de sécurité et de disjoncteurs électriques.

Deux types de systèmes électriques sont disponibles sur le marché, en fonction de la tension du courant alternatif qu'ils utilisent. Le système Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) utilise une tension inférieure à 48 Volts. Le système Basse Tension dont la tension est inférieure à 400 Volts. Les TBTS sont une extension du premier système. Chaque secteur du terrain dispose d'un transformateur triphasé transformant la tension du courant de 400 V à 48 V. Ce principe de fonctionne est illustré par la figure 27. Si le système Basse Tension est moins encombrant et exige moins de maintenance, il ne fonctionne pas de manière aussi fine que les TBTS. Ceux-ci peuvent, de plus, être géré à distance et facilement réparé grâce à l'indépendance de chaque câble. Il faut compter, en moyenne, 90W/m<sup>2</sup> pour la consommation de ces systèmes (LFP, 2012)

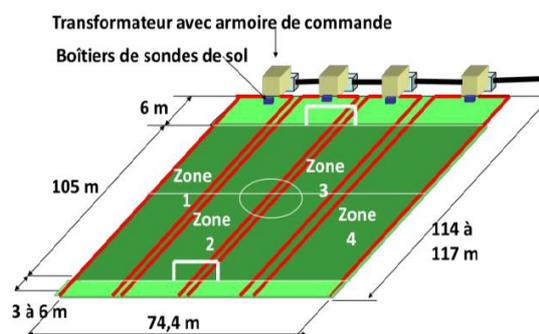


Figure 27: Principe des systèmes TBTS (LFP, 2012)

Pour les terrains en gazon synthétique, seuls les câbles émetteurs doivent être adaptés. Ainsi, ce sont des bandes d'un mètre de large qui sont installées. Celles-ci assurent, en plus, un rôle drainant. (Interview de Monsieur Fereira, 2014) (Thermalu, 2014)

### Systèmes hydrauliques

Le principe des systèmes hydraulique est semblable à celui des planchers chauffants : un fluide caloporteur circule dans un réseau de conduites dont le matériau favorise l'échange thermique avec le substrat. Les boucles sont réalisées avec des tubes coaxiaux en polyéthylène réticulé (résistance mécanique) et aluminium (conduction de chaleur) d'épaisseur 2,5mm et 25mm de section. Ils sont positionnés à 35 cm de la surface, selon un entraxe de 30cm. L'alimentation et le retour se font via des collecteurs permettant l'application du principe de Tichelmann.

Le fluide caloporteur utilisé est, généralement, composé d'eau et à 30% de glycol. Il circule sous une pression de 10 bars.

Pour réaliser la régulation, trois paramètres sont mesurés : la température de la pelouse, la température du fluide à la sortie de l'organe de chauffe, la température au niveau des racines. Il est essentiel de s'assurer que le chauffage n'assèche pas des racines ou, pire, brûle le gazon. Comme grandeurs caractéristiques, la température visée pour l'alimentation des boucles est 50°C, celle du retour est 34°C. La régulation peut se faire en jouant sur la pression du fluide caloporteur et/ou la température de celui-ci. Il convient, néanmoins, de s'assurer que l'adaptation du système n'entraîne pas les dommages évoqués précédemment.

Grâce au dispositif de capteurs, il est possible d'adapter le chauffage en fonction de l'éclairage particulier reçu par une partie de la surface. (De Ceuster, 2010)

L'un des intérêts de ce système est qu'il n'est pas dépendant de l'organe de chauffe choisi. On peut donc toujours en changer. L'installation dure 7 jours. (De Ceuster, 2014), (Interview de Monsieur Denayer, 2014)

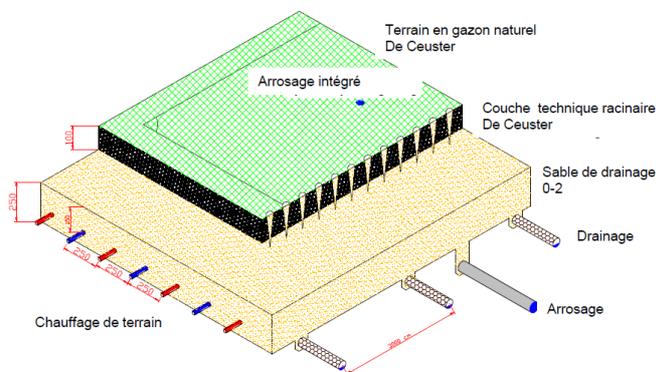


Figure 28: Principe d'un système de chauffage de pelouse hydraulique

Figure 29: Illustration des tuyaux utilisés dans un système de chauffage de pelouse hydraulique

Quel que soit le système utilisé, il est préférable d'anticiper le gel. En effet, pour obtenir un résultat optimal, il est nécessaire de prévoir deux jours. Sous ce délai, le risque de brûlure du gazon est très important. Un intérêt des pelouses synthétiques est, donc, de pouvoir lancer le système de chauffage plus tard et plus fort, sans risque d'endommager la surface de jeu. Il faut, également, noter que le chauffage d'un terrain de stade est, généralement, plus favorable que celui d'un terrain d'entraînement. En effet, le stade est partiellement abrité grâce aux tribunes. L'expérience a montré que la protection au vent compense largement la diminution de lumière naturelle incidente.

Dans tous les cas, l'installation d'une station météo de qualité est recommandée afin que les consommations réalisées correspondent le plus possible aux besoins réels. (LFP, 2012)

## 4.2 Eclairage photosynthétique du gazon

Dans de nombreux stades, la pelouse ne bénéficie pas d'un accès suffisant à la lumière naturelle. La croissance du gazon naturel ne peut donc s'effectuer correctement. En raison de sa fréquence d'utilisation, il n'est, alors, pas possible de maintenir la surface de jeu à un niveau de qualité suffisant (Nixdorf, 2008). Il, toutefois, s'agit d'un enjeu important dans l'optique de limiter le risque de blessure des joueurs, améliorer la qualité du spectacle, limiter le recours à des engrais, l'ensemencement ou la pose de nouveau tapis de gazon durant la saison. Les rentrées financières allant de pair avec le nombre d'évènements organisés, les gestionnaires du stade ont tout intérêt à utiliser la pelouse intensivement.



Figure 30: Eclairage photosynthétique de la pelouse du stade du Chelsea FC. (SGL Systems, 2014)

Pour faire face à ce problème, des systèmes d'éclairage photosynthétique ont été développés. Concrètement, il s'agit d'éclairer les surfaces de gazon trop peu illuminées au moyen de lampes particulières. En effet, pour réaliser la photosynthèse, une plante a besoin que la lumière incidente contienne un chargement minimum de photons. Celui-ci, exprimé en  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ , l'unité de description de la densité du flux de photons permettant la photosynthèse (Photosynthetical – Photon Flux Density - PPF). Pour obtenir un résultat efficace à coûts réduits, n'importe quel type de lampe ne peut donc être utilisé. Cette efficacité se mesure en  $\text{Mmol}/\text{m}^2/\text{s}$  par W électrique. C'est ainsi que les lampes à sodium moyenne pression sont préférées aux LED. La raison est qu'un LED fournit un éclairage ponctuel, tandis qu'une ampoule au sodium éclaire très bien  $6\text{m}^2$ . Des recherches sont, toutefois, en cours afin de développer des modules LED adaptés à cette application.

Le dimensionnement d'une installation d'éclairage photosynthétique se fait sur mesure : un expert de la société distributrice se rend sur place, évalue les besoins et propose un dispositif en fonction des paramètres repris dans le tableau 42, ci-dessous.

Qualité de gazon souhaitée	Période d'utilisation
Localisation du stade	Intensité d'utilisation
Conditions climatiques locales	

Tableau 42: Paramètres intervenants dans le dimensionnement du dispositif de luminothérapie (Interview de Monsieur Van 't Klooster, 2014)

L'autre intérêt de ces systèmes est qu'ils sont raccordés à des sondes permettant de prévoir à l'avance le besoin qu'aura une zone du terrain en arrosage, en éclairage photosynthétique ou en fertilisants, (SGL Systems, 2014)

Pour le stade de Gand, l'utilisation du système se fait 24h/24, de septembre à mars inclus, soit 210 jours. Une ampoule du dispositif installé a une puissance de 600 W. Sur une année, l'éclairage photosynthétique du stade de Gand représente environ 30% de la consommation électrique du stade.

L'UEFA et la FIFA proposent d'utiliser des matériaux translucides pour la couverture des gradins afin de lutter contre les ombres portées. Cette solution semble être intéressante mais nécessite de prendre des mesures de nettoyage adaptées. (FIFA, 2011), (UEFA, 2011) De plus, il conviendra de s'assurer que le matériau utilisé puisse épouser la forme de toiture désirée par les architectes. Ceci n'est pas toujours garanti, comme lorsque des formes courbes sont recherchées, (Nixdorf, 2008) Un exemple est fourni par la figure ci-dessous illustrant la Rhein-Neckar Arena de Hoffenheim. Sa toiture est couverte de panneaux de polycarbonate double-paroi, transparents. (Bayer, 2009)



Figure 31: Toiture translucide de la Rhein-Neckar-Arena, réalisée avec des panneaux de polycarbonate (Bayer, 2009)

Il faut, aussi, noter qu'une toiture translucide n'est pas une solution miracle. Rien ne garantit, en effet, qu'une zone du terrain ne sera pas plongée dans l'ombre une partie de l'année. Par exemple, en hiver, la hauteur azimutale du soleil constitue une menace. De même, l'environnement bâti voisin peut créer des masques. Enfin, l'état de certains terrains d'entraînement, sur des sites parfaitement dégagés, témoigne que la technologie ne peut rien faire face à une utilisation excessive de la pelouse. La figure 30 le démontre puisque des dispositifs d'éclairage photosynthétiques sont développés malgré la toiture translucide des tribunes du stade. (Interview de Monsieur Van 't Klooster, 201), (Interview de Monsieur Piens, 2014)

### Récapitulatif

Le développement d'un système de maintien à température de la pelouse est devenu une norme pour les stades d'une certaine taille. La bonne pratique consisterait à développer une solution intégrée au sol. C'est, d'ailleurs, ce que recommande la FIFA. (FIFA, 2011) Plus coûteuse, elle est plus efficace et garantit sa performance. De plus, la sécurité des joueurs reste un enjeu primordial. Le gros avantage de la solution hydraulique est qu'il est très facile de modifier l'organe de production de chaleur et de l'adapter en fonction des meilleures technologies disponibles. Malgré les dispositions de sécurité, les systèmes hydrauliques semblent, potentiellement, moins dangereux.

Dans tous les cas, consulter un expert, réaliser le maillage le plus fin possible du terrain et mettre en place des outils de régulation et de contrôle sont nécessaires. Maximiser les apports lumineux en utilisant pour la toiture un matériau de couverture translucide ne peut qu'être une bonne chose. Attention, toutefois, à ne pas perdre de vue l'entretien et/ou pénaliser la qualité architecturale. Des simulations d'ensoleillement de la pelouse pourraient également être menées afin de déterminer ou d'optimiser la forme de la toiture. L'utilisation d'un système d'éclairage photosynthétique, la multifonctionnalité du stade, son éventuel chauffage par le sol posent la question de la production d'énergie verte. Ces éléments

devront, impérativement, être pris en compte par l'étude de ce potentiel, recommandé par plusieurs outils.

