

Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

Travail de bachelor Diplôme 2018

Florian Smets

*Optimisation énergétique du centre scolaire de
Gravelone*

- *Professeur*
Gilbert Morand
- *Expert*
Ludovic Roussin
- *Date de la remise du rapport*
17.08.2018

Ce rapport est l'original remis par l'étudiant.

Il n'a pas été corrigé et peut donc contenir des inexactitudes ou des erreurs.

HES-SO Valais

| | | |
|------|-----|------|
| SYND | ETE | TEVI |
| X | X | X |

Données du travail de diplôme
Daten der Diplomarbeit

FO 1.2.02.07.CB
 haj/11/01/2016

| | | |
|---|--|--|
| Filière / Studiengang ETE | Année académique / Studienjahr 2017/18 | No TD / Nr. DA er/2018/86 |
| Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i> | Etudiant / Student Florian Smets Professeur / Dozent Gilbert Morand | Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i> |
| Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein | Expert / Experte (données complètes) Ludovic Roussin; ludovic.roussin@esr.ch; Rue de l'Industrie 43, 1951 Sion | |

Titre / Titel
Optimisation énergétique du Centre scolaire de Gravelone

Description / Beschreibung
 Le centre scolaire de Gravelone compte plusieurs bâtiments construits entre 1917 et 1976. Leurs affectations sont multiples (piscine, bureaux, salles de classes, réfectoire, salle de sport). La surface totale de plancher chauffé avoisine les 11'000 m2.
 Le propriétaire (la ville de Sion) soucieux de l'environnement souhaiterait supprimer les énergies fossiles (mazout) au profit d'énergies renouvelables, sans pour autant réduire le confort des occupants.
 L'objectif de ce projet est de proposer un assainissement énergétique de ce centre scolaire. Pour cela, il s'agira:
 – de faire l'état des lieux du centre scolaire en terme d'énergie (enveloppe du bâtiment, installations techniques, consommations énergétiques).
 – de proposer des mesures d'assainissement, en estimant les coûts d'investissement, pour en déterminer finalement le coût du kWh économisé.
 – d'évaluer le potentiel de production d'énergie renouvelable (photovoltaïque, solaire thermique, etc.); de simuler le potentiel avec les logiciels (PVsyst, bSol, Polysun).
 Les solutions proposées devront respecter les bases légales en vigueur (protection bâtiments, réglementation de zone à construire, protection incendie, etc.).
 Les consommations énergétiques passées sont analysées sur la base de relevés de facturation.
 Des acquisitions de données spécifiques peuvent être mises en place (profil de consommation de chaleur et d'électricité) pour déterminer les dynamiques des besoins en énergies.
 L'assainissement de grande envergure est d'ores et déjà budgétisé par le propriétaire pour 2019.

| | |
|--|--|
| Signature ou visa / Unterschrift oder Visum Responsable de l'orientation / filière <i>Leiter der Vertiefungsrichtung / Studiengang:</i>  ¹ Etudiant / Student :  | Délais / Termine Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: 16.05.2018 Présentation intermédiaire / Zwischenpräsentation 14 – 15.06.2018 Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: 17.08.2018, 12:00 Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten: 29, 30 – 31.08.2018 Défense orale / Mündliche Verfechtung: 04, 05 – 06.09.2018 |
|--|--|

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme. Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.

Rapport reçu le / Schlussbericht erhalten am Visa du secrétariat / Visum des Sekretariats



Optimisation énergétique du Centre scolaire de Gravelone

Diplômant/e Florian Smets

Objectif du projet

Le but de ce projet est d'évaluer la performance énergétique du complexe scolaire de Gravelone (Sion, VS), de déterminer les économies d'énergies réalisables sur l'enveloppe du bâtiment et sur les installations de production de chaleur et d'électricité afin de proposer un panel de stratégie de modernisation et d'aides à la décision pour le propriétaire.

Méthodes | Expériences | Résultats

Tout d'abord, un audit énergétique ainsi qu'une évaluation sur l'enveloppe architectural du centre scolaire seront réalisés sur la base de diagnostics effectués préalablement. La rénovation et le développement du bâtiment devront prendre en considération différents critères économiques, sociaux et techniques.

