

# Locaux de l'administration de la nature et de la forêt à Diekirch, Luxembourg

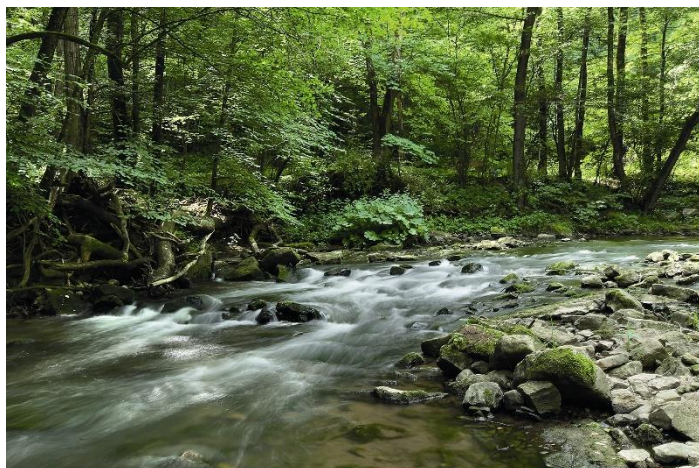
Tom Geelen  
morph4 architecture  
Canach, Luxembourg



## 1. Introduction

Le point de départ de ce projet écologique à énergie positive a été la décision du gouvernement luxembourgeois d'affecter le terrain de l'ancien Hôtel du Midi, en face de la gare de Diekirch, à la construction d'un bâtiment administratif des services de gestion de la nature.

En prenant en compte l'ensemble de son cycle de vie, ce bâtiment produit donc plus d'énergie qu'il n'en a besoin pour son fonctionnement, ce qui en fait un bâtiment modèle du ministère du développement durable et des infrastructures. Afin d'atteindre cet objectif ambitieux, il a fallu optimiser à la fois la forme et l'orientation du bâtiment et de son



enveloppe, tout en établissant le profil d'usage de cet équipement, permettant d'établir par anticipation son bilan énergétique. Ceci conduisant à développer dans un second temps le concept technique, tout en réfléchissant à des mesures compensatoires dans le domaine de la production d'électricité. Le bâtiment en lui-même répond aux règles de la société allemande pour la construction durable (DGNB), et ce au plus haut niveau de performance, le niveau Platine.

## 2. Le concept

### 2.1. Choix du site et défis

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, l'Hôtel du Midi de Diekirch était une adresse réputée pour les touristes luxembourgeois et étrangers. Durant les années 50, le bâtiment initial fit place à un hôtel moderne, acquis par l'Etat du Luxembourg en 2000. Il était en grande partie resté dans son état d'origine et une rénovation lourde était de mise. En 2009, la décision fut prise de faire de ce site une opération pionnière de décentralisation administrative, la première du pôle de développement Nordstad, et de l'attribuer à l'administration des espaces naturels. Dans un premier temps, l'idée a



L'Hôtel du Midi

été de soumettre le bâtiment à une opération de rénovation lourde et d'en faire un projet-pilote susceptible de poser de nouveaux jalons à l'échelle nationale en termes d'efficacité énergétique et d'approche durable. Les objectifs étaient ambitieux, d'autant qu'il convenait de prendre en compte les exigences du programme de l'utilisateur futur sans négliger la problématique de l'exposition du site aux inondations.

Une analyse détaillée du bâtiment existant, une étude de faisabilité et une étude comparée des coûts pesèrent le pour et le contre d'une démolition-reconstruction. Il en ressortit assez vite que l'option d'une rénovation lourde n'était pas probante, d'autant que le bâtiment existant cadrait mal avec la programmation. L'édifice peinait à répondre aux attentes et l'option de la rénovation lourde ne satisfaisait finalement ni le maître d'ouvrage, ni la maîtrise d'œuvre. L'option de la démolition-reconstruction fut confortée par une étude comparée des coûts, selon laquelle cette option s'avérait moins coûteuse qu'une rénovation, tout en permettant d'atteindre un niveau de qualité supérieur à presque tous les niveaux.

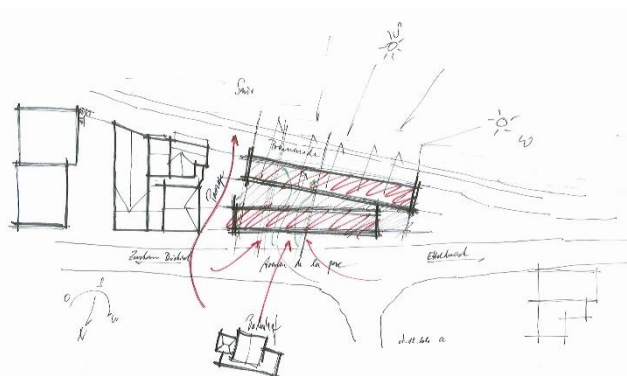
## 2.2. Approche en termes d'urbanisme

La parcelle était étriquée et compte tenu des prescriptions en matière d'urbanisme local, elle ne laissait pas une grande marge de manœuvre.