Enfin, selon l'intensité des manifestations et de la présence de masques lumineux, l'installation d'un terrain synthétique est peut-être à envisager. Le risque de brûler les racines n'existe pas pour ce type de gazons. Il est, donc, possible de lancer le système de chauffage plus tard et plus fort. Si une surface synthétique est installée, l'organisation d'activités à destination de la communauté devrait, alors, être exigée : le risque de dégrader la pelouse n'existe plus.

## 5. Eclairage

La conception de l'éclairage de la pelouse d'un stade de football est une opération complexe. De nombreuses contraintes techniques doivent être prises en compte afin de réaliser une installation optimale. Ainsi, il ne s'agit pas, seulement, de garantir de bonnes conditions de visibilité aux joueurs et aux supporters, il s'agit de garantir une qualité d'éclairage telle que les besoins télévisuels puissent être satisfait. Comme cela va être montré, les exigences à satisfaire pour la réalisation de retransmissions télévisées sont les plus contraignantes.

### 5.1 Définition de la catégorie de compétition

La première chose à faire est d'identifier les besoins auxquels l'éclairage du stade devra répondre. Il n'est, en effet, pas pertinent de développer un système d'éclairage dernier cri si aucune retransmission télévisée n'est prévue.

Dans son guide de recommandations, la FIFA propose la subdivision illustrée par le tableau suivant:

Classe	Type	Exigence
V	TV internationale	Chaque zone est exempte d'ombre
IV	TV nationale	Chaque zone est exempte d'ombre
III	Match national sans TV	Chaque match est éclairé par 8 mâts
II	Ligues sans TV	Chaque match est éclairé par 6 mâts
I	Loisir & Entraînement	Chaque match est éclairé par 4 mâts

Tableau 43: Classes d'utilisation des stades en fonctions exigences sur l'éclairage (FIFA, 2011)

D'autres subdivisions plus fines peuvent être réalisées, notamment entre les différentes divisions d'une fédération nationale. Celle-ci donne, toutefois, une première idée des niveaux exigence en fonction d'un panel large d'utilisations.

### 5.2 Définition des principaux paramètres de l'éclairage des stades de football

- **Grille de mesure de mesure et de calcul:** Pour concevoir et mesurer les performances d'un dispositif d'éclairage, la discrétisation de la surface à éclairer est nécessaire. Pour cela, le terrain de football est quadrillé par un maillage de grilles carrées de 10m de côté. Les coins de chaque grille sont définis comme des points de mesure. Le milieu du côté des grilles et le centre de celles-ci correspondent aux points de calcul. Le maillage d'un terrain de football est, donc, constitué de 7 x 11 points de mesure et 13 x 21 points de calcul, comme l'illustre la figure ci-dessous.

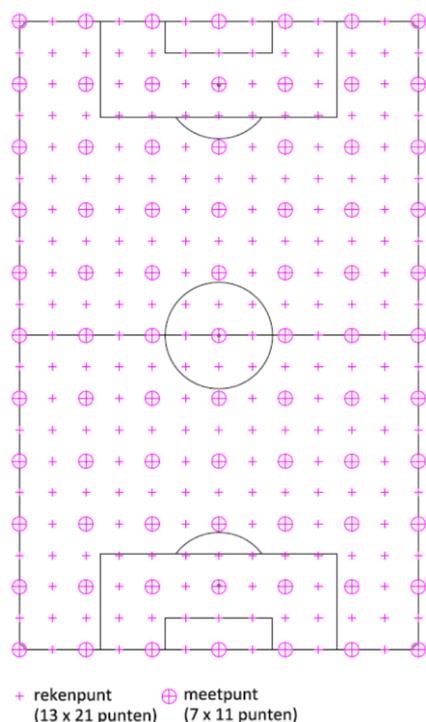


Figure 32: Maillage du terrain (Interview de Monsieur Van Goethem)

- **Éclairage horizontal  $E_H$** : La quantité de lumière incidente à un plan horizontal placée au niveau de la pelouse. Il se mesure sur les coins d'une grille de 10m x 10m en Lux. [FIFA].
- **Éclairage horizontal moyen  $E_{H, moy}$** : L'éclairage horizontal d'un point de calcul de la grille de discrétisation. Il est calculé en réalisant la moyenne des éclairages horizontaux mesurés aux points voisins. Les exigences sur les niveaux d'éclairage horizontal à respecter sont exprimées par rapport à  $E_{H, moy}$ .
- **Uniformité d'éclairage horizontal**: La description de la variation d'éclairage horizontal moyen sur une distance. L'améliorer permet d'améliorer la qualité de vision des joueurs et de réaliser des vidéos en haute définition (HD). Elle est quantifiée par le coefficient de variation (CV) ou par le gradient d'uniformité (UG).  
 CV = le rapport entre l'écart type et la moyenne  
 UG = le taux de variation entre deux points
- **Uniformité horizontale  $U_0$**  garantit que partout sur le terrain un niveau minimum d'éclairage est atteint.  $U_0 = E_{H, min} / E_{H, moy}$
- **Éclairage vertical  $E_v$** : La quantité de lumière incidente à un plan vertical placé 1m au-dessus de la pelouse. L'orientation de ce plan doit être spécifiée, la mesure se fait en Lux. Il représente la lumière incidente à un joueur qui permettra de réaliser des images TV de bonne qualité.
- **Éclairage vertical vers la caméra  $E_{v, cam}$** : L'éclairage vertical mesuré sur un plan orienté perpendiculairement à la visée d'une caméra. Quatre caméras fixes de référence doivent être étudiées:
  - Deux caméras principales, situées dans les tribunes, au niveau de la ligne médiane du terrain. Sur la figure 33, il s'agit de 1 et 3.
  - Deux caméras derrière les buts, situées dans les tribunes, au niveau du milieu de chaque but. Sur la figure 33, il s'agit de 2 et 4.

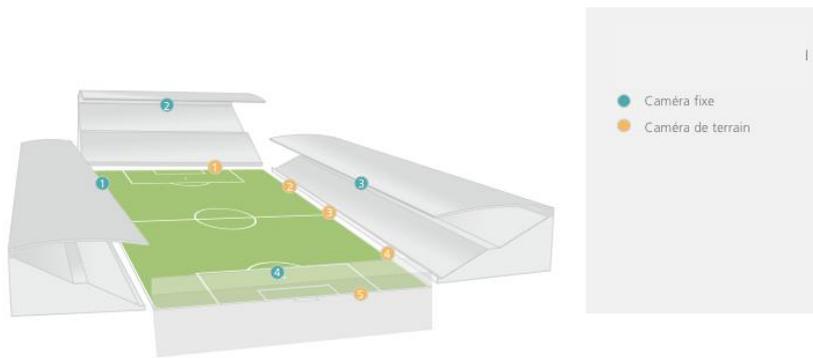


Figure 33: Position classique des caméras (FIFA, 2011)

- **Eclairage vertical moyen vers la caméra  $E_{v\ moy\ cam}$ :** L'éclairage vertical d'un plan orienté perpendiculairement à la visée d'une caméra. Le centre de ce plan correspond à un point de calcul de la grille de discrétisation. Les exigences sur les niveaux d'éclairage vertical vers la caméra à respecter sont exprimées par rapport à  $E_{v\ cam,\ moy}$ .
- **Uniformité d'éclairage vertical vers la caméra  $U_0$ :** Le rapport entre l'éclairage vertical vers la caméra minimum et moyen :  $U_0 = E_{v\ cam\ min} / E_{v\ cam\ moy}$
- **Uniformité d'éclairage vertical vers la caméra  $U_1$ :** Les rapports entre l'éclairage vertical vers la caméra minimum et maximum:  $U_1 = E_{v\ cam\ min} / E_{v\ cam\ max}$
- **Glare rating (GR):** Le taux d'éblouissement ressenti par un observateur pour une position et selon une direction de regard. L'objectif est de s'assurer que les joueurs ne soient pas éblouis par les systèmes d'éclairage. Sur chaque demi-terrain, 11 positions de références, à un 1,5m de haut doivent être étudiées. Son calcul se réalise de la manière suivante:

$$G_r = 27 + 24 \log \left( \frac{L_{v1}}{L_{ve}} \right), \text{ avec}$$

$L_{v1}$  = Luminance totale de voile engendrée par l'installation, exprimée en  $cd/m^2$ . Elle se calcule selon la formule  $L_{v1} = 10 (E_{oeil} \times \theta^2)$ , où

$\theta$  est l'angle entre la direction de vision et la lumière incidente

$E_{oeil}$  est l'éclairage reçu par l'oeil dans un plan perpendiculaire à la direction de vision ( $2^\circ$  sous l'horizontale).

$L_{ve}$  = Luminance équivalente de voile de l'environnement, exprimée en  $cd/m^2$ . Moyennant l'hypothèse d'une réflexion totalement diffuse de l'environnement, elle se calcule selon la formule  $0.035 \rho E_{av} \pi^{-1}$ , où

$\rho$  est le facteur de réflexion moyen

$E_{av}$  est l'éclairage moyen du terrain



Figure 34: Positions à prendre en compte lors de l'évaluation du GR (Interview de Monsieur van Goethem)

Afin de réduire le risque d'éblouissement des gardiens et des attaquants, la FIFA invite les concepteurs d'éclairage à adopter les deux stratégies suivantes:

- Ne placer, de part et d'autre de la ligne de but, aucun luminaire selon un angle horizontal de  $10^\circ$  par rapport au centre du but, comme illustré par la figure 36.

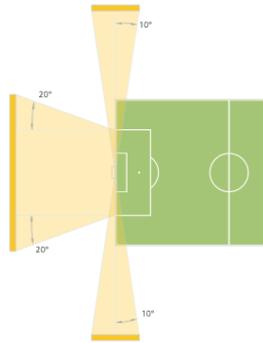


Figure 36

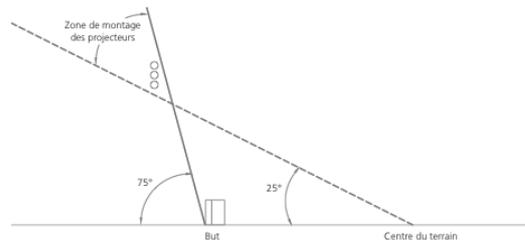


Figure 35

Figure 35: Stratégies de lutte contre l'éblouissement des joueurs (FIFA, 2011)

Figure 36: Stratégie de lutte contre l'éblouissement des attaquants (FIFA, 2011)

- Ne placer aucun luminaire dans une zone située sous un angle vertical de  $75^\circ$  par rapport à la ligne de but et supérieure à un angle vertical de  $25^\circ$  par rapport à la ligne médiane, comme illustré par la figure 35.
- **Température de couleur  $T_k$**  : La représentation de l'aspect coloré de la lumière émise par une source, exprimée en Kelvin. Plus sa valeur augmente, plus elle tend vers une couleur bleue, qualifiée de froide. (Embrechts, 2013)
- **Indice de rendu des couleurs  $R_a$** : La représentation de la capacité d'une source à restituer la couleur authentique des objets, par rapport à celle observée sous la lumière du jour. (Embrechts, 2013)
- **Multizone**: Afin de garantir une haute qualité d'image lors de la réalisation de vidéo à haute définition (HD), il faut, également, veiller à réduire les ombres portées dues aux joueurs. Pour cela, l'éclairage multizone consiste à éclairer une même zone du terrain par plusieurs luminaires, fixés en des endroits différents, comme la figure 37 en est une illustration.