Travail de diplôme
| édition 2018 |



Filière

*Energie et techniques
environnementales*

Domaine d'application

Energies renouvelables

Professeur responsable

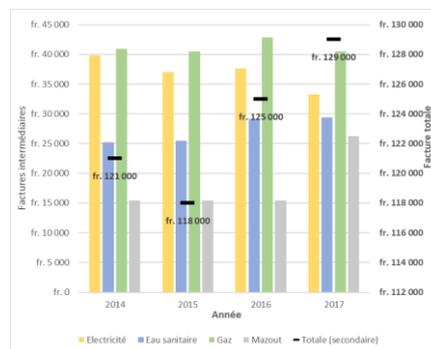
*Dr. Gilbert Morand
Gilbert.morand@hevs.ch*

Partenaire

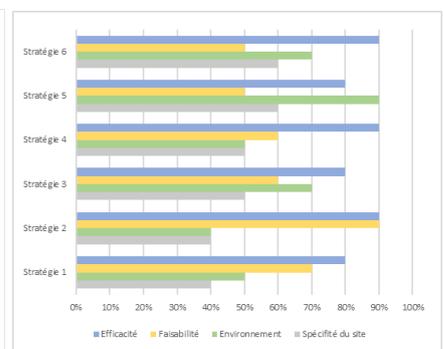
Ville de Sion

Dans la deuxième partie de ce travail, l'inventaire des installations et des consommateurs (éclairages, appareils électriques, installations sanitaires, système de production de chaud, froid et électricité) sera effectué. L'évaluation des consommations d'énergie devra conduire à l'identification des éléments obsolètes. Des substitutions éco-responsables peu pénalisante pour le propriétaire et les exploitants seront proposées.

Le dernier point doit permettre de détailler les compromis entre la préservation de l'identité du tissu urbain, l'assurance d'une efficacité énergétique durable et l'évaluation des bénéfices et pertes éventuelles à une telle rénovation. L'étude sera accompagnée d'une méthode d'aide à la décision pour l'entrepreneur afin de faciliter des démarches similaires sur d'autres sites.



Factures énergétiques du centre scolaire selon la source pour la période 2014 à 2017



Comparaison des six variantes de chauffage proposées selon différents critères (efficacité, faisabilité, environnement, et spécificité du site)

REMERCIEMENTS

Par la présente, je tiens à remercier personnellement toutes les personnes qui m'ont soutenu pendant la durée de ce travail de diplôme.

- En premier lieu, j'aimerais remercier chaleureusement M. Gilbert Morand pour sa perspicacité et ses remarques qui m'ont permis d'atteindre les objectifs que je me suis fixés.
- Merci à M. Sébastien Dervey et M. Pierre-André Seppey pour leur soutien et leurs conseils avisés.
- Un grand merci à M. Norbert Masseraz pour m'avoir accueilli lors des visites du Centre scolaire de Gravelone et apporté toutes les réponses dont j'avais besoin sur les éléments techniques du bâtiment.
- Merci à M. Pascal Bütikofer, M. Ludovic Roussin et M. Yvan Specchier pour leurs informations sur le centre scolaire lors de notre visite commune.
- A M. Grégoire Blanc, j'adresse mes sincères remerciements pour avoir répondu à mes questions concernant les appels d'offres Prokilowatt.
- A toutes les personnes qui ne sont pas mentionnées ci-haut et qui m'ont accordé leur précieux temps, merci.

Enfin, je voudrai remercier mes camarades et ma famille pour m'avoir apporté l'appui dont j'avais besoin.