Placée entre la rivière Sauer et ses berges aménagées en promenade d'une part, et la route principale entièrement longée de bâtiment de l'autre, la parcelle se trouvait coincée entre deux axes convergents. S'ajoutait comme troisième axe la liaison piétonne entre la gare et la promenade. Comme cette parcelle se trouve à l'entrée de la ville, il était possible de marquer cette entrée au lieu de s'en tenir à un ouvrage prolongeant la construction en bande. Et ce d'autant plus que le bâtiment fait face à la gare et qu'un projet iconique permettrait de caractériser mieux cette zone de développement du quartier Nordstad.

## 2.3. Description architecturale

La conception a abouti à deux corps de bâtiment qui longent chacun l'un des deux axes, séparés par un espace central. L'administration des espaces naturels avait expressément demandé à ce que le bois joue un rôle clé dans ce projet. Restait cependant à définir la nature précise de ce rôle, tout en recherchant un mode constructif optimisé sur le plan énergétique, compatible avec l'expression architecturale. La résultante a été une construction mixte qui suit un concept d'une grande simplicité. D'un côté, deux corps de bâtiment de trois niveaux en bois pour les bureaux. Au centre, un



Croquis d'urbanisme prenant en compte les facteurs d'exposition

noyau en béton pour les services, les accès, les sanitaires et les gaines techniques. Le tout reposant sur un sous-sol en béton étanche regroupant les archives, les locaux de stockage et la technique. Cela présente l'avantage de combiner une enveloppe légère avec un noyau lourd régulateur en termes de température intérieure.

Par ailleurs, cette approche a permis de réduire à deux matériaux seulement les composants structurels du bâtiment, sachant que la façade en Douglas affirme la présence du bois et lui confère un aspect clair et serein.

L'aménagement intérieur limite également le choix des matériaux de façon à ce que les choix esthétiques reflètent les options techniques. Le sol clair, qui rafraîchit en été et chauffe en hiver, est composé d'une chape poncée qui forme de grandes surfaces interrompues seulement par les joints de fractionnement requis. Au plafond et en paroi, on trouve des panneaux 3-ply.

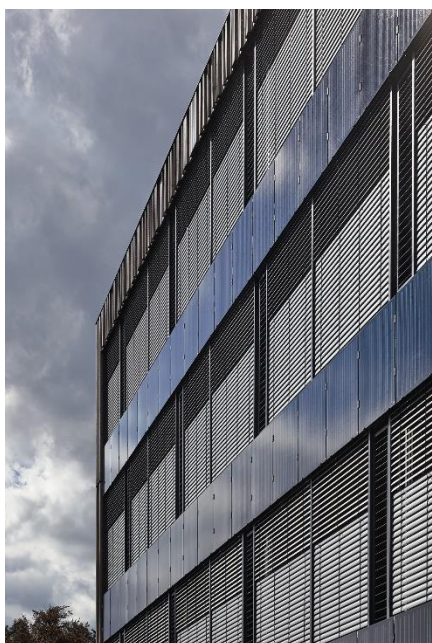
Les deux niveaux supérieurs sont dédiés aux bureaux. Côté nord, il s'agit d'espaces tertiaires plutôt fermés, éclairés par une façade en meurtrières qui longe l'un des deux axes. Les espaces ouverts se trouvent plutôt côté sud, avec une façade également dégagée qui s'ouvre sur la rivière Sauer. Réalisée en poteau-poutre et pourvue des protections solaires de rigueur, elle offre un éclairage optimal en premier jour, ce qui permet de réduire au possible le recours à l'éclairage artificiel.