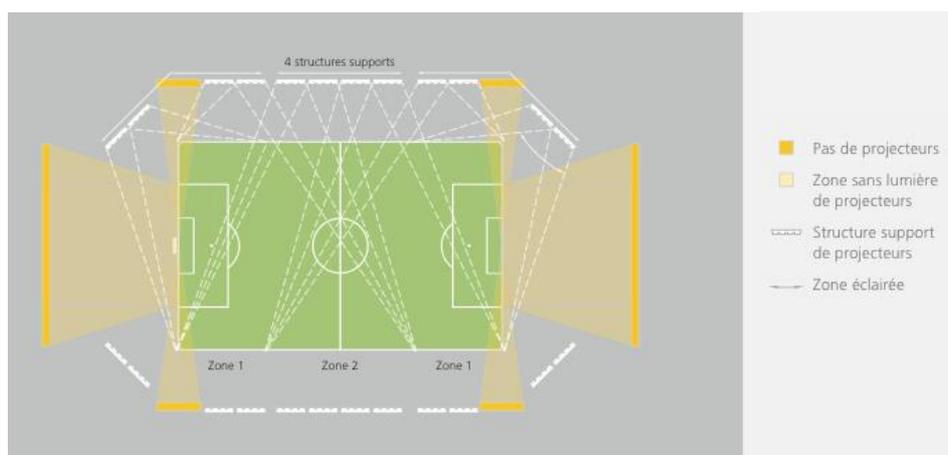


Figure 37: Exemple d'éclairage de la pelouse d'un stade de catégorie V. Illustration du principe de multizone. (FIFA, 2011)

### 5.3 Exigences

Les exigences auxquelles doit répondre l'installation d'éclairage sont décrites par trois documents de référence:

- Norme NBN EN 12 193 "Eclairagisme - Eclairage des installations sportives": Niveau d'exigence général pour toutes les installations sportives
- Règlement 2013-2014 de l'URSBSFA, chapitre 5 "Eclairage des terrains", Article 1231 "Normes pour l'éclairage": Niveau d'exigence pour les installations de football de division 1 belge
- Recommandations et exigences techniques de la FIFA, chapitre 9 "Eclairage et alimentation électrique", essentiellement destiné aux compétitions internationales télévisées

Leur résumé est fourni dans le tableau ci-dessous:

#### La norme NBN EN 12 193

Trois classes d'utilisation des stades de football sont définies par la norme (Bureau de la Normalisation, 2008):

- Classe I: niveau de compétition le plus élevé. Compétitions nationales ou internationales
- Classe II: niveau intermédiaire
- Classe III: niveau local

Les exigences de la norme pour chacune des classes sont résumées dans les tableaux 44 et 45. Le premier traite des exigences vis-à-vis de l'éclairage horizontal, le second de celles vis-à-vis de l'éclairage vertical. Le tableau 45 n'est, donc, à considérer que si la retransmission télévisée est envisagée.

Classe	Eclairage horizontal $E_h$			GR	Ra
	$E_m$	$E_{min}/E_{max}$	GU		
I	500 lux	0.7	<25% sur 5m	50	60
II	200 lux	0.6	<25% sur 5m	50	60
III	75 lux	0.5	<25% sur 5m	55	20

Tableau 44: Exigences de la norme NBN EN 19 193 pour l'éclairage horizontal

Classe	Eclairage vertical $E_v$		$T_k$	$R_a$
	$E_{v\ cam}$	$E_{h\ moy}/E_{v\ cam\ moy}$		
Toutes	selon la distance *	0.5 à 2	3 000 à 6 500 K	> 65 **

Tableau 45: Exigences de la norme NBN EN 12 193 pour l'éclairage vertical

\* La valeur par défaut est 800 lux (75m)

\*\* En journée ou au crépuscule, la gamme se réduit à l'intervalle 4000 à 6500 K

\*\*\* Une valeur supérieure à 80 est à rechercher

## L'URBSFA

L'URBSFA se limite à exiger un éclairage horizontal moyen sur l'ensemble du terrain de 800 lux. L'éclairage horizontal ne peut, en aucun point du terrain, être inférieur à 600 lux, soit 75%. Il est étonnant de constater qu'aucune exigence ne soit formulée sur l'éclairage vertical du terrain. Un éclairage vertical satisfaisant est, en effet, essentiel à une couverture télévisée de qualité. Ces textes réglementaires sur l'éclairage des terrains de football sont actuellement en cours de modernisation et réécriture au sein de la fédération belge. (URBSFA, 2014)

## La FIFA

La FIFA propose de définir l'utilisation des stades parmi 5 classes afin d'en caractériser les besoins d'éclairage (FIFA, 2011). Ainsi, les classes I à III qui ne sont pas concernées par les retransmissions TV ne doivent pas satisfaire de critères sur l'éclairage vertical. Inversement, la classe V subit de nouvelles sous-divisions afin de tenir compte d'exigences télévisées plus pointues.

Les recommandations en matière d'éclairage sont résumées dans les tableaux 46 et 47. Le premier traite des classes concernées par la retransmission TV, tandis que les classes du second ne le sont pas.

Classe	Calcul vers caméra	Eclairage vertical			Eclairage horizontal			Propriétés lampes	
		$E_{v\ cam\ moy}$	Uniformité		$E_{H\ moy}$	Uniformité		Température de couleur	Rendu des couleurs
		Lux	U	U	Lux	U	U	$T_k$	$R_a$
V	Fixe	> 2 000	0.6	0.7	3 500	0.6	0.8	> 4 000 K	$\geq 65$
	Terrain	1 800	0.6	0.65					
IV	Fixe	2 000	0.6	0.65	2 500	0.6	0.8	> 4 000 K	$\geq 65$
	Terrain	1 400	0.35	0.6					

Tableau 46: Exigences pour l'éclairage des pelouses soumises à des retransmissions télévisées. (FIFA, 2011)

Classe	Eclairage horizontal	Uniformité	Température de couleur	Rendu des couleurs
	$E_{H\ moy}$ (LUX)	U	$T_k$	$R_a$
III	750	0.7	> 4 000	$\geq 65$
II	500	0.6	> 4 000	$\geq 65$
I	200	0.5	> 4 000	$\geq 65$

Tableau 47: Exigences pour l'éclairage des pelouses pour lesquelles la retransmission télévisée n'est pas prévue. (FIFA, 2011)

Attention, il faut noter que l'ensemble de valeurs décrites sont des valeurs à maintenir. C'est à dire qu'il s'agit de valeurs minimales à garantir malgré l'encrassement et la dépréciation des luminaires, etc. Pour en obtenir l'équivalence en performances initiales, il faut les diviser par un facteur de maintenance. Des valeurs courantes de celui-ci sont 0.7 (FIFA, 2011) ou 0.8. (Embrechts, 2013)

Il peut être constaté que les recommandations formulées par la FIFA pour l'éclairage moyen de la classe V vont au-delà des exigences de la catégorie 4 de stades. Pour la construction d'un stade, il est nécessaire de se plier aux recommandations ci-dessus. Par contre, pour les stades existants, l'éclairage prescrit par la description de la catégorie 4 est jugé suffisant.

A cet égard, il doit être noté que, vu les exigences du multizone, de l'indice d'éblouissement et des niveaux d'uniformité, l'augmentation de l'éclairage d'un stade nécessite la réalisation d'une nouvelle étude complète de l'éclairage. En aucun cas, le remplacement direct des luminaires par de nouveaux plus puissants ne doit être envisagé. (Interview de Monsieur Van Goethem, 2014)

## 5.4 Impact sur le voisinage

Afin de garantir les niveaux d'éclairage exigés, des dispositifs lumineux d'envergure doivent être mis en place. Dans un but d'intégration harmonieuse au sein du voisinage, il faut veiller à limiter la lumière indésirable émise vers celui-ci. A cet égard, la norme NBN EN 12 193 et la FIFA fournissent des quelques balises aux concepteurs.

La norme étudie deux impacts: l'impact de la lumière des installations d'éclairage extérieur et celui de l'incrément par l'installation sportive. Pour le premier, elle fournit des tableaux avec l'intensité maximum des luminaires, l'éclairage vertical maximum dans les propriétés. Le pourcentage maximum de lumière émise au-dessus de l'horizontale y est, également, décrit. Ces seuils sont définis en fonction de quatre zones environnementales.

Face à cet enjeu, la FIFA ne réalise pas une différenciation sur base de la zone environnementale mais bien selon la distance par rapport au périmètre du stade. Ainsi, à une distance de 50m autour du stade, l'éclairage vertical maximum  $E_{V \max}$  doit être limité à 40 lux et l'éclairage parasite horizontal à 25 lux. Jusqu'à 200 m plus loin, ces valeurs chutent respectivement à 20 lux et 10 lux. La figure ci-dessous illustre cette recommandation.

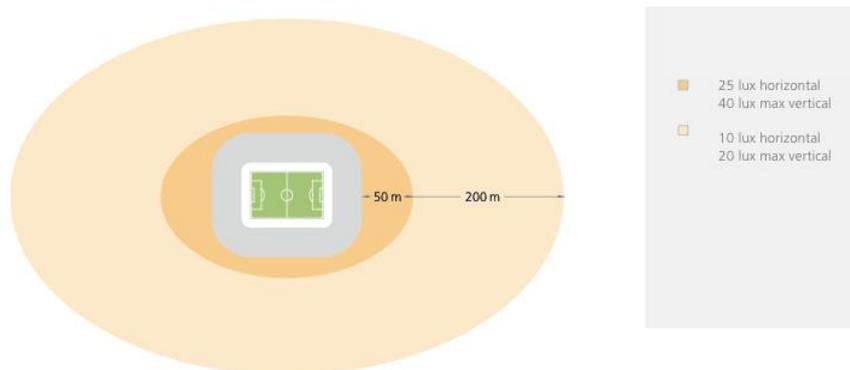


Figure 38: Niveaux maximum recommandés d'éclairage supplémentaire généré par le stade dans son voisinage (FIFA, 2011)

## 5.5 Orientation terrain

L'orientation du terrain pose actuellement question. Son choix judicieux peut avoir des répercussions à trois niveaux:

- Eblouissement des joueurs et des spectateurs
- Besoin d'éclairage photosynthétique pour le gazon
- Mauvaise qualité des images télévisées due au contraste

Il n'y a, pour le moment, pas de consensus entre l'UEFA et la FIFA sur l'orientation optimale à donner aux stades de football. Les premiers privilégient une orientation Nord-Sud du terrain, avec les caméras dans les principales directions situées à l'Est et à l'Ouest. Le but d'une telle orientation est d'éviter qu'une équipe ne soit défavorisée par la lumière rasante du soleil se couchant en soirée. Les autres, préfèrent une orientation telle que la tribune d'honneur soit normale à la position moyenne du soleil, pour un match disputé l'après-midi.

Dans tous les cas, une étude approfondie du site et de ses potentialités devra être réalisée. Le choix de l'orientation est, également, crucial par rapport à l'installation de panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques.