TABLE DES MATIERES

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Contexte | 1 |
| 2 | Cahier des charges | 4 |
| 3 | Méthodologie et références..... | 6 |
| 3.1 | Méthodologie pour l'audit énergétique | 6 |
| 3.2 | Conception d'un protocole de maintenance..... | 7 |
| 3.3 | Pouvoir calorifique et dépenses énergétiques | 8 |
| 4 | Acteurs de la rénovation | 9 |
| 4.1 | Confédération Helvétique | 9 |
| 4.2 | Cantons..... | 9 |
| 4.3 | Secteur privé..... | 10 |
| 5 | Caractéristiques du site | 11 |
| 5.1 | Informations générales..... | 11 |
| 5.2 | Localisation | 11 |
| 5.3 | Orientation et formes des bâtiments | 12 |
| 5.4 | Données climatiques | 12 |
| 5.5 | Exploitation des lieux..... | 13 |
| 5.5.1 | Cadre scolaire | 13 |
| 5.5.2 | Services du site | 13 |
| 5.6 | Historique du bâtiment | 14 |
| 5.7 | Surfaces au sol | 15 |
| 5.8 | Etages | 16 |
| 5.9 | Installations techniques..... | 16 |
| 5.9.1 | Installations de chauffage | 16 |
| 5.9.2 | Production de l'eau chaude sanitaire | 18 |
| 5.9.3 | Pertes du système..... | 19 |
| 5.9.4 | Eclairage..... | 20 |
| 5.9.5 | Ventilations | 20 |
| 5.10 | Approvisionnement énergétique..... | 21 |
| 5.10.1 | Electricité | 21 |
| 5.10.2 | Eau | 21 |
| 5.10.3 | Gaz | 21 |
| 5.10.4 | Mazout..... | 21 |
| 5.11 | Répartition de la consommation | 22 |
| 5.12 | Frais d'approvisionnement | 23 |
| 5.13 | Etat des flux des bâtiments | 23 |
| 6 | Diagnostic énergétique EPIQR..... | 24 |
| 6.1 | Méthode de diagnostic..... | 24 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.2 | Généralités sur EPQIR..... | 24 |
| 6.3 | Synthèse des données | 26 |
| 6.3.1 | Mesures traitées | 26 |
| 6.3.2 | Priorité selon le bâtiment | 27 |
| 6.3.3 | Priorité selon le macroélément | 28 |
| 7 | Evaluation des pertes de chaleur sur bSol | 29 |
| 7.1 | Généralités | 29 |
| 7.2 | Méthodologie | 30 |
| 7.2.1 | Enveloppe et façades..... | 30 |
| 7.2.2 | Masses thermiques..... | 30 |
| 7.2.3 | Ponts thermiques..... | 30 |
| 7.2.4 | Données relatives à l'usage | 30 |
| 7.2.5 | Données relatives à la localisation..... | 30 |
| 7.3 | Résultats et discussions | 31 |
| 8 | Evaluation économique..... | 34 |
| 8.1 | Evaluation des coûts de réfection et de rénovation..... | 34 |
| 8.2 | Priorisation économique | 35 |
| 9 | Dimensionnement des installations de chauffage | 36 |
| 9.1 | Détermination sur la base des consommations | 36 |
| 9.2 | Détermination sur la base des pertes thermiques | 37 |
| 10 | Potentiel renouvelable..... | 38 |
| 10.1 | Solaire thermique | 38 |
| 10.2 | Sondes géothermiques verticales..... | 39 |
| 10.3 | Chaudière à biomasse..... | 40 |
| 10.4 | Solaire photovoltaïque | 40 |
| 11 | Potentiel non-renouvelable | 41 |
| 11.1 | Chaudière à gaz haute performance | 41 |
| 11.2 | Chaudière à mazout..... | 42 |
| 11.3 | Pompe à chaleur à gaz..... | 42 |
| 12 | Stratégies pour l'optimisation énergétique | 43 |
| 12.1 | Opérations standards | 43 |
| 12.2 | Propositions de variantes | 44 |
| 12.2.1 | Séparation des variantes..... | 44 |
| 12.2.2 | Dimensionnement des installations..... | 45 |
| 12.3 | Comparaison des stratégies | 46 |
| 13 | Installation solaire photovoltaïque | 47 |
| 13.1 | Généralités | 47 |
| 13.2 | Production escomptée | 47 |

| | | |
|--------|---|----|
| 13.3 | Résultats | 48 |
| 13.3.1 | Prédimensionnement | 48 |
| 13.3.2 | Résultats PV-SYST (variante 1) | 48 |
| 13.3.3 | Résultats PV-SYST (variante 2) | 49 |
| 13.3.4 | Comparaison des variantes..... | 49 |
| 13.4 | Analyse économique | 50 |
| 14 | Appels d'offres et investissement externes..... | 51 |
| 14.1 | Enveloppe thermique | 51 |
| 14.2 | Appareils et installations | 51 |
| 14.3 | Cité de l'énergie..... | 51 |
| 15 | Recommandations et perspectives..... | 52 |
| 15.1 | Recommandations..... | 52 |
| 15.2 | Perspectives et améliorations | 52 |
| 16 | Conclusion..... | 53 |
| 17 | Annexes..... | 54 |
| 17.0 | Table des annexes | 54 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Soldes (exportation - importation) d'électricité lors des semestres d'hiver | 1 |
| Figure 2 : Vision de l'OFEN, abrégée R.O.S.E.N pour la version allemande | 2 |
| Figure 3 : Taux de réalisation en 2014 - Ville de Sion | 3 |
| Figure 4 : Méthodologie de suivi pour la maintenance et la surveillance | 7 |
| Figure 5 : Code couleur des acteurs de la rénovation | 9 |
| Figure 6 : Cadre fédéral et ses relations dans les secteurs de l'énergie du bâtiment | 9 |
| Figure 7 : Cadre cantonal et ses relations dans les secteurs de l'énergie du bâtiment | 10 |
| Figure 8 : Cadre privé et ses relations dans les secteurs de l'énergie du bâtiment | 10 |
| Figure 9 : Différenciation des surfaces selon trois critères : isolation, SRE et pièces chauffées | 15 |
| Figure 10 : Exemple de segmentation des éléments - étude EPIQR | 24 |
| Figure 11 : Bilan des pertes et gains thermiques | 29 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Données diverses des agents énergétiques | 8 |
| Tableau 2 : Orientation des façades | 12 |
| Tableau 3 : Statistiques climatiques pour la ville de Sion (année 2017) | 12 |
| Tableau 4 : nombre d'individus par catégorie | 13 |
| Tableau 5 : Historique du centre scolaire | 14 |
| Tableau 6 : SP et SRE pour le complexe Gravelone | 15 |
| Tableau 7 : Evaluation d'installations existantes (Liste non-exhaustive) | 19 |
| Tableau 8 : Estimation des rendements d'installations | 19 |
| Tableau 9 : Estimation de la part ECS | 22 |
| Tableau 10 : Codes pour la méthode EPIQR | 25 |
| Tableau 11 : Estimation des Charges internes | 30 |
| Tableau 12 : Facteurs de pondération sur les charges internes | 30 |
| Tableau 13 : Ordre de priorité des éléments perfectibles | 32 |
| Tableau 14 : Estimations des coûts à l'aide de ECC-Bât | 34 |
| Tableau 15 : Données de calculs de dimensionnement des installations | 36 |
| Tableau 16 : Temps de pleines charges pour chaque bâtiment | 37 |
| Tableau 17 : Mesure du taux de charge des installations existantes | 37 |
| Tableau 18 : Diminution thermique - variantes 3 et 4 | 44 |
| Tableau 19 : Diminution thermique - variantes 5 et 6 | 44 |
| Tableau 20 : Résumé des surfaces de toits disponibles | 47 |
| Tableau 21 : Parts électriques pour la simulation 1 | 48 |
| Tableau 22 : Parts électrique pour la simulation 2 | 49 |