Le bâtiment qui longe l'avenue de la gare

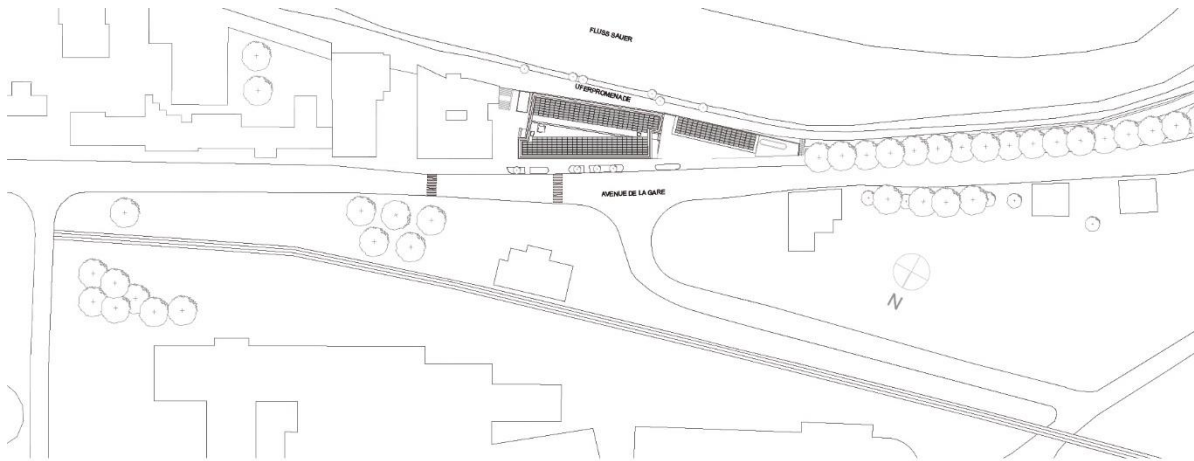


Lisibilité des matériaux et du principe constructif, à l'exemple des plateaux de bureaux; planchers et poteaux en bois, noyau béton à coffrage architectural et chape hydraulique lissée.



Panneaux photovoltaïques intégrés à la façade sud

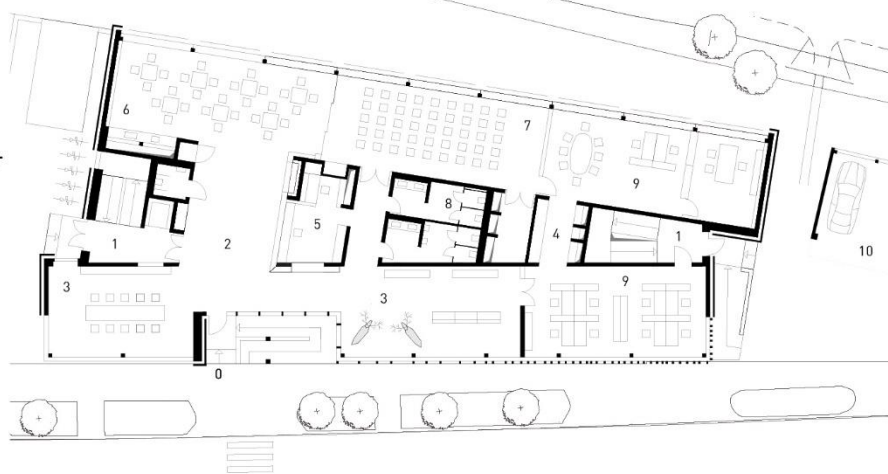




Plan de situation

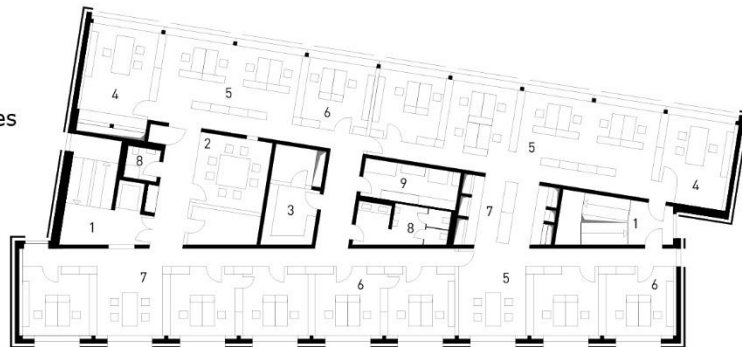
Plan du rez-de-chaussée

- 0 entrée principale
- 1 accès
- 2 hall d'accueil
- 3 espace d'information pour visiteurs
- 4 local d'impression
- 5 réception
- 6 cafétéria
- 7 Auditorium
- 8 sanitaires
- 9 bureaux fermés
- 10 carport