## 5.6 Type de lampe

Actuellement, les lampes utilisées pour réaliser l'éclairage de la pelouse des stades sont généralement à halogénures métalliques. Les principales propriétés de ces lampes sont un rendement élevé (100 lm/W), sa température de couleur (4000K) et son indice de rendu des couleurs (80 à 90). Sa durée de vie de 10 000h est, par contre, assez moyenne. (Embrechts, 2013)

Dans les années à venir, la technologie LED est appelée à intégrer de plus en plus le marché de l'éclairage des terrains de sport. Début juillet 2014, Philips devrait inaugurer le premier stade au monde à utiliser la technologie LED pour l'éclairage de sa pelouse. Deux raisons doivent permettre à l'éclairage LED d'apporter une plus-value aux systèmes actuels:

- Capacité de régulation continue. Actuellement, les installations d'éclairage sont conçues avec des luminaires dont le fonctionnement est binaire. Pour des raisons d'économie, il est parfois demandé à ce que l'éclairage de la pelouse puisse être réalisé selon des niveaux d'éclairages différents. Actuellement, pour y parvenir, il faut, lors de la conception, jouer sur la position et le nombre de luminaires allumés et éteints afin d'atteindre des niveaux cibles définis de manière définitive. La conception globale consiste, donc, à réaliser trois conceptions d'installation d'éclairage, répondant aux exigences des niveaux souhaités, et à les rationaliser en un nombre minimum de luminaires. L'éclairage LED n'est pas binaire, il permet une régulation individuelle selon des niveaux d'éclairage continu. Ainsi, il sera possible de fournir le niveau d'éclairage souhaité, au cas par cas, et de réaliser des économies.
- L'éclairage LED permet d'obtenir des niveaux d'éclairage supérieurs à ceux des halogénures métalliques. Vu le développement des technologies d'enregistrement "slow motion", les niveaux d'éclairage requis actuellement devront certainement être augmentés. Les LED seront en mesure de faire face à ces nouvelles exigences. (Interview de Monsieur van Goethem, 2014)

## 5.7 Perspectives pour les outils de certification durable

Si le rendement des LED n'est pas encore très bon (60 à 70 lm/W), leur durée de vie est 10 fois supérieure à celle des lampes à halogénures métalliques. (Embrechts, 2013) De plus, les fabricants estiment que le potentiel d'amélioration du rendement, pour les années à venir,

sont énormes et devraient lui permettre de dépasser sa concurrente. (Interview de Monsieur Van Goethem, 2014)

L'éclairage est une thématique clé dans la conception d'un stade et sa prise en compte dans un outil spécifique est indispensable. Parmi les critères d'évaluation que nous pourrions retrouver, la réalisation d'une étude d'éclairagisme me semble être un premier élément important. Y seraient évaluées les potentialités du site par rapport à l'éclairage naturel et l'inventaire des besoins du stade en éclairage. La conception des systèmes d'éclairage doit être confiée à des spécialistes. La conception doit viser à développer des installations modulables permettant d'adapter les niveaux lumineux aux activités. A cet égard, les installations permettant une régulation plus fine devront être valorisées. L'ensemble des valeurs recommandées par la FIFA et l'UEFA constituera la meilleure pratique. Les grandeurs caractérisant le confort des personnes recevront une pondération supérieure. Limiter l'impact de l'éclairage sportif du stade vers le voisinage doit être un objectif poursuivi par les concepteurs. Ainsi, les mâts devront être évités, autant que possible, dans les stades. La conception raisonnée devra être valorisée par rapport à l'utilisation de solutions techniques plus élaborée. Le monitoring des consommations pourra être réalisé et le développement de plans garantissant une utilisation raisonnée de l'éclairage seront faits. L'installation d'une couverture de toiture translucide trouvera également un écho mais il convient de n'évaluer un même critère qu'une seule fois.

## 6. Approche communautaire

Deux niveaux d'étude seront pris en compte dans cette thématique. D'une part, l'intégration harmonieuse du stade dans son voisinage, la limitation des nuisances qu'il génère envers celui-ci et la recherche d'enrichissements mutuels. D'autre part, le développement d'actions bénéfiques dont la portée est plus large et vise une ville ou une communauté.

### 6.1 Intégration harmonieuse dans le voisinage

Lorsqu'une approche orientée vers la communauté et le social est imaginée, le premier angle d'action est le respect du cadre dans lequel le stade s'insère.

A cet égard, la FIFA aborde le sujet en parlant d'éco compatibilité entre le site et le stade. Il s'agit, dès la sélection de l'implantation d'entamer la réflexion à propos des défis suivant :

- L'augmentation du flux automobile
- La gestion d'un flux de supporters potentiellement bruyants et agressifs
- L'éclairage de la pelouse et du stade
- Les ombres portées sur les propriétés voisines
- L'absence d'activité en dehors des matches
- L'échelle du projet par rapport à son voisinage

Certains de ces défis ont été abordés précédemment dans le travail et leur description ne sera pas réalisée une deuxième fois. A travers les suggestions d'aménagement qu'elle propose, la FIFA tente de résoudre une problématique à la fois.

Par exemple, dans la lutte contre le bruit et la pollution lumineuse, imaginer le stade dans une cuvette, avec un éclairage fixé en toiture plutôt que sur des mâts constitue une première piste illustrée par la figure 39. L'idée de développer des espaces verts autour du stade afin de faire tampon acoustique et lumineux en est une autre, précédemment évoquée. De plus, les espaces verts ont un impact très positif sur la santé, le confort visuel, l'utilisation du stade et la gestion de l'eau. Cette solution permet, également, de garantir un recul suffisant par rapport aux propriétés voisines et d'ainsi mieux intégrer le gabarit du stade dans le tissu préexistant. Enfin, architecturalement, l'idée d'avoir une continuité végétale entre la pelouse du stade et ses abords me paraît séduisante. La figure 40 illustre cette idée.

La principale limitation provient, bien sûr, de l'espace disponible et de la volonté des promoteurs de développer des espaces sans rentabilité directe. (FIFA, 2011)

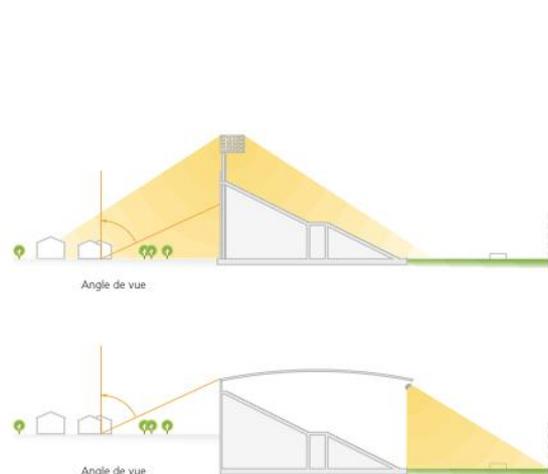


Figure 39

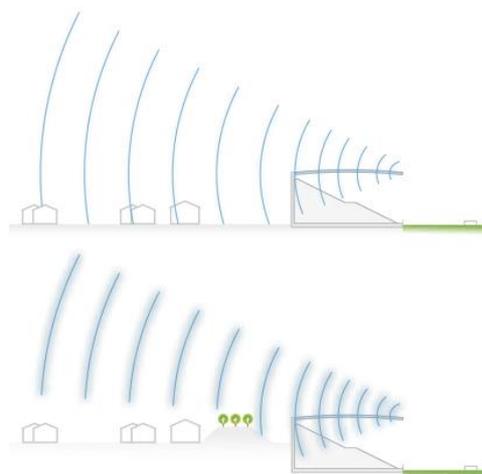


Figure 40

Figure 39: Propagation des ondes sonores, le stade

Figure 40: Propagation des ondes sonores

Un aménagement paysager est, également, l'un des points vers lesquels l'UEFA souhaite attirer la réflexion des concepteurs. Le stade doit permettre d'améliorer les services offerts au voisinage et servir de catalyseur dans le renouvellement d'un quartier. Ainsi, l'UEFA définit un bon stade comme " faisant partie du quotidien de la communauté " . (UEFA, 2011) A ce titre, apporter des fonctions manquantes, génératrices d'emplois, dans le quartier permettra d'améliorer la perception et l'appropriation du stade. Par exemple, un service de premier secours y aurait une place pertinente. D'autres pistes sont une salle des fêtes, des tarifs préférentiels sur les tickets mais aussi l'implication des voisins dans la conception, lors d'enquête ou de réunions.

## 6.2 Bénéfices pour la communauté

Certains auteurs affirment que " Plus aucun grand stade ne remplira ce rôle-là, n'assumera cette mixité d'usagers : sportifs sur le pré, supporters en tribunes, sponsors en loges, chacun a sa place. Les exigences des sportifs et des clubs résidents sont incompatibles avec un usage public ou scolaire. (...) Voilà pourquoi la tendance est au détachement du stade à son territoire. Ils ne représentent plus vraiment les valeurs sociales et éducatives de la pratique du sport, et ne sont au mieux que des lieux de ferveur populaire, au pire des endroits où se massent momentanément autour des compétiteurs, ceux qui financent, ceux qui animent et ceux qui diffusent." (Cadic, 2010)

C'est pour face à ce genre de dérives que le développement d'activités à destinations de la communauté doit être prévu. C'est également l'ambition du programme Healthy Stadia : apporter une plus-value dans la vie des spectateurs en les sensibilisant à un comportement sain. (Healthy stadia, 2014)

L'UEFA lance des idées pour faire en sorte que le stade ne soit pas un simple lieu de rassemblement éphémère mais apporte, également, quelque chose à la communauté. L'architecture du stade peut être le reflet de l'identité locale, des valeurs traditionnelles et culturelles de sa région. Ainsi, il doit être une source de fierté pour les habitants de la région et un reflet du savoir-faire local. Une intégration sensible dans son contexte doit lui permettre de s'enraciner dans son environnement. A cet égard, le projet de nouveau stade de Sienne,

illustré sur la figure 41, me semble être un exemple. Il peut constituer un lieu de rassemblement pour les familles, servir de tremplin à la réinsertion professionnelle ou contribuer à l'éducation. (UEFA, 2011) Ainsi, si un aménagement paysager suffisant est réalisé autour du stade, pourquoi ne pas y intégrer une bibliothèque ? Celle-ci bénéficierait de vues apaisantes vers les espaces verts et profiterait de l'attractivité du stade pour attirer de jeunes lecteurs.



Figure 41: Vue de l'intégration dans le site du projet de nouveau stade communal à Siena (<http://www.lotti-pavarani.com>)

Née en 2009, l'ASBL "Voetbal in de stad" cherche à produire le retour social d'un investissement public. Un plan pluriannuel a été établi entre les acteurs dont la Ville et le club afin de dégager des objectifs et activités à développer. Ainsi, la Ghelamco Arena propose une série d'activités à destination de la communauté dont il semble intéressant de s'inspirer (KAA Gent, 2014) :

- "Playing for Success" permet à des enfants en situation scolaire difficile de bénéficier de soutien éducatif
- "Gezond Gescoort" sont des projets éducatifs destinés aux écoles focalisés sur l'alimentation, l'activité physique et la prévention contre le tabagisme
- "KAA Gent Homeless Cup" est un ensemble d'activités proposé aux sans-abris ou personnes ayant des problèmes d'addiction
- Mises à disposition gratuite d'espaces pour des activités communautaire comme le salon de l'emploi et des études
- Organisation de formations de mise à l'emploi
- Organisation de visites guidées du stade par des bénévoles et description du fonctionnement au quotidien du club
- Mise à disposition d'espaces de rassemblement et de stockage, gratuitement, pour les groupes de supporters.
- Description audio du match pour des spectateurs malvoyants
- Vente de billets à un tarif réduit pour les familles membres du CPAS. Il a été constaté que 43% des recettes de billetterie de Manchester United proviennent des VIP. Or, ceux-ci ne représentent que 9% de la capacité totale du stade. (Commission Organisation Euro 2016, 2008) De tels chiffres montrent qu'il doit être possible de proposer des tarifs permettant à tous de se rendre aux stades.