LISTE DES IMAGES

| | |
|--|----|
| Image 1 : Vue aérienne du Centre scolaire de Gravelone, Google Earth juin 2018 | 11 |
| Image 3 : Chaudière à gaz - bât. A, B et D | 16 |
| Image 4 : Chaudière à mazout - bâtiments C et D | 17 |
| Image 5 : Conduites d'eau chaude - bât. A, B et D | 17 |
| Image 6 : Radiateur type du bâtiment B (partie non-rénovée) | 18 |
| Image 7 : Sources d'éclairage sur le site* | 20 |
| Image 8 : Carte d'admissibilité des sondes géothermiques | 39 |

LISTE DES GRAPHIQUES

| | |
|--|----|
| <i>Graphique 1 : Répartition de la consommation en chaleur.....</i> | 22 |
| <i>Graphique 2 : Frais intermédiaires et totaux pour la période</i> | 23 |
| <i>Graphique 3 : Exemple de segmentation EPIQR.....</i> | 25 |
| <i>Graphique 4 : Niveaux de priorité pour l'ensemble des éléments de Gravelone</i> | 26 |
| <i>Graphique 5 : Classe de priorité (1 à 3 respectivement I à III) selon le bâtiment et le niveau de dégradation</i> | 27 |
| <i>Graphique 6 : Code de travaux en fonction des macroéléments et de la dégradation</i> | 28 |
| <i>Graphique 7 : Résultats de déperditions thermiques - bSol</i> | 31 |
| <i>Graphique 8 : Consommation et déperdition selon les blocs scolaires</i> | 32 |
| <i>Graphique 9 : Diminution de la consommation énergétique après 1,2 et 3 rénovations.....</i> | 33 |
| <i>Graphique 10 : Investissement énergétique selon l'élément et le bâtiment</i> | 35 |
| <i>Graphique 11 : Exemple de variation annuelle de la puissance de chauffe - Variante 1</i> | 45 |
| <i>Graphique 12 : Comparaison des stratégies selon différents critères</i> | 46 |
| <i>Graphique 13 : Indicateurs énergétiques - Comparaison des variantes.....</i> | 49 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS

| | |
|-------------|--|
| → SE2050 | STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 2050 |
| → OFEN | OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE |
| → PCI / PCS | POUVOIR CALORIFIQUE INFÉRIEUR ET SUPÉRIEURS |
| → DETEC | DÉPARTEMENT FÉDÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT, DES TRANSPORTS DE L'ÉNERGIE ET DE LA COMMUNICATION |
| → ENDK | CONFÉRENCE DES DIRECTEURS CANTONAUX DE L'ÉNERGIE |
| → CECB | CERTIFICAT CANTONAL DES BÂTIMENTS |
| → MoPEC | MODÈLE DE PRESCRIPTIONS ÉNERGÉTIQUES DES CANTONS |
| → SIA | SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEUR ET ARCHITECTES |
| → SP | SURFACE DE PLANCHER |
| → SRE | SURFACE DE RÉFÉRENCE ÉNERGÉTIQUE |
| → ECS | EAU CHAUDE SANITAIRE |
| → ESR | ÉNERGIE SION RÉGION |
| → HP / HC | HEURES PLEINES (HP) ET HEURES CREUSES (HC) |
| → EPIQR | ENERGY PERFORMANCE, INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY AND RETROFIT |
| → SIM | BUREAU D'INGÉNIEUR SIGMA INGÉNIERIE & MAINTENANCE |
| → CVCS | CHAUFFAGE, LA VENTILATION, LA CLIMATISATION ET LA PARTIE SANITAIRE |
| → OFS | OFFICE FÉDÉRALE DES STATISTIQUES |
| → SGV | SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES |
| → OEaux | ORDONNANCE SUR LA PROTECTION DES EAUX |
| → TROI | RETOUR SUR INVESTISSEMENT EN ANNÉE |
| → PRU / GRU | PETITE RÉTRIBUTION UNIQUE ET GRANDE RÉTRIBUTION UNIQUE |
| → RPC | RÉTRIBUTION À PRIX COURANT |
| → LAT | LOI FÉDÉRALE SUR L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE |
| → VAN | VALEUR ACTUALISÉE NET |
| → CAPEX | DÉPENSE DE L'INVESTISSEMENT |