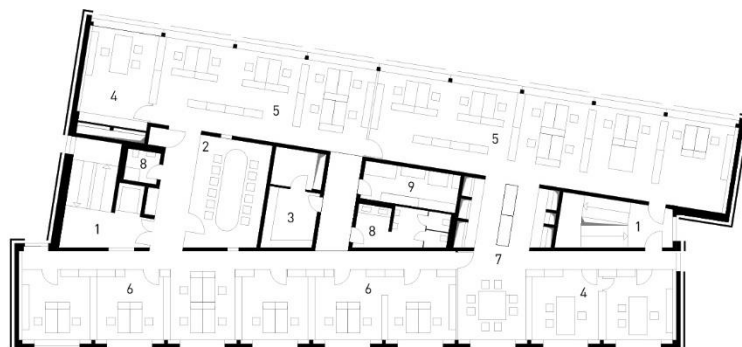
Plan du 1er étage

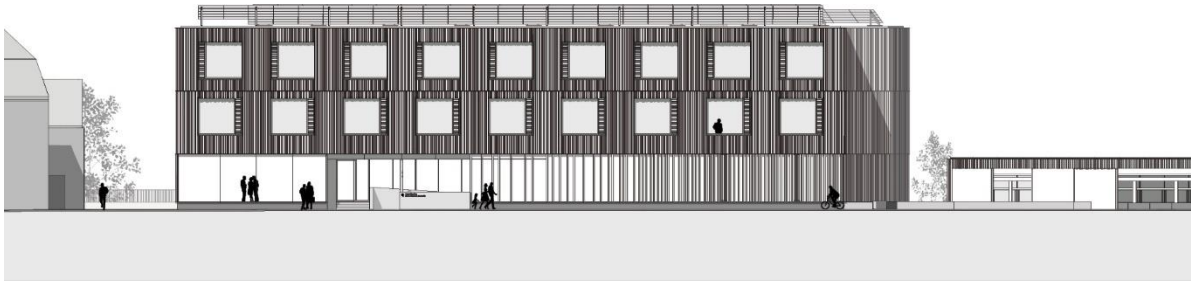
- 1 accès
- 2 petite salle de conférences
- 3 stockage et locaux techniques
- 4 bureau de direction
- 5 open Space
- 6 bureaux fermés
- 7 espaces de discussion temporaire
- 8 sanitaires
- 9 local d'impression



Plan du 2er étage

- 1 accès
- 2 grande salle de conférences
- 3 locaux techniques et de stockage
- 4 bureau de direction
- 5 open Space
- 6 bureaux fermés
- 7 espaces de discussion temporaire
- 8 sanitaires
- 9 local d'impression

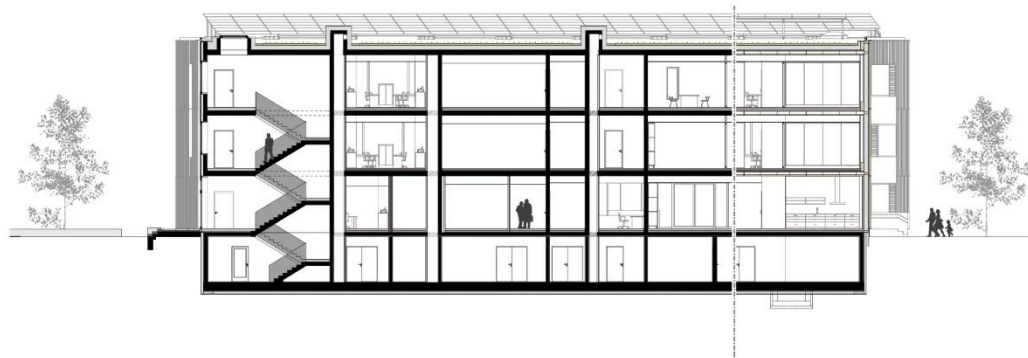




Vue entrée principale



Élévation côté promenade



Coupe longitudinale



Coupe transversale

### 3. Structure et aménagements extérieurs

L'objectif assigné était d'atteindre une performance à énergie positive dans un cadre économique acceptable et en répondant aux exigences élevées de la certification DGNB, avec une attention particulière portée sur la réduction de l'énergie grise.

Afin de déterminer une structure idoine, parallèlement à l'avant-projet développé par les architectes, une étude approfondie des variantes constructives a été engagée, comparant différents systèmes.

Systemvergleich Deckenvarianten (statisch erforderliche Konstruktion)

Variante Nummer	1	2	3	4
System	Stahlbetondecke	COBIAX-Flachdecke	Holz-Beton-Verbunddecke	Holz-Hohlkastendecke
Systemskizze (ohne Maßstab)				
Systembeschreibung	Stahlbetondecke in Ortbeton- oder Halbfertigteilbauweise	Stahlbetonflachdecke h=30 mit Verdrängungskörpern COBIAX CBCM-S-180	HBV-Decke als Plattendecke F90, Stb.-Platte 12 cm, Brettstapeldecke 26cm, HBV-Schubverbinder	Hohlkastendecke F90, z.B. Lignatur LFE Sondertyp mit Akustikdämmung, ohne Kammerbefüllung
Bauhöhe nur statisches Deckensystem	cm	35	30	38
Statisches System	<<	Flachdecke punktgelagert, teils durchlaufend	Flachdecke punktgelagert, teils durchlaufend	Einfeldträger Innengelagert
Resultierende Eigenlast Deckenkonstruktion	kg/m <sup>2</sup>	875	594	419
SUMME Graue Energie (Basis: KBOB):	MJ/m <sup>2</sup>	1.335	1.001	1.627
Differenz gegenüber Variante 1	%	0,0	-25,0	21,9
SUMME Primärenergie gesamt (Basis: KBOB):	MJ/m <sup>2</sup>	1.395	1.046	4.878
Differenz gegenüber Variante 1	%	0,0	-25,0	249,4
SUMME Treibhausgas-emissionen (Basis: KBOB):	kg/m <sup>2</sup>	136	97	123
Differenz gegenüber Variante 1	%	0,0	-28,7	-9,2
Brandschutz - Anforderung			F90-B	
Durchbiegungsnachweise - Gebrauchstauglichkeit		erfüllt (I/500)	erfüllt (I/500; Nachweis durch Hersteller)	erfüllt für I/450 (Nachweis durch Hersteller)
Schwingungsnachweise - Gebrauchstauglichkeit		nicht erforderlich, gilt als erfüllt	nicht erforderlich, gilt als erfüllt	erfüllt, vereinfachtes Verfahren
Schallschutz - Luftschall		nicht nachgewiesen, gilt als erfüllt	nicht nachgewiesen, gilt als erfüllt	erfüllt (Nachweis durch Hersteller)
Schallschutz - Trittschall		nicht nachgewiesen, gilt als erfüllt	nicht nachgewiesen, gilt als erfüllt	erfüllt (Nachweis durch Hersteller)
Geschätzte Baukosten nur Decke, gerundet (€/m <sup>2</sup> )		150,00	160,00	330,00
				280,00