Dans la même idée, le NAC Breda propose un programme de remise à l'emploi de 14 semaines de formations pour des jeunes ne disposant d'aucune qualification. Au terme de ce programme, ils reçoivent tous un stage chez un partenaire commercial du club. Le Club de Bruges propose gratuitement, chaque semaine, une séance collective de course à pied, sous la conduite d'un de ses médecins et préparateurs physique. (Football+Foundation:Manuel, 2014)

L'exploitation à des fins locales de la pelouse, si elle est synthétique, est suggérée par la FIFA (FIFA, 2011). Dans cet ordre d'idée, il pourrait être imaginé que, chaque semaine, une équipe de jeunes footballeurs puisse disputer son match sur la pelouse principale du stade et bénéficie d'une visite guidée.

A côté de ces mesures, les concepteurs veilleront à ne pas perdre de vue le respect des normes essentielles de confort. Fournir des espaces fonctionnels, ergonomiques et agréables doit rester une priorité. L'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite et la mise à disposition de tous les services requis ne sera pas oubliée.

La sécurité constituera, enfin, une priorité absolue. Le drame du Heysel est, encore, dans les mémoires collectives. De tels incidents ne doivent plus jamais se produire.

Les préoccupations sociales, énoncées ci-dessus, ne sont bien sûr pas exhaustives (UEFA, 2008). Toutes ne sont pas applicables de la même manière et les concepteurs auront la critique nécessaire afin de hiérarchiser les priorités. Néanmoins, leur attention restera focalisée sur la volonté d'apporter quelque chose à la communauté.

## 7. Autres perspectives

Les éléments à prendre en compte pour la future réalisation d'un référentiel spécifique aux stades ne se limitent pas aux six thématiques présentées ci-dessous. De nombreuses autres préoccupations, y compris dans les thématiques décrites, devraient être envisagées pour la réalisation d'un tel référentiel. L'ambition n'a d'ailleurs jamais été de réaliser une liste exhaustive de ces éléments. Quelques pistes générales sont, encore, lancées ci-dessous et n'ont d'autre prétention que de nourrir la réflexion du lecteur.

### 7.1 Gestion des déchets

L'évaluation de la Ghelamco Arena a montré que la quantité produite de déchets peut atteindre 1.5 tonne par rencontre de football. Si ramenée à l'échelle de la personne cette production n'a rien de scandaleuse (75g par personne), le tri n'est pas plus poussé que dans les logements. Ne serait-il pas intéressant de chercher à trier de manière différenciée les gobelets usagés, plutôt que les mélanger avec les PMC ? Ne pourrait-on pas lancer un monitoring des quantités de déchets produits ? Une réglementation sur les emballages ne pourrait-elle pas voir le jour ? Lors de la Coupe du Monde en Allemagne en 2006, il a été possible de réduire de 17% la production de déchets (GreenGoal, 2006) En effet, de nombreux produits sont emballés individuellement puis conditionné par groupes. Le volume d'emballage est donc important sans que le poids ne soit significatif. De plus, bon nombre d'entre eux ne sont pas nécessaires. Comme durant la Coupe du Monde 2006, (GreenGoal, 2006), il s'agirait d'un moyen de promouvoir des produits frais et régionaux. A cet égard, l'observation des pratiques dans certains festivals de musique pourrait s'avérer riche en enseignements. Ainsi, par exemple, les Ardentes Festival réalise le tri différencié des gobelets et bouteilles PET, tandis qu'un stand et des animations sensibilisant les festivaliers au recyclage sont organisés. (Interview de Madame Da Silva, 2014)

## 7.2 Confort acoustique

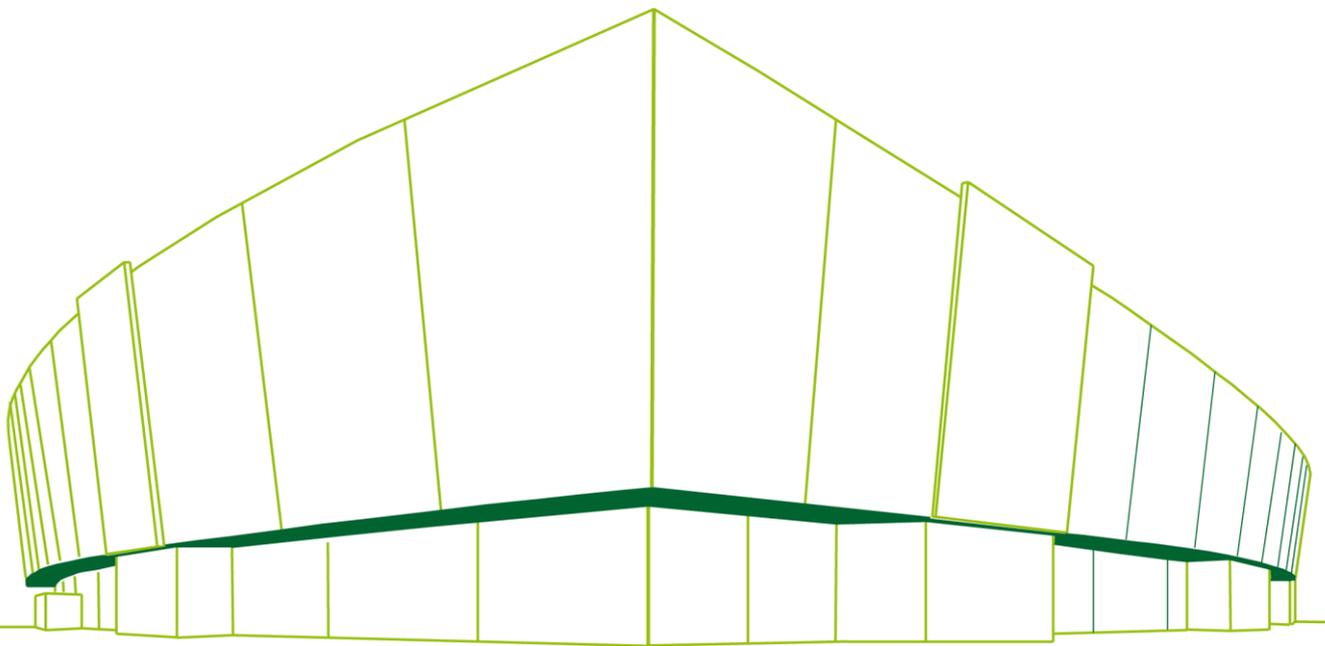
L'évaluation de la Ghelamco Arena n'a pas permis d'observer des exemples de mesures protégeant le voisinage de nuisances sonores induites par le stade. A moins que la sélection d'un site propice ne constitue, en vérité, la première mesure fondamentale ? L'étude du MER aura également permis de comprendre comment réaliser une étude d'impact acoustique d'un bâtiment : mesure des conditions initiales et addition de l'impact sonore d'un stade de typologie similaire après réalisation d'un relevé in situ. Une telle pratique doit constituer la norme. Il convient, toutefois, de s'assurer que d'autres activités prévues dans les stades ne soient pas plus bruyantes que l'activité footballistique. Par exemple, l'impact sonore d'un concert de rock n'est pas le même que celui d'un match de football. Peut-être serait-il profitable de réaliser l'évaluation de l'impact pour une série de fonctions "classiques" pouvant prendre place dans un stade. Ainsi, si les décideurs décident d'organiser, après 10 ans d'utilisation du stade, un concert alors que ce n'était pas prévu au départ, ils ne pourront pas se cacher derrière la méconnaissance des impacts.

Les quelques mesures conceptuelles proposées par la FIFA dans ses recommandations pour la lutte contre le bruit me semblaient également intéressantes. Les masques végétaux permettent, en plus de leur rôle acoustique d'embellir la ville, proposer des espaces verts à la communauté et intégrer le stade dans son contexte. Comme les référentiels le proposent déjà, la sélection d'espèce locale est un "must" en vue de réduire les besoins en eau, produits chimiques et manutention. Elles permettent, de plus, d'apporter une certaine cohérence dans les espaces verts de la ville.

## 7.3 Gestion d'installations temporaires

Les cas des Jeux Olympique de Londres ou d'hiver à Sotchi posent comme toute manifestation de cette ampleur la question des installations temporaires et l'impact d'un tel évènement pour le développement d'une ville. Ces aspects mériteraient, sans doute, d'être intégrés dans un outil et de faire l'objet d'une étude approfondie tant ils semblent être des problématiques actuelles.

# Chapitre 5: Conclusions et perspectives



Parmi les outils disponibles pour évaluer les bâtiments, les outils de certification durable des bâtiments ont certainement un rôle positif à jouer. La comparaison avec certains autres outils a montré qu'un de leurs gros points forts est la multiplicité des thématiques qu'ils abordent. Ainsi, ces outils ne restent pas focalisés sur une ou un nombre restreint de préoccupations, comme la PEB. Un autre avantage est qu'ils n'exigent pas un background technique trop approfondi, comme les outils LCA. Au contraire, les évaluateurs doivent plutôt être vus comme des généralistes disposant d'une vue d'ensemble du projet. A cet égard, l'opportunité que ces évaluateurs deviennent, demain, les coordinateurs du projet est réelle. Seuls les architectes et les évaluateurs me semblent pouvoir accompagner le projet de la conception à la livraison. Toutefois, ces derniers disposent, peut-être de plus de moyens de pression sur les différents intervenants que l'architecte. En effet, un risque de catastrophe environnementale est plus intimidant qu'un vœu esthétique ou fonctionnel non-réalisé. C'est, d'ailleurs ce que vise HQE en faisant du maître d'ouvrage la clé de voûte du SMO. Il faut remarquer que les outils ne se contentent pas seulement d'évaluer la performance des bâtiments. Ils proposent, ou imposent, en plus un module visant l'optimisation des pratiques de conception et/ou de chantier. Ainsi, à côté de l'optimisation de la performance des bâtiments, l'optimisation des processus est aussi recherchée.

L'une des questions principales sur laquelle doivent se pencher les développeurs d'outils de certification durable est la profondeur d'évaluation à viser. Il est clair qu'une évaluation plutôt quantitative comme LEED nécessite plus de temps, plus de connaissances et requiert plus de documentation qu'une évaluation plus qualitative comme HQE. Cette différence d'approche constitue une richesse car elle permet à l'équipe de projet, en fonction des informations dont elle dispose, du temps qu'elle peut consacrer et de la précision qu'elle souhaite obtenir, de s'orienter vers une méthode plutôt qu'une autre. Dans tous les cas, il faut veiller à ce qu'un juste équilibre soit atteint. Les études quantitatives doivent garder à l'esprit que les réponses conceptuelles permettent, souvent d'atteindre un niveau de performance appréciable. La réflexion humaine vaut, en effet, toujours plus que la prescription machinale d'un procédé technique performant. A contrario, certains éléments doivent être quantifiés et le désir de repousser les limites est un moteur de l'évolution. Une réflexion sur la pertinence des pièces justificatives à fournir doit également être menée. S'il est légitime de devoir prouver les performances annoncées, il faut garantir l'utilité réelle de tous les moyens mis en œuvre. Il ne faut, en tous cas, surtout pas que des démarches administratives trop lourdes soient source d'erreurs ou de malentendus.