1 CONTEXTE

- Stratégie 2050 (Généralités)

Douze jours après la catastrophe nucléaire de Fukushima, survenue le 11 mars 2011, le Conseil fédéral a entrepris de réviser et d'actualiser la précédente stratégie énergétique en vigueur afin de sortir progressivement de la dépendance suisse à l'énergie nucléaire. Au terme d'une série de démarches politiques et administratives, le Conseil fédéral élabore la Stratégie énergétique 2050 (SE2050). Cette nouvelle loi sur l'énergie est proposée et acceptée par référendum par la population helvétique le 21 mai 2017. Elle renforce la précédente loi avec de nouveaux objectifs. Parmi les précédents piliers que sont l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, le remplacement et la construction de grandes centrales électriques (centrales nucléaires incluses) et la politique énergétique extérieure, s'ajoute la mise hors service des cinq centrales nucléaires sur le territoire conformément aux directives sur leur durée de vie d'exploitation.¹

- Stratégie 2050 (Répercussions)

La SE2050 doit préparer la Suisse aux évolutions économiques et technologiques tout en restant compétitives sur le marché de l'énergie. Elle assure que des investissements et des emplois seront créés dans le pays. Cependant, la mise en pratique de ladite loi, entrée en vigueur début 2018, confronte la population helvétique à des pertes d'approvisionnement en énergie composant le mix-énergétique suisse. En effet, dès 2020, les trois plus grandes centrales nucléaires (Beznau-1, Beznau-2 et Mühleberg) seront à l'arrêt. Elles permettaient jusqu'alors de couvrir une part de la consommation en hiver à l'instar des contrats sur l'importation d'électricité française d'origine nucléaire qui, quant à elles, arriveront toutes à expiration en 2035, sans garanties de renouvellement.²

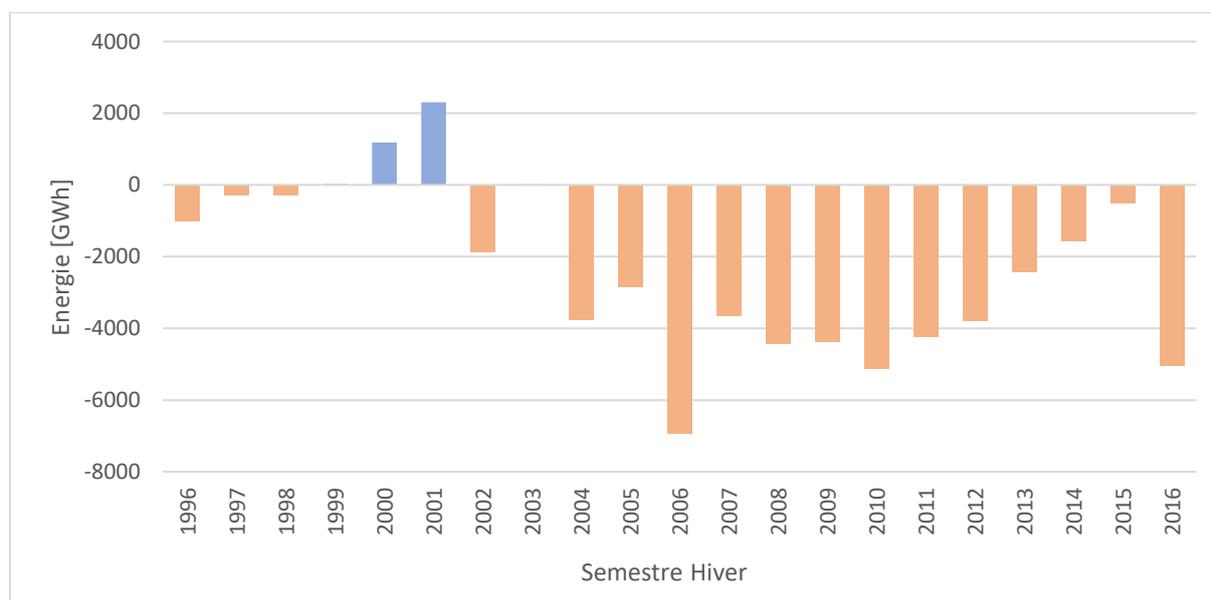


Figure 1 : Soldes (exportation - importation) d'électricité lors des semestres d'hiver³