Extrait du tableau comparatif relatif aux systèmes de planchers

Au total, 13 différents systèmes ont été analysés selon 9 différents critères : consommation d'énergie grise, consommation d'énergie primaire, émission de gaz à effet de serre, protection contre l'incendie, adaptation à l'usage (sensibilité en termes de déformation et de risque de mise en vibration), d'exigences acoustiques (isolation aux bruits aériens et aux bruits d'impact), sans oublier le ratio du coût de construction de cette structure par m<sup>2</sup> de plancher.

Le choix s'est porté sur des dalles en bois constituées de caissons. Ces derniers reposent sur un trame-squelette en bois et se démarquent le plus souvent de façon nette, sachant qu'en fonction des différents systèmes, les inconvénients plus ou moins importants qui apparaissent en fonction des critères d'appréciation techniques ne peuvent être compensés que par des surcoûts.

Il a été possible d'en déduire que le choix de la structure peut se faire indépendamment de la façade et que seule une combinaison de deux systèmes constructifs est en mesure de répondre de façon optimale à tous les critères évalués.

Si l'on prend en compte notamment le plan masse presque trapézoïdal, seule une combinaison d'un noyau en béton armé et de deux ailes clairement dessinées en bois pour les faces extérieures parvient à combiner suffisamment d'avantages.

Le processus de décision s'est penché également sur la façon dont se feraient les jonctions entre des interfaces caractéristiques, par exemple entre les planchers en bois et le noyau béton, ou les éléments porteurs en bois de la façade. S'ajoutait l'analyse des solutions réglementaires possibles en termes de chapes et revêtement des caissons, afin de répondre au mieux aux exigences écologiques, à la certification, aux exigences en termes de protection feu, de la simplicité d'installation des réseaux, de l'amortissement des vibrations et des bruits d'impact, ainsi que de l'inertie mobilisable.

Situé en bordure d'une rivière, le bâtiment a pris en compte le niveau maximal séculaire de débordement pour délimiter la hauteur du rez-de-chaussée. En dessous, on trouve sur toute la surface des espaces dédiés à des pièces annexes ou de stockage ainsi que des installations techniques. Compte tenu de la pression hydraulique exercée du côté de la route par le terrain, il était indiqué de réaliser ce soubassement entièrement en béton.

Le noyau est en béton avec une forte proportion de surfaces visibles architecturées. Ces parois permettent la descente de charges verticales et la reprise de tous les efforts de contreventement. Les corps de bâtiment des bureaux, en bois, sont réalisés en structure poteau-poutre orthogonale et pourvu sur une grande superficie de vitrages. La portée est de 6 mètres.

Afin de mieux exploiter le premier jour, le recours à des linteaux surbaissés en façade était proscrit. De sorte que les caissons ne reposent pas sur la trame-squelette, comme cela est courant en construction bois, mais sont suspendus aux poutres de rive dont la portée est de 4,80m, et qui ont été habillées comme allège de l'étage supérieur. Les assemblages entre poteaux et poutres recourent à un système innovant en queue d'aronde aluminium, qui bénéficie d'une autorisation de mise en chantier.

Dès l'élaboration du projet, la maîtrise d'œuvre a pris soin de veiller à ce que les interfaces entre le béton et le bois permettent des rattrapages selon les trois axes, et ce tout particulièrement en bordure de dalle. A cette fin, les planchers béton du noyau ont été pourvus de platines en acier, sur lesquelles les dalles en bois viennent reposer directement. La jonction est masquée par un panneau de protection feu et une planche en résineux. Un joint creux parachève la jonction entre le bois et le béton de la paroi verticale. Tout ceci a permis d'effectuer des réglages selon les trois axes, comme la mise en œuvre l'a effectivement nécessité.

Le contreventement de la structure bois s'effectue par le biais du noyau. Le raccord de transmission des efforts latéraux est constitué par un panneau trois plis positionné au-dessus de caissons et cloué. Le choix de cette solution a été déterminé essentiellement en fonction de critères écologiques. La reprise de lourdes charges par des tirants métalliques placés entre caissons aurait conduit à utiliser une quantité importante d'acier, au détriment du bilan écologique de l'ouvrage. Le recours à des panneaux OSB aurait été plus économique, mais butait sur la question des émissions de formaldéhydes, peu compatible avec les exigences de la certification.