Le lobbying mercantile qui entoure les outils de certification durable est généralement mal perçu depuis l'extérieur. Toutefois, permettre de comparer, de manière transparente, des biens présents sur le marché semble plutôt positif pour l'acheteur potentiel. Celui-ci peut, ainsi, obtenir une connaissance plus approfondie du bien, comme PEB le propose déjà pour la performance énergétique. La certification durable est largement valorisée par les promoteurs immobiliers qui y voient une opportunité publicitaire à ne pas manquer. Si la raison qui les pousse à agir n'est pas fondamentalement la meilleure, l'important est qu'ils agissent et produisent des bâtiments plus respectueux des principes du développement durable. Par contre, la manière avec laquelle ils y parviendront compte. Il est, en effet, préférable de privilégier des solutions à long terme, réfléchies et orientées vers le bien être des utilisateurs plutôt que de viser un rapide retour sur investissement. Cette menace est le revers de la médaille qui laisse aux concepteurs la décision sur les critères d'évaluation et les moyens d'action.

Le développement d'outils de certification durable à l'échelle du quartier constitue une plus-value. Outre les opérations de (re)déploiement urbain, les principes du développement durable valent aussi pour ce qui relie les bâtiments entre eux. Des bâtiments isolés ayant un rayonnement suffisamment large sont, également, concernés par ces nouveaux outils. Leur évaluation est donc sensée, d'autant que la tendance ne se dirige pas vers la construction

de bâtiments isolés. Par contre, le développement des outils de certification durable des bâtiments doit se poursuivre. En effet, toutes les opérations immobilières ne sont pas réalisées à l'échelle du quartier. Pour celles-là, il est nécessaire de continuer à disposer d'outils de certification performants.

Faut-il aller plus loin dans l'adaptabilité au contexte local, comme SB-TOOL le suggère ? Il n'est pas facile de répondre à la question car deux éléments contradictoires l'alimentent. D'une part, l'évaluation sera d'autant plus précise et représentative qu'elle sera adaptée au contexte local. En effet, une même décision n'a pas le même impact ou la même pertinence d'un site d'implantation à l'autre. D'un autre côté, l'adaptation des référentiels est un travail conséquent. Il faut, donc, savoir jusqu'où le raffinement doit aller car, par définition, chaque bâtiment est une réponse prototypique au contexte. De plus, il ne paraît pas très pertinent de comparer deux bâtiments évalués avec des référentiels différents. Pour apporter une réponse à cette question des travaux spécifiques doivent être menés.

L'étude sur la Ghelamco Arena a montré que les référentiels actuels n'étaient pas suffisants pour évaluer directement un stade. En effet, par rapport à une salle multisports, le stade a des besoins spécifiques dont il est indispensable de tenir compte. Le travail a décrit quelques-uns des éléments les plus critiques en développant le cadre normatif dans lequel ils s'intègrent et les pratiques courantes proposées par les fabricants. Ces préoccupations prioritaires concernaient l'éclairage, la pelouse et l'intégration dans la communauté. Des éléments sur le type de stade à prévoir, son éventuelle multifonctionnalité et sa localisation ont, également, été décrits. Ces derniers sont, en effet, décisifs pour la conception adaptée d'un stade. D'autres éléments comme les installations temporaires, la gestion du bruit et des déchets ou les matériaux auraient, également, pu être abordés et méritent une étude approfondie.

Ce travail n'a pas créé un référentiel spécifique aux stades. Il a, par contre, permis d'aborder une série de questions sur l'intérêt à porter aux outils de certification durable des bâtiments. Il a permis d'en comprendre le principe, les enjeux et les menaces au travers de l'étude de plusieurs méthodes. Il a permis d'identifier la pertinence de l'évaluation directe d'un stade et les limitations actuelles. Enfin, il a décrit certains éléments propres aux stades sur lesquels d'éventuels travaux de développement d'un référentiel spécifique peuvent se baser.

A la lumière de tous ces éléments, il apparaît que les outils de certifications durable des bâtiments peuvent apporter un réel plus dans la réalisation de bâtiments plus respectueux du développement durable. Il convient toutefois de les utiliser avec critique, bon sens et sagesse et d'en poursuivre le développement.

## Table des illustrations

Figure 1: Consommation énergétique des différents secteurs en 2010 (EU, 2010).....	8
Figure 2: Evolution de l'empreinte écologique mondiale entre 1960 et 2007 et prévisions d'évolution de celle-ci entre 2007 et 2050 (Globalfootprintnetwork, 2014).....	9
Figure 3: Schéma descriptif de la méthodologie du travail .....	12
Figure 4: Comparaison des niveaux de certification PEB entre les trois Régions, en Belgique, en 2012 (Test Achat, 2012).....	17
Figure 5 : Localisation du stade (source photographique : <a href="http://www.bing.com/maps/">www.bing.com/maps/</a> ; mise en évidence : Sébastien Ghiezen) .....	38
Figure 6: Accessibilité aux parkings (MER, 2007) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen .....	39
Figure 7: Réseaux primaire et secondaire de pistes cyclables dans le voisinage (MER, 2007) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen .....	39
Figure 8 : Accessibilité par les transports en commun (MER, 2007) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen.....	39
Figure 9 : Coupe longitudinale du stade (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; Hachures : Sébastien Ghiezen .....	40
Figure 10 : Partitionnement interne et accès à la lumière naturelle des bureaux et skyboxes du niveau 4. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; Hachures : Sébastien Ghiezen .....	41
Figure 11: Distribution fonctionnelle du niveau 0 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014), mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen.....	42
Figure 12 : Distribution fonctionnelle du niveau 1 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen.....	42
Figure 13 : Distribution fonctionnelle du niveau 2 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen.....	42
Figure 14 : Répartition fonctionnelle du niveau 3 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014); mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen.....	43
Figure 15 : Répartition du niveau 4 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture : (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen. ....	43
Figure 16 : Répartition fonctionnelle du niveau 5 de la Ghelamco Arena. Plan d'architecture (Bontinck Architecture and Engineering CBVA, 2014) ; mise en évidence des fonctions : Sébastien Ghiezen.....	43
Figure 17 : Etat dans lequel sont livrés les espaces aux locataires .....	44
Figure 18 : Coupe structurelle (Vk Engineering, 2014).....	45
Figure 19 : Photo du 29 juin 2013, lors de la pose de la couverture en aluminium de la toiture ondulée, sur le chantier. Photographe : Pieter Vantieghem (source : <a href="http://www.ourfuturestartshere.be/pictures">http://www.ourfuturestartshere.be/pictures</a> , 2013) .....	46
Figure 20 : Fonctionnement d'une tour d'aéroréfrigération .....	47
Figure 21 : Eclairage nocturne de la façade lors de l'inauguration, le 17 juillet 2013, (source : <a href="http://www.ourfuturestartshere.be/pictures">http://www.ourfuturestartshere.be/pictures</a> , 2013) .....	48
Figure 22: Schéma de principe du fonctionnement du système HVAC de la Ghelamco Arena pour les unités de traitement d'air.....	51
Figure 23 : Photo du 17 juillet 2013 de l'éclairage de la pelouse du stade et de son arrosage automatique. Photographe : Yves Masscho, (source : <a href="http://www.ourfuturestartshere.be/pictures">http://www.ourfuturestartshere.be/pictures</a> , 2013) .....	52

Figure 24 : Matériaux utilisés pour la réalisation des aménagements extérieurs. Plan des aménagements extérieurs : (Vk Engineering, 2014) ; traduction de la légende : Sébastien Ghiezen .....	53
Figure 25: Exemple d'illustration des résultats obtenus selon chaque thématique, lors d'une évaluation avec SB-TOOL. (iisBE, 2012) .....	89
Figure 26: distance optimale et distance réelle entre les spectateurs et le terrain dans le cas d'un stade avec et sans piste d'athlétisme (FIFA, 2011) .....	102
Figure 27: Principe des systèmes TBTS (LFP, 2012) .....	107
Figure 28: Principe d'un système de chauffage de pelouse hydraulique .....	108
Figure 29: Illustration des tuyaux utilisés dans un système de chauffage de pelouse hydraulique .....	108
Figure 30: Eclairage photosynthétique de la pelouse du stade du Chelsea FC. (SGL Systems, 2014) .....	109
Figure 31: Toiture translucide de la Rhein-Neckar-Arena, réalisée avec des panneaux de polycarbonate (Bayer, 2009) .....	110
Figure 32: Maillage du terrain (Interview de Monsieur Van Goethem) .....	112
Figure 33: Position classique des caméras (FIFA, 2011) .....	113
Figure 34: Positions à prendre en compte lors de l'évaluation du GR (Interview de Monsieur van Goethem) .....	113
Figure 35: Stratégies de lutte contre l'éblouissement des joueurs (FIFA, 2011) .....	114
Figure 36: Stratégie de lutte contre l'éblouissement des attaquants (FIFA, 2011) .....	114
Figure 37: Exemple d'éclairage de la pelouse d'un stade de catégorie V. Illustration du principe de multizone. (FIFA, 2011) .....	115
Figure 38: Niveaux maximum recommandés d'éclairage supplémentaire généré par le stade dans son voisinage (FIFA, 2011) .....	117
Figure 39: Propagation des ondes sonores, le stade .....	120
Figure 40: Propagation des ondes sonores .....	120
Figure 41: Vue de l'intégration dans le site du projet de nouveau stade communal à Sienna ( <a href="http://www.lotti-pavarani.com">http://www.lotti-pavarani.com</a> ) .....	121