¹ Stratégie énergétique 2050, Office fédéral de l'énergie, Premier paquet de mesure (site internet), <http://www.bfe.admin.ch/energiestrategie2050/06445/index.html?lang=fr> (dernière consultation le 06.08.18)

² La Suisse électrique du futur - Plaque tournante électrique au cœur de l'Europe ou « réduit national » isolé dans ses montagnes et vallées ? electrosuisse, Bulletin 09.2010

³ Statistique Suisse de l'électricité 2016, OFEN

La figure 1 illustre les soldes entre l'importation et l'exportation réservés aux semestres d'hiver pour la période 1996 à 2016. A noter ici que seules les années 1999, 2000, 2001 et 2003 ont obtenu un solde positif (bleu). Ainsi, la proportion où la production indigène a suffi à couvrir la demande hivernale en électricité est de 20% seulement. Ce manque devra être comblé par la promotion d'énergies renouvelables indigènes tout en évitant la consommation superflue d'électricité et de chaleur dans les secteurs énergivores.

- Energie bâtiments (importance du thème, du sujet étudié)

La première mesure dictée dans la SE2050 concerne l'efficacité énergétique. L'évaluation de la performance énergétique est l'instrument principal qui permettra de réduire drastiquement la part d'énergie primaire consommée dans les secteurs du bâtiment (ménages compris), du transport, des services et de l'industrie. En termes d'énergie primaire directe, les bâtiments « consomment près de la moitié de l'énergie, à raison de 30% pour le chauffage, la climatisation et l'eau chaude sanitaire, 14% pour l'électricité, et environ 6% pour la construction et l'entretien »⁴. Il s'agit dès lors de réduire la part d'électricité et de chaleur pour le bâtiment à l'aide de mesures incitatives dictées dans la SE2050. La vision de l'Office fédérale de l'énergie (OFEN) sur le parc immobilier 2050 est définie en cinq points comme illustrée sur la figure 2. Elle décrit les priorités et les directives principales que devront appliquer les cantons.

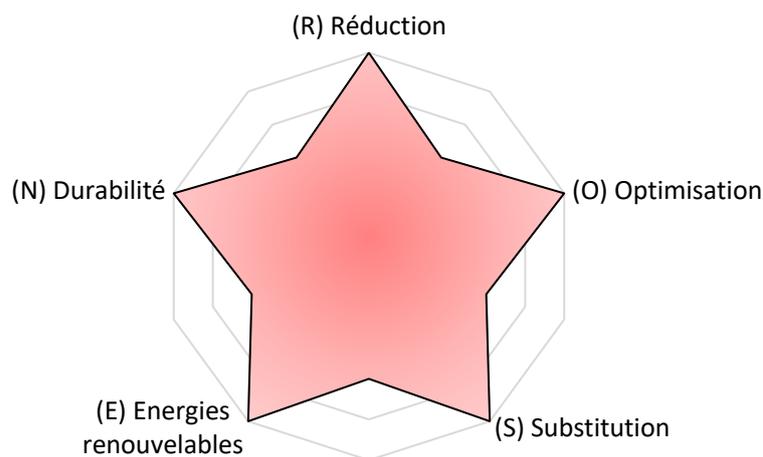


Figure 2 : Vision de l'OFEN, abrégée R.O.S.E.N pour la version allemande ⁵

Il est du ressort des cantons de respecter la vision de la Confédération. Pour ce faire, en Valais, le plan directeur cantonal et communal pour la ville de Sion observent l'évolution et les changements sur le territoire et coordonnent les différentes entités quant à la rénovation de bâtiments d'ordre publics et privés lorsque ces derniers sont mis à l'enquête tout en conservant la richesse et la diversité du paysage. Il semble alors impératif de stimuler la curiosité architecturale et culturelle des bâtiments formant le tissu urbain valaisan tout en apportant à ses habitants, qualité, durabilité et fonctionnalité.

⁴ Energie dans les bâtiments, Efficacité énergétique OFEN

⁵ Parc immobilier 2050 – Vision de l'OFEN, 1.1.2018

- Entretien des bâtiments scolaires (ciblage, obligations)

A la fois responsable de la qualité de ses services et titulaire d'une politique réfléchie de développement durable, la ville de Sion doit proposer des solutions concrètes d'entretien des infrastructures communales, en particulier lorsque les bâtiments sont exploités par une proportion importante de la population résidentielle comme le complexe Gravelone, bâtiment d'utilité publique.