La façade est constituée d'éléments préfabriqués et isolés, de grand format, raccordés avec la structure pour l'évacuation des sollicitations horizontales. Les charges verticales, elle, sont transmises directement vers le soubassement en béton. Ce choix permet de disposer d'une grande flexibilité architecturale. Côté sud, il est possible de ménager ainsi de grandes surfaces vitrées appuyées sur une structure poteau-poutre.

Moyennant des mesures compensatoires, il a été possible de ne pas répondre à toutes les exigences contractuelles en matière de protection incendie, requises pour un bâtiment de cette catégorie et taille. Cela a eu des répercussions positives tant sur le bilan de l'énergie grise que sur le plan économique. Les planchers sont calés sur une résistance au feu de 60 minutes. La structure en poteaux-poutre de même, avec de surcroît une performance de 30 minutes pour une paroi d'encapsulation. Les issues de secours et évacuation sont toutes dans le noyau béton et permettent d'atteindre directement l'extérieur.

## **4. Les installations techniques**

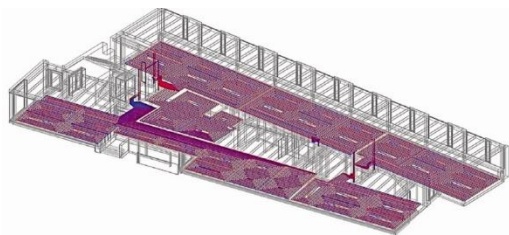
### **4.1. Pompe à chaleur eau-eau**

La production de chaleur pour le chauffage s'effectue par une pompe à chaleur eau-eau. Pour ce faire, l'eau est captée de la rivière et détournée pour en puiser l'énergie thermique. En règle générale, cette eau perd alors un différentiel de 3K. La sortie froide de la pompe se prête bien à un usage en refroidissement doux, car on en reste au niveau de température de la rivière. Ce mode de refroidissement doux signifie que le compresseur de la pompe n'est pas activé. Un échangeur dirige directement l'eau froide de la rivière vers le bâtiment que cette eau va refroidir.

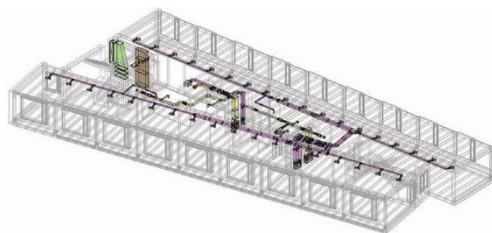
### **4.2. Réseau de transmission de la chaleur**

Les besoins de chauffage sont couverts par un chauffage par le sol couplé à cinq radiateurs. Compte tenu de l'orientation nord et sud, deux réseaux distincts ont été constitués, qui permettent d'agir de façon indépendante. La température d'une pièce est régulée par un thermostat qui commande le chauffage par le sol pièce par pièce. Une sonde compare la valeur réelle avec la valeur supposée.





Perspective du chauffage par le sol



Perspective du réseau de ventilation

### 4.3. Système de ventilation

La ventilation se fait par double flux. Une sonde de qualité de l'air mesure continuellement les besoins de renouvellement.

### 4.4. Recyclage de l'eau de pluie

L'eau de pluie recyclée alimente les chasses des toilettes.

### 4.5. Eclairage

L'éclairage est automatiquement associé à des détecteurs de présence EIB/KNX. Les sources lumineuses font appel à des LEDs de dernière génération, peu gourmands en énergie. Ce souci d'économie a été relayé par la prise en compte de l'éclairage en premier jour.

### 4.6. Installation photovoltaïque

Des panneaux photovoltaïques équipent le toit, la façade sud et les boxes des garages. L'énergie alimente directement le réseau et elle est comptabilisée comme telle.

Bâtiment	Emplacement	Capacité installée (kWc)	Rendement/an (kWh)
Bâtiment principal	Toit	82,68	75.610,86
Bâtiment principal	Façade sud	19,78	13.055,20
Box	Toit	26,00	23.452,26
Box	Façade sud	8,32	5.281,54
Total		136,78	117.399,86

Bilan du rendement : Ces valeurs ont été établies de façon forfaitaire à l'aide d'un logiciel dédié, et les données peuvent varier en fonction des intempéries.

## 5. Un exemple de construction durable optimisée

L'objectif était de répondre aux critères de certification du Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB). Il s'agissait donc de faire une place non seulement aux aspects écologiques, économiques et sociaux mais aussi aux aspects de qualité dans les choix techniques et les façons de procéder, afin d'atteindre le plus haut degré de certification, le niveau platine.