## Table des tableaux

Tableau 1: Répartition des points selon les différentes thématiques de LEED (Lee, 2013).....	23
Tableau 2: Grade obtenu en fonction du score global de l'évaluation selon LEED (Lee, 2013) .....	23
Tableau 3: Répartition des crédits entre les thématiques de BREEAM (Lee, 2013) .....	25
Tableau 4: Grade obtenu en fonction du score global de l'évaluation selon BREEAM (Lee, 2013) .....	26
Tableau 5: Grade obtenu en fonction du score global selon CASBEE (LEE, 2013) .....	27
Tableau 6: Caractéristiques historiques principales des outils présentés .....	28
Tableau 7 : Cadre d'évaluation des outils présentés .....	29
Tableau 8: Mode de fonctionnement des outils présentés .....	29
Tableau 9 : Flexibilité Internationale des outils présentés .....	29
Tableau 10 : Types de bâtiments évalués par les outils présentés.....	30
Tableau 11: Répartition des points entre les thématiques de LEED (U.S. Green Building Council, 2009) .....	55
Tableau 12 : Les 14 cibles composant la QEB (Certivéa, 2010) .....	66
Tableau 13 : Sous-cibles composant la cible 1 (Certivéa, 2010) .....	66
Tableau 14 : Sous-cibles composant la cible 2 (Certivéa, 2010) .....	67
Tableau 15 : Sous-cibles composant la cible 3 (Certivéa, 2010) .....	69
Tableau 16 : Sous-cibles composant la cible 4 (Certivéa, 2010) .....	69
Tableau 17 : Sous-cibles composant la cible 5 (Certivéa, 2010) .....	71
Tableau 18 : Sous-cibles composant la cible 6 (Certivéa, 2010) .....	72
Tableau 19 : Sous-cibles composant la cible 7 (Certivéa, 2010) .....	73
Tableau 20 : Sous-cibles composant la cible 8 (Certivéa, 2010) .....	74
Tableau 21 : Sous-cibles composant la cible 9 (Certivéa, 2010) .....	74
Tableau 22 : Sous-cibles composant la cible 10 (Certivéa, 2010) .....	75
Tableau 23 : Sous-cibles composant la cible 11 (Certivéa, 2010) .....	76
Tableau 24 : sous-cibles composant la cible 12 (Certivéa, 2010).....	77
Tableau 25 : Sous-cibles composant la cible 13 (Certivéa, 2010) .....	77
Tableau 26 : Sous-cibles composant la cible 14 (Certivéa, 2010) .....	78
Tableau 27 : Profil QEB de l'évaluation de la Ghelamco Arena .....	79
Tableau 28 : Destinations évaluées par les référentiels BREEAM (BRE Global Ltd., 2013) .....	82
Tableau 29 : Thématiques évaluées par BREEAM (BRE Global Ltd., 2013) .....	83
Tableau 30 : Score à atteindre pour obtenir chaque grade et correspondance entre les grades attribués par BREEAM et la part du marché immobilier qu'ils représentent. (BRE Global Ltd., 2013) .....	83
Tableau 31 : Standards minimaux à valider pour chaque grade de la certification BREEAM. (BRE Global Ltd., 2013).....	84
Tableau 32 : Conditions générales d'évaluation .....	93
Tableau 33 : Cadre d'évaluation de selon chaque outil .....	94
Tableau 34 : Eléments supplémentaires.....	94
Tableau 35 : Principaux critères requis communs aux 4 catégories de stades.....	98
Tableau 36 : Critères relatifs aux espaces à destination des joueurs, officiels et spectateurs selon chaque catégorie .....	99
Tableau 37 : Critères pour les zones réservées aux médias selon chaque catégorie .....	100
Tableau 38 : Catégories de stades requis pour l'organisation de certains types de matches .....	100
Tableau 39 : Critères supplémentaires pour les stades 4 et 5 étoiles, par rapport à ceux de la catégorie 4 .....	101
Tableau 40: Capacité des 3 plus grands stades de Belgique (Standard,2014), (Prosportevent, 2014), (Clubbrugge, 2014) .....	103
Tableau 41: Qualification du type d'implantation selon certains critères de mobilité (UEFA, 2011) .....	105

Tableau 42: Paramètres intervenants dans le dimensionnement du dispositif de luminothérapie (Interview de Monsieur Van 't Klooster, 2014) .....	109
Tableau 43: Classes d'utilisation des stades en fonctions exigences sur l'éclairage (FIFA, 2011) .....	111
Tableau 44: Exigences de la norme NBN EN 19 193 pour l'éclairage horizontal.....	115
Tableau 45: Exigences de la norme NBN EN 12 193 pour l'éclairage vertical.....	116
Tableau 46: Exigences pour l'éclairage des pelouses soumises à des retransmissions télévisées. (FIFA, 2011) .....	116
Tableau 47: Exigences pour l'éclairage des pelouses pour lesquelles la retransmission télévisée n'est pas prévue. (FIFA, 2011) .....	116

## Interviews

Madame Ruth Pollet, architecte chez Bontinck Architecture and Engineering CBVA, en janvier 2014 et par mail de novembre 2013 à mai 2014

Monsieur Nils Larsson, directeur exécutif de iisBE, par mail, en décembre 2013 et avril 2014

Madame Joke Claeys, ingénieur architecte chez Bontinck Architecture and Engineering CBVA, en janvier 2014

Monsieur Gianandrea Ciaramella, Professeur au Politecnico di Milano, en janvier 2014.

Monsieur Shady Attia, Professeur à l'Université de Liège, en janvier et avril 2014

Monsieur Wilfried Gees, directeur de Veamo, en mars 2014

Monsieur Yannis Pannier, Project Manager chez Veamo, de mars à mai 2014

Monsieur Pieter Van Uyttenhove, ingénieur architecte chez Energy Projects , par téléphone en avril 2014

Madame Ilse Blondeel, ingénieur de projet chez VK Engineering, par téléphone et par mail en avril et mai 2014

Monsieur Maarten Mattijs, ingénieur de projet chez Ergon nv, par mail en avril 2014

Monsieur Dirk Piens, responsable infrastructure du KAA Gent, par mail, de avril à juin 2014

Monsieur Bjorn Van Goethem, Key account manager chez Philips, de avril à juin 2014

Monsieur Ronny van Reeth, ingénieur au studiebureau van Reeth , par telephone et par mail en avril 2014

Madame Katia Hansen, Account Manager chez AGC Glass, par mail en avril 2014

Monsieur Andy Schouppe, conseiller de projet chez Geberit, par mail en avril 2014

Monsieur Vincent Bellin, ingénieur chez Enersol, par mail, en avril et mai 2014

Monsieur Luc Moonen, directeur technique chez ASK Romein, par mail en avril 2014

Monsieur David Plunus, Project Manager chez écoRce, en avril et mai 2014

Monsieur Damien Denayer, conseiller technique chez de Ceuster Sport, par téléphone et par mail en mai et juin 2014.

Monsieur Antonio Fereira, employé chez Albertoelec Sarl, par téléphone et par mail en mai et juin 2014

Monsieur Gérard van't Klooster, ingénieur agronome chez SGL, par mail en juin 2014

Madame Alexia da Silva, responsable durabilité & recyclage, PMR et Régie des Ardentes festival, par mail, en juin 2014

## Bibliographie

- Alyami, S. et Rezguy, Y. 2012.** Sustainable building assessment tool development approach. *Sustainable Cities and Society*. 2012, Vol. 5, pp. 52-62.
- Association HQE, 2014.** <http://assohqe.org>, consulté en février 2014.
- Attia, S. 2012.** Computational optimization Zero EnergyBuilding design: Interviews with 28 international experts. *International Energy Agency (IEA) : UCL louvain La Neuve*, 2012. Task 40: Towards Net Zero Energy Buildings Subtask B.
- Bambrook, S.M., Sproul, A.B. et Jacob, D. 2011.** Design optimisation for a low energy home in Sidney. *Energy and Buildings*. 2011, Vol. 43, 7, pp. 1702-1711.
- Bayer. 2009.** The Rhein-Neckar-Arena, A white cloud in the blue sky over Sinsheim. *Makrolon*. 4 2009. pp. 1-2.
- Bontinck Architecture and Engineering CBVA. 2013.** Cahier des charges pour les bureaux. Gand , 2013.
- **2014.** Coupe longitudinale de la Ghelamco Arena. Gand, 2014.
- **2014.** Plan d'architecture du niveau 0 de la Ghelamco Arena. Gand , 2014.
- **2014.** Plan d'architecture du niveau 1 de la Ghelamco Arena. Gand , 2014.
- **2014.** Plan d'architecture du niveau 2 de la Ghelamco Arena. Gand , 2014.
- **2014.** Plan d'architecture du niveau 3 de la Ghelamco Arena. Gand., 2014.
- **2014.** Plan d'architecture du niveau 4 de la Ghelamco Arena. Gand, 2014.
- **2014.** Plan d'architecture du niveau 5 de la Ghelamco Arena. Gand, 2014.
- BRE Global Ltd. 2013.** *BREEAM New Construction International 2013 - Technical Manual*. Watford : BRE Global Ltd., 2013.
- Bureau de la Normalisation. 2008.** Eclairagisme - Eclairage des installations sportives. *EN 12 193: 2007 F*. Bruxelles, 2008. ICS 91.160.01.
- Cadic, Mathieu. 2010.** La qualité environnementale des stades - Enjeux du développement durable pour les grands équipements sportifs. *Mémoire QEB, ENSA, Lyon*. 2010. pp. 1-53.
- Campaign for Better Transport. 2013.** Door to turnstile: improving travel choices for football fans. 2013. pp. 1-19.
- CEN, Comité Européen de Normalisation, 2013.** <http://www.cen.eu>, consulté en décembre 2013.
- Certivéa. 2010.** *Guide pratique du référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments - NF Equipements sportifs - Salle multisports*. Paris : Certivéa, 2010.
- **2011.** *Référentiel du système de management de l'opération - NF Bâtiments tertiaires et équipements sportifs*. Paris : Certivéa, 2011.
- **2010.** *Référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments - NF Equipements sportifs - Salle multisports*. Paris : Certivéa, 2010.
- Certivéa, 2014.** <http://www.certivea.fr>, consulté en février 2014.
- Cerway, 2014.** <http://behqe.com> , consulté en février 2014.
- CIO, Comité International Olympique. 2012.** *Sustainability through sport-implementing the olympic movement 's agenda 21*. Lausanne, 2012. pp. 1-103.
- Clubbrugge, 2014.** <http://clubbrugge.be>, consulté en février 2014.
- Comité International Olympique. 2014.** L'environnement et le développement durable. *Feuille d'information*. janvier 2014. pp. 1-8.
- Commission Européenne, 2014.** Europe 2020 - Les objectifs d'Europe 2020. <http://www.ec.europa.eu>, consulté en mars 2014.
- Commission Organisation Euro 2016. 2008.** *Rapport Grands Stades*. 2008. pp. 1-73.
- De Barquin, Fabrice.** Lettre d'introduction à la conférence de SIMBA du 06/11/2003.
- De Ceuster. 2010.** Adaptation infrastructurelle du stade au Kehrweg pour la 1ere division, réalisation d'un système de chauffage, de drainage et d'arrosage ainsi que le réaménagement du terrain de football. *Cahier spécial des charges*. 2010. pp. 1-58. 18/OG/MP/CK/lh-hon/0022010.
- **2014.** Chauffage de terrain. 2014. pp. 1-18.