Sachant que l'exemple doit être donné par la qualité des réalisations entreprises, la ville de Sion aspire à moderniser une partie de ses infrastructures, de répertorier et d'enregistrer les données énergétiques des bâtiments. Déjà titulaire du label Cité de l'énergie® en 2014, la ville a prouvé que l'intérêt futur est au renouvelable mais que des efforts doivent être fait dans le secteur des bâtiments et installations communaux.⁶

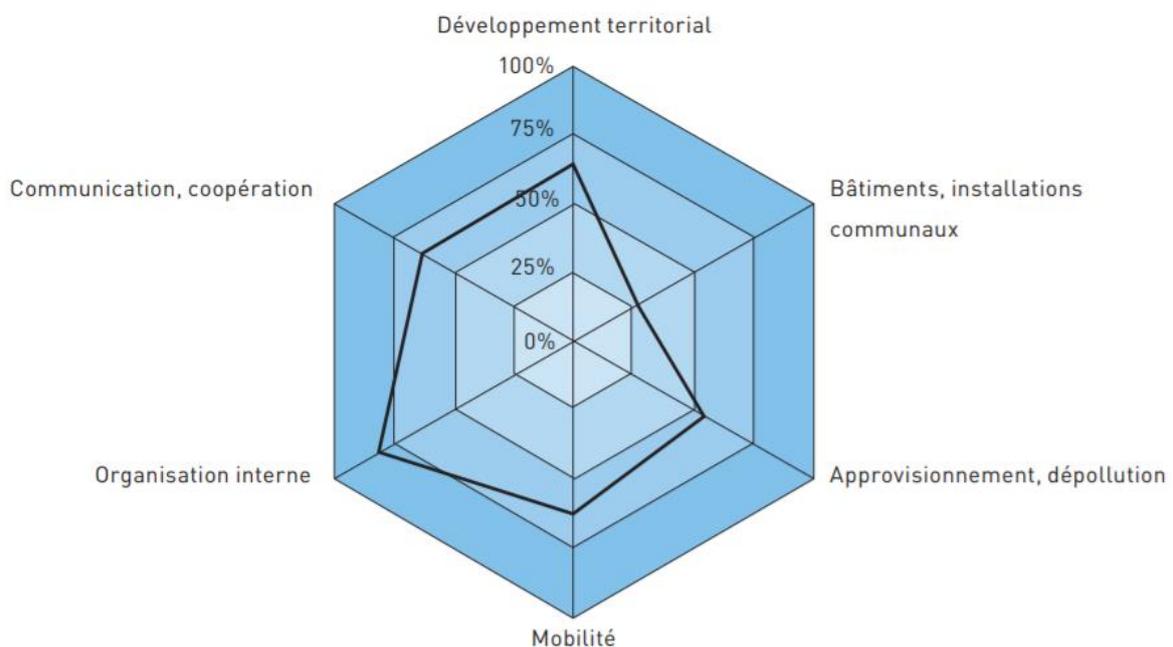


Figure 3 : Taux de réalisation en 2014 - Ville de Sion⁷

- Intérêt de standardiser, développer des aides (perspectives)

Actuellement, une multitude d'outils et logiciels permettent de déterminer sous forme de diagnostics l'état de santé des infrastructures mais aussi de mettre en évidence la qualité d'usage tout en évaluant le potentiel d'amélioration et les coûts investis. Ils permettent à la fois de vérifier la qualité de l'architecture mais aussi des rénovations futures. Cependant, lorsqu'il est question d'études de grandes envergures ou de grande mixité de paramètres, il incombe au chef de projet de garder une vue d'ensemble dès la phase de pré-étude. Pour bénéficier d'un gain de temps précieux, une aide à la décision sera proposée et accompagnée d'une méthodologie de mise en place de la rénovation sur le cas concret du centre scolaire de Gravelone.

⁶ Rapport Cité de l'énergie, Ré-Audit de la ville de Sion, Ch.2 : demande de renouvellement du label, 11.07.14

⁷ Fiche informative, Cité de l'énergie, Suisseenergie, 23.09.14

2 CAHIER DES CHARGES

| Repères | Fonction | Critère(s) d'appréciation | Contraintes | Niveau d'appréciation | Flexibilité |
|---------|--|--|---|---|-------------|
| FP1 | Satisfaire les besoins en chaleur (chauffage et ventilation) pour la rénovation d'un centre scolaire | -Couverture intégrale des besoins en chaud et en froid -Limitation de l'excédent | -Respecter les normes pour des installations de production de chaleur -Résister aux conditions extérieures | -Couverture de 100% -Normes SIA 380/1 | |
| FP2 | Satisfaire les besoins en chaleur pour l'eau chaude sanitaire (ECS) | -Couverture intégrale des besoins de chaleur -Limitation de l'excédent | -Respecter les normes pour des installations de production de chaleur -Résister aux conditions extérieures | -Couverture de 100% -Normes SIA 380/1 | |
| FP3 | Couvrir les besoins en électricité du bâtiment | -Couverture des besoins selon l'économie effectuée -Réflexion sur l'excédent (stockage et/ou injection) | -Respecter les normes de sécurité pour des installations électriques -Résister aux conditions extérieures | -NIBT 2015 (CH) -IEC 61215 et IEC 61730 | |
| FP4 | S'intégrer dans un concept de rénovation | -Introduire un concept viable sur le plan technique et économique -Intégrer le confort des occupants | -Être réalisable sur le plan technique -Être envisageable sur le plan économique -Ne pas contribuer à l'entrave des usagers et exploitants -Répondre aux standards de construction suisses | - < 20 ans - Installations et appareils adaptés -Incommodité absente -SNBS | |
| FP5 | Assurer la gestion de rénovation | -Proposer un panel d'intervention intégrant les critères spécifiques au lieu | -Réduire la complexité de manœuvre -Réduire l'entrave des usagers et exploitants | -Durée : 2ans -Utilisation des lieux possible pendant la période de rénovation | +/- 3 mois |
| FE1 | Être esthétique | -Dimension -Orientation -Intégration (adapté à la cible) | Respect du degré de classement du patrimoine | -Discrétion -Degré de classement du patrimoine : niveau 3 (bâtiment A) | |
| FE2 | Être précurseur | -Comportement exemplaire | -Contribuer au développement durable | -Plans d'action directeurs VS et CH | |
| FE3 | Correspondre à des propositions d'aides financières | -Appels d'offres Suisses | -Respecter les exigences minimales d'appels d'offres | -Appels à projet Bâtiment (Suisseenergie), ProKilowatt | |