### 5.1. Ecobilan et concept énergétique du bâtiment

Les dispositions relatives aux bâtiments à énergie positive ne sont pas spécifiées pour l'instant, à la différence de celles des bâtiments basse énergie ou passifs. Le maître d'ouvrage a donc précisé que le bâtiment devrait produire plus d'énergie qu'il n'en a consommée en cumulant sa construction et sa consommation d'usage.

Cela impliquait de réduire de façon drastique des déperditions, tout en exploitant au mieux les gains de production d'énergie par les panneaux photovoltaïques.

### 5.2. Réduction des besoins énergétiques – exploitation

L'optimisation a porté sur :

La géométrie du bâtiment et l'éclairage en premier jour

Des valeurs U très réduites pour les parois opaques

## Une optimisation des ponts thermiques

Voici les consommations forfaitaires établies en fonction des règles ENEV dans le cadre de l'écobilan.

Besoins annuels en énergie finale ANF DIEKIRCH	Spécifique [kWh/(m <sup>2</sup> *a)]	Absolut [kWh/a]
Chauffage	9,8	21.182,5
Eau potable chaude	0,1	141,9
Eclairage	8,0	17.183,7
Ventilation	12,8	27.637,3
Refroidissement	0,0	0,0
Total	30,7	66.145,4

Besoins annuels en énergie finale

Besoins annuels en énergie primaire (PEges)	Spécifique [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)]	Absolut [kWh/a]
Extraction matière première Transport vers le fabricant Fabrication	46,4	130.120,8
Maintenance	6,1	17.141,7
Valeurs de compensation énergétique (par exemple au travers du recyclage de matériaux après démolition)	-8,3	-23.375,0
Energie requise à l'usage selon norme ENEV	60,6	169.858,3
Production photovoltaïque	-117,5	-329.587,5
Besoin d'énergie primaire	-12,7	-35.841,7

Besoins annuels en énergie primaire (PEges)

### 5.3. Optimisation des gains d'énergie par les panneaux photovoltaïques

Les modules photovoltaïques disposent d'une capacité de pointe de 136,78 kWp pour une production annuelle forfaitaire d'électricité de 117.399,86 kWh/a. En comparant ces valeurs avec les besoins d'énergie primaire, chiffrés à 66.145,4 kWh/a la production nette d'énergie sera de l'ordre de 50.000 kWh/a.

### 5.4. Ecobilan comme attestation de niveau E+

L'écobilan a permis de prouver que le bâtiment répond véritablement à la notion de bâtiment à énergie positive. En prenant en compte un cycle de vie de 50 ans, le bilan est négatif à -35.841,7 kWh/a. Ce qui veut dire que le bâtiment consomme 35.841,7 kWh/a de moins que ce que les installations photovoltaïques ont produit durant la même période. Ce résultat a eu un effet très positif sur la certification DGNB.

### 5.5. Recours à des matériaux durables

Autre aspect important de la certification DGNB : le recours à des matériaux durables. Ces derniers se caractérisent par le fait que leur fabrication tout comme leur mise en œuvre minimisent tout effet nocif sur l'environnement, qu'ils sont exempts ou presque de substances nocives et qu'ils permettent à l'utilisateur des locaux de travailler dans un environnement sain. Afin de s'en assurer, un bureau d'études spécialisé en écologie du bâtiment a été intégré à l'équipe. Il s'agissait pour lui, d'une part, de formuler les critères de durabilité à intégrer dans les pièces des appels d'offre, mais aussi de contrôler sur site les matériaux utilisés afin de s'assurer qu'ils correspondaient bien aux stipulations contractuelles. Enfin, la preuve qui a été apportée d'un haut niveau de qualité de l'air doit également beaucoup à une méthode de mesure d'une grande précision.

### 5.6. Matériaux sains et respectueux de l'environnement

Afin de garantir une qualité de l'air intérieur suffisante, et une bonne qualité environnementale de l'ouvrage, voici les principes qui ont été adoptés lors de la planification puis de l'exécution :

**Principe d'omission :**

Au stade de la conception, on a recherché des solutions techniques constructives qui peuvent être mises en œuvre sans recours à des produits nuisibles à l'environnement ou à l'homme. Ce respect des principes de la certification DGNB a conduit à :

- remplacer les panneaux OSB en utilisation intérieure par des panneaux trois plis faiblement émissifs.
- protéger les bois par recours à des essences domestiques résistantes plutôt que par l'utilisation de produits de protection.
- renoncer à utiliser des résines époxydiques en traitement de surface.
- exclure des composés à métaux lourds dans le cadre des traitements de surface d'éléments de construction métalliques ainsi que des laquages.
- interdire le recours à des colles de bois contenant des formaldéhydes.

**Principe de minimisation :**

Les émissions nocives provoquées par des matériaux et produits de construction ont été réduites au plus bas niveau possible, ce qui a conduit à réduire au minimum le recours à des colles et mousses. Systématiquement, les prescriptions ont privilégié des produits faiblement émissifs.

**5.7. Recours à du bois certifié**

Afin de juguler la destruction des forêts tropicales, subtropicales et boréales, la certification DGNB préconise que 80% au moins du volume de bois utilisé soit certifié.