- Devis. 2011.** Schémas de principe "as built" de du système HVAC de la Ghelamco Arena. Geel, 2011.
- Embrechts, J.-J. 2013.** Notes du cours ELEN0077-3 "Introduction à l'éclairage et à l'acoustique". ULG. 2013.
- Energy Projects. 2013.** Rapport PEB de la Ghelamco Arena. Lokeren, 2013.
- Equer, 2013.** Izuba Energie. <http://www.izuba.fr>, consulté en décembre 2013.
- EU, Journal officiel de l'Union Européenne. 2010.** Directive 2010/31/UE du parlement et du conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte). 2010. <http://eur-lex.europa.eu>, consulté en mars 2014.
- Euro2008.** Recommandation de la coordination Autriche-Suisse avec le concours d'Euro 2008 SA et des huit sites d'accueil, à savoir Bâle, Berne, Genève, Innsbruck, Klagenfurt, Salzbourg, Vienne et Zurich. *Concept de développement durable Autriche-Suisse pour l'UEFA Euro 2008*. pp. 1-12.
- Fekry, A.A. D., El Zafarany, M. A. et Shamseldin, K. M. A. 2013.** Develop a flexible method to asses building hosting major sports events environmentally through the world. *HBRC Journal*. ELSEVIER, 2013, pp. 1-11.
- Ferreira, J., Pinheiro, M.-D. et De Brito, J. 2013.** Portuguese sustainable construction assessment tools benchmarked with BREEAM and LEED: An energy analysis. 2013. pp. 1-49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.039>.
- Fesanghary, M., Asadi, S. et Geem, Z.W. 2012.** Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi objectives optimization algorithm. *Building and Environment*. 2012, Vol. 49, pp. 245-250.
- FIFA. 2013.** Règlement Coupe du Monde de la FIFA, Brésil 2014. 10 2013. pp. 1-64. 10.13 RM 1700 MFA/cun/rsi.
- . 2011.** Stades de football: Recommandationset exigences techniques. 2011. 5e édition, pp. 1-225.
- Football+Foundation:Manuel. 2014.** 2014. <http://www.belgianfootball.be/fr/manual>, consulté en mars 2014.
- Fowler, K.M et Rauch, E.M. 2006.** *Sustainable Building Rating systems Summary*. Pacific Northwest National Laboratory, US Dpt of Energy. 2006. pp. 1-55.
- Franssen, J.M. 2013.** Notes du Cours GCIV0165-1 de "Constructions en bois". ULG. 2013.
- Frère, A., Andrianne, T. et Parmentier, B. 2013.** Simulations, Normes, Soufflerie en ingénierie du vent: quel outil pour quelle application. *SIMBA, Simulation Multi-physique du Bâtiment*. 2013.
- Globalfootprintnetwork, 2014.** <http://www.footprintnetwork.org>, consulté en mars 2014.
- GreenGoal. 2006.** *Legacy Report*. 2006. pp. 1-120.
- Hauglustaine, J.-M. 2012.** Cours de Techniques de Construction des Bâtiments 3. Liège : Université de Liège, 2012.
- Healthy stadia, 2014.** <http://www.healthystadia.eu>, consulté en janvier 2014.
- IEA, Information paper. 2008.** *Energy efficiency requirements in buildings codes, energy efficiency policies for new buildings*. Paris : OECD/IEA, 2008.
- iiSBE. 2012.** SBTool 2012 B Generic Site Assessment File, for Maximum-size Scope. Ottawa, 2012.
- . 2012.** *User Guide to the SBTool assessment framework*. Ottawa : iiSBE, 2012.
- KAA Gent. 2014.** Description du travail de la Community au sein du stade. 2014. <http://www.kaagent.be/buffalo/nieuw/10-02-2014/communityworking-in-de-ghelamco-arena>, consulté en mars 2014.
- Khasreen, M.M., Banfill, P.F.G. et Menzies, G.F. 2009.** Life-cycle assessment and the Environmental Impact on buildings: A review. *Sustainability*. 2009, Vol. 1, pp. 674-701.
- Kiuri, M. et Teller, J. 2012.** Olympic ,stadiums in their urban environment: a question of design and cultural significance. Emerald. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*. 2012, Vol. 2, pp. 115-129.
- Krigsvoll, G., Fumo, M. et Morbiducci, R. 2010.** National and international standardiation (International Organization for standardization and European Committee for Standardization) Relevant for Sustainability Construction. *Sustainability*. 2010, Vol. 2, pp. 3777-3791.

- Larsson, N. et Macias, M. 2012.** Overview on the SB-Tool assessment framework. *IISBE*. UPM Spain, 4 2012, pp. 1-13.
- Lee, W.L. 2013.** A comprehensive review of metrics of building environmental assessment schemes. *Energy and Buildings*. Elsevier, 2013, Vol. 62, pp. 403-413.
- LFP. 2012.** L'efficacité des dispositifs de protection climatique des pelouses au cours de l'hiver 2011/2012. Information sur l'évolution des dispositifs de protection thermique. Ligue de football professionnel. *Commission des stades et équipements*. 8 2012. pp. 1-17.
- MER. 2007.** Arteveldestadion Gent en aangrenzende infrastructuur. 05 2007. pp. 1-267.
- Nguyen, A.T., Reiter, S. et Rigo, P. 2014.** A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*. 2014, Vol. 113, pp. 1043-1058.
- Nixdorf, S. 2008.** *Stadium Atlas, Technical Recommendations for Grandstands in Modern Stadiums*. Berlin : Ernst & Sohn, 2008. pp. 1-368. ISBN 978-3-433-01851-4.
- ONU, Organisation des Nations Unies, 2014.** <http://www.un.org>, consulté en mars 2014.
- Oostra, M., et al. 2011.** Criticism on environmental assessment tools. *2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology*. Singapore : LACSIT Press, 2011. Vol. 6, pp. 1-4. IPCBEE.
- Passive House Institute, 2014.** <http://www.passiv.de>, consulté en janvier 2014.
- Paterson, N. 2014.** Development and use of BREEAM for Olympic Park venues. *DipArch*. Octobre 2014, pp. 1-10.
- Pavan, Alberto. 2013.** Cours de Project Management. Milan : Politecnico di Milano, 2013.
- Populous, 2004.** <http://populous.com>, consulté en mars 2014.
- Prosporevent, 2014.** <http://www.prosporevent.be>, consulté en février 2014.
- SGL Systems. 2014.** How did SGL get involved in the stadium industry. 2014. <http://sglconcept.com>, consulté en mai 2014.
- Sharifi A., Murayama A. 2013.** A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 2013, Vol. 38, pp. 73-87.
- SIMBA, 2014.** Simulation Multi-Physique du Bâtiment. <http://www.project-simba.eu>, consulté en janvier 2014.
- Site officiel du mouvement olympique, 2014.** <http://www.olympic.org>, consulté en mars 2014.
- SPW, Service Public de Wallonie.** La nouvelle réglementation wallonne, architecture et climat, EnergySuD, Pôle Energie. *Performance Énergétique des Bâtiments*. pp. 1-54.
- . 2012. Performance énergétique des bâtiments. *Guide bâtiments résidentiel*. 2012.
- SPW, Service Public de Wallonie, 2014.** Portail de l'énergie en Wallonie. <http://energie.wallonie.be>, consulté en janvier 2014.
- Stadiumdb.com, 2014.** <http://stadiumdb.com>, consulté en février 2014.
- Standard, 2014.** <http://www.standard.be>, consulté en février 2014.
- Teller, J. et Marique, A.-F.** Référentiel "quartiers durables". *Lepur ULG*. pp. 1-60.
- Teller, J., et al. 2013.** Référentiels "quartier durable". *Lepur ULG*. 28 juin 2013.
- Terry, S.** Sport and urban tourism destinations: the evolving sport, tourism and leisure functions of the modern stadium. Vol. 15, pp. 205-220.
- Test Achat. 2012.** Enquete Certificat Energie. 03 2012. 562, pp. 1-7.
- Thermalu. 2014.** Thermalu mise hors gel et déneigement de pelouses. *Thermalu le chauffage électrique économique*. 2014. pp. 1-8.
- Tournesol-Zonnebloem asbl. 2007.** *L'empreinte écologique, dossier pédagogique*. Bruxelles : IBGE Bruxelles Environnement, 2007. D/5762/2007/18.
- U.S. Green Building Council. 2009.** *LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction, 2009 Edition*. Washington DC : U.S.G.B.C., 2009. ISBN#978-1-932444-14-8.
- UEFA.** Associations nationales Unité Stades & Sécurité Exigences pour la liste des stades. *We care about football*. pp. 1-5. E:\O\_STADIA-SECURITY\Stadium&security\Sadia matters\UEFA Stadia list\UEFA 4&5 stars list\stadialist requirements-f.doc.
- . 2008. Cahier des charges pour l'organisation de l'Euro 2016. *UEFA EURO 2016 - Exigences relatives au tournoi*. 2008. pp. 1-271.
- . 2011. Guide de l'UEFA pour des stades de qualité. 2011. pp. 1-160.

- , **2013**. Règlement de l'UEFA Europa League Cycle 2012-15 Saison 2013-14. *We care about football*. 03 2013. pp. 1-103.
- , **2010**. Règlement de l'UEFA sur l'infrastructure des stades. *We care about football*. 2010. Mar 10/UEFA/06046/1000F.
- , **2013**. Règlement UEFA Champions league Cycle 2012-15 Saison 2013/14. *We care about football*. 2013. pp. 1-106.
- URBSFA, 2014**. Règlement 2013-2014.: Union Royale Belge des Sociétés de Football Association, 2014. pp. 1-396.
- Vantieghem, Pieter, 2013**. <http://www.ourfuturestartshere.be/picture>. *KAA Gent - Stadion*. 29 juin 2013.
- Vk Engineering, 2014**. Coupe structurelle de la Ghelamco Arena. Merelbeke, 2014.
- , **2014**. Plan des aménagements extérieurs de la Ghelamco Arena. Merelbeke, 2014.
- VK Engineering, 2010**. Rapport de conception de l'installation électrique. Merelbeke, 2010.
- , **2013**. *Rapport de traitement des eaux sur site*. Merelbeke, 2013. VKC30971a.
- Vlad, R. 2010**. Sustainable development of a city by using a football club. Academy of Economic Studies Bucharest. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*. 8 2010, Vol. 7, pp. 61-68.
- Wang, W., Zmeureanu, R. et Rivard, H. 2005**. Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Building and Environment*. 2005, Vol. 40, 11, pp. 1512-1525.
- WCED, 1987**. Our common future. <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#1>, consulté en mars 2014.
- Zaizen M., Urakawa T., Matsumoto Y., Takai H. 1999**. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water*. Elsevier, 1999, Vol. 1, pp. 355-359.

# Outils de certification durable des bâtiments : le cas des stades à partir de l'étude sur la Ghelamco Arena

Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en Ingénieur Civil Architecte par Sébastien Ghiezen ..... Année académique 2013 - 2014

Les stades représentent un enjeu contemporain de premier ordre comme en témoigne le nombre de projets de construction ou de rénovation en cours. Source de fierté, catalyseur du redéploiement urbain, défis technologiques ou sources de nuisances, les stades ne laissent personne indifférent. Ils sont, donc, les sujets idéaux pour appliquer et véhiculer les principes du développement durable. Dans cette ambition, les outils de certification durable des bâtiments peuvent les aider à apporter une réponse de haute qualité aux défis auxquels les stades sont soumis.

Les objectifs de ce travail seront, à la fois, d'étudier ces outils, comprendre leur intérêt, leur fonctionnement et comparer une partie d'entre eux de manière théorique et pratique. Il s'agira également de comprendre s'ils sont directement utilisables pour l'évaluation d'un stade ou s'ils ont besoin d'aménagements. Les identifier et proposer une base sur laquelle s'appuyer pour d'autres développements constitue aussi un objectif de ce travail.

Pour y parvenir, ce travail aborde dans un premier temps les aspects théoriques de ces outils, sur base de la littérature : leur développement au cours du temps, leurs complémentarités et différences par rapport à d'autres outils, comme PEB et la comparaison entre eux d'une partie des outils de certification durable disponible. A cet égard, la discussion est entamée sur l'échelle d'évaluation à privilégier : bâtiment ou quartier ?

Ensuite, le relevé de mesures déjà prises pour promouvoir le concept de développement durable dans les stades permet d'appréhender la situation actuelle. L'évaluation d'un stade, la Ghelamco Arena, selon deux outils de certification durable et l'étude pratique de deux autres outils visent l'identification de leurs forces et faiblesses. La pertinence de les utiliser directement pour évaluer un stade est également discutée à partir de ces évaluations. Les éléments spécifiques aux stades, devant être intégrés lors d'une évaluation, sont identifiés lors de cette phase. Enfin, une partie d'entre eux est décrite à partir des normes, recommandations et données des fabricants afin de constituer un support pour l'éventuelle élaboration d'un référentiel spécifique aux stades.