Bois	Volume [m <sup>3</sup> ]	%
Bois, certifié FSC	10,3	1,8 %
Bois, certifié PEFC	486,2	85,0 %
Total bois certifié	496,5	86,8 %
Bois européen (en Suisse, 70% de PEFC est la règle)	68,6	12,0 %
Bois sans origine définie	7	1,2 %
Total	572,1	100%

Recours à des bois certifiés

**5.8. Qualité de l'air intérieur**

Dans le cadre de la certification DGNB, le recours à des produits nocifs a été exclu contractuellement dès la passation des marchés avec les entreprises. Les matériaux employés ont fait l'objet d'une autorisation individuelle. Tout cela, ainsi que les mesures finales de qualité de l'air dans trois pièces, a permis d'atteindre un très bon niveau de qualité de l'air intérieur, et la catégorie la plus élevée.

Conf. DGNB et comparable aux catégories de DIN EN 15251	TVOC [µg/m <sup>3</sup> ]	Formaldéhyde [µg/m <sup>3</sup> ]
Bâtiments non considérés comme à faibles émissions toxiques	≤ 3000	≤ 120
Bâtiments à faibles émissions toxiques	≤ 1000	≤ 60
Bâtiments à très faibles émissions toxiques	≤ 500	≤ 60

Qualité de l'air intérieur

Désignation des locaux en vue des mesures de l'air intérieur	TVOC [µg/m <sup>3</sup> ]	Formaldéhyde [µg/m <sup>3</sup> ]
Pièce 1	110	5
Pièce 2	250	23
Pièce 3	260	25

Désignation des locaux en vue des mesures de l'air intérieur

**5.9. Anticipation de la fin de vie et facilité de recyclage**

Le socle est en béton, ainsi que le noyau, et tout le reste de la structure en bois. Les éléments ont été assemblés sans collage, de façon mécanique, ce qui facilite le démontage en fin de vie. L'absence de produits de protection du bois contribue également à permettre un ré-usage ou recyclage.

## 5.10. Coût global du cycle de vie

Dans une perspective de planification globale, un soin a été apporté à la réduction des coûts d'usage en matière d'énergie, d'eau et de nettoyage, par exemple par recours au recyclage de l'eau de pluie ou l'aménagement efficace de zones concentrant la saleté. Cet objectif a été conforté par le recours à des matériaux durables et faciles à entretenir, comme la chape poncée des niveaux supérieurs.

## 5.11. Flexibilité et possibilité de changement d'usage

Il n'y a pas de cloisons intérieures porteuses et l'incorporation éventuelle de cloisons peut se faire en appui sur la façade, sans intervention sur le sol ou le plafond.

## 6. Les outils de simulation globale au service de l'efficacité énergétique et de la construction durable

En amont, le projet a fait l'objet d'une simulation visant à régler le confort thermique, dans les bureaux et à définir les paramètres d'exploitation des installations de chauffage, de refroidissement et de ventilation.

### 6.1. Simulation thermique

Les bâtiments ont fait l'objet d'une simulation thermique complète et 3D par le biais d'un logiciel dédié qui prend en compte la forme du bâtiment, les matériaux, les réseaux et l'usage des bureaux.

### 6.2. Analyse des ponts thermiques

Il était impératif de juguler les ponts thermiques et ces derniers ont fait l'objet d'analyses très en amont du projet.

### 6.3. Confort visuel en premier jour

L'optimisation de la lumière captée en premier jour a permis de réduire les besoins d'électricité pour l'éclairage, parfois jusqu'à 60%.

## 7. Acoustique

La certification DGNB imposait des prescriptions de niveau de performance acoustique qui ont pu être vérifiées par des mesures à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.

### 7.1. Acoustique du bâtiment

La performance acoustique du bâtiment se réfère à la norme DIN 4109, ainsi qu'à l'annexe 2 de la DIN 4109 qui concerne l'absorption acoustique. Il était nécessaire d'évaluer la sollicitation extérieure. La performance d'atténuation a été déterminée par la méthode de la source sonore en haut-parleur, l'instrument étant orienté à 45° vers la façade avec des capteurs externes positionnés sur la façade et des capteurs internes. Pour ce qui concerne le bruit d'impact, il y a eu une mesure du plancher brut, comparée avec une mesure de l'ouvrage achevé.

### 7.2. Correction acoustique

La prescription acoustique se base sur la norme DIN 18041. La qualité de l'ambiance acoustique est un facteur important si l'on veut garantir des bonnes conditions de travail. Des mesures ont été effectuées dans les pièces partagées jusqu'à une surface de 40 m<sup>2</sup> ainsi que dans la grande pièce du rez-de-chaussée. Afin d'obtenir la qualité acoustique requise, des baffles acoustiques rectangulaires ont été suspendus. S'ajoute la disposition de matériaux absorbant au fond des placards.