Le cahier des charges susmentionné est construit sur la base de la description obtenue lors de la réception des directives de travail. Modifié à plusieurs reprises, il est présenté ici sous sa forme définitive. Il reprend les trois points principaux mentionnés dans la description édictée comme suit :

- Réaliser un état des lieux du centre scolaire en termes d'énergie
- Proposer des mesures d'assainissement, en estimant les coûts d'investissement ainsi que le coût du kWh économisé
- Evaluer et simuler le potentiel de production d'énergie renouvelable

Les objectifs principaux sont transposés à travers les fonctions principales (FP) 1 à 4. A cela s'ajoute les fonctions de services regroupées en fonctions d'estimes (FE) et en fonctions d'usages (FU). Les FE permettent de respecter le caractère esthétique du complexe scolaire, du caractère innovant des installations effectuées, reflétant l'intérêt du propriétaire concernant le développement durable tout en essayant de se rapprocher des exigences pour l'obtention d'aides financières. Dans ce cas d'étude, il n'existe pas de FU car, outre le caractère de production de chaleur et d'électricité pour les appareils, le service effectué ne répond pas à une utilisation particulière.

Pour le traitement d'un cas similaire de modernisation de bâtiment, ce cahier des charges peut être adapté avec, si nécessaire, la modification des critères et niveaux d'appréciations.

3 MÉTHODOLOGIE ET RÉFÉRENCES

Ce chapitre apporte des indications autour des principales références issues de la littérature et met en évidence les techniques propres aux domaines de l'ingénieur et de l'architecte connues à ce jour. Afin de ne pas perdre le lecteur, seuls les aspects théoriques traités dans les paragraphes suivants seront abordés dans cet état de l'art.

3.1 MÉTHODOLOGIE POUR L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE

La réalisation d'un audit énergétique nécessite une vision d'ensemble sur les phases principales de l'étude. Par la réception d'un cahier des charges fourni par le client, une méthodologie doit être respectée par le maître d'œuvre pour éviter nombre d'erreurs et de confusions et de proposer une évaluation fidèle pour le mandataire.

Les points principaux cités ci-dessous se retrouvent sur la version finale du Gantt réalisée lors de la phase d'initialisation du travail. **[annexe 1]**

Dans un premier temps, il s'agit de définir les forces extérieures qui agissent sur le maître d'œuvre. Par force, sont concernées toutes les autorités compétentes et acteurs du secteur de la construction qui ont une influence, par le passé, le présent ou le futur, sur l'étude et la réalisation d'un audit énergétique. De ce fait, les obligations légales et objectifs des acteurs de la rénovation seront définies.

Une fois le cadre défini, la caractéristique propre au sujet Gravelone sera étudié, en évaluant l'état architectural, les consommateurs et les installations techniques du site. C'est alors qu'une sélection des outils et logiciels nécessaires à cette évaluation pourra être réalisée. Sur la base de diagnostics, ils permettront de proposer des mesures d'optimisation énergétique et découleront sur l'élaboration de plusieurs stratégies d'approches.

Un plan directeur quant aux maintenances à prévoir ainsi qu'à l'ajout éventuel de production renouvelable intra-site sera réalisé.

3.2 CONCEPTION D'UN PROTOCOLE DE MAINTENANCE

Les points essentiels relatifs au protocole de maintenance découlant sur la décision de rénover ou d'entretenir un bien sont présentés et décrits dans la figure 4. Il s'agit ici d'un résumé non-exhaustif qui ne prend pas en compte les spécificités propres au lieu ou à l'historique mais peut sans autres être appliqué à tout type d'éléments à maintenir dans un état convenable. Sa synthèse est effectuée à l'aide de diverses références.^{8 9}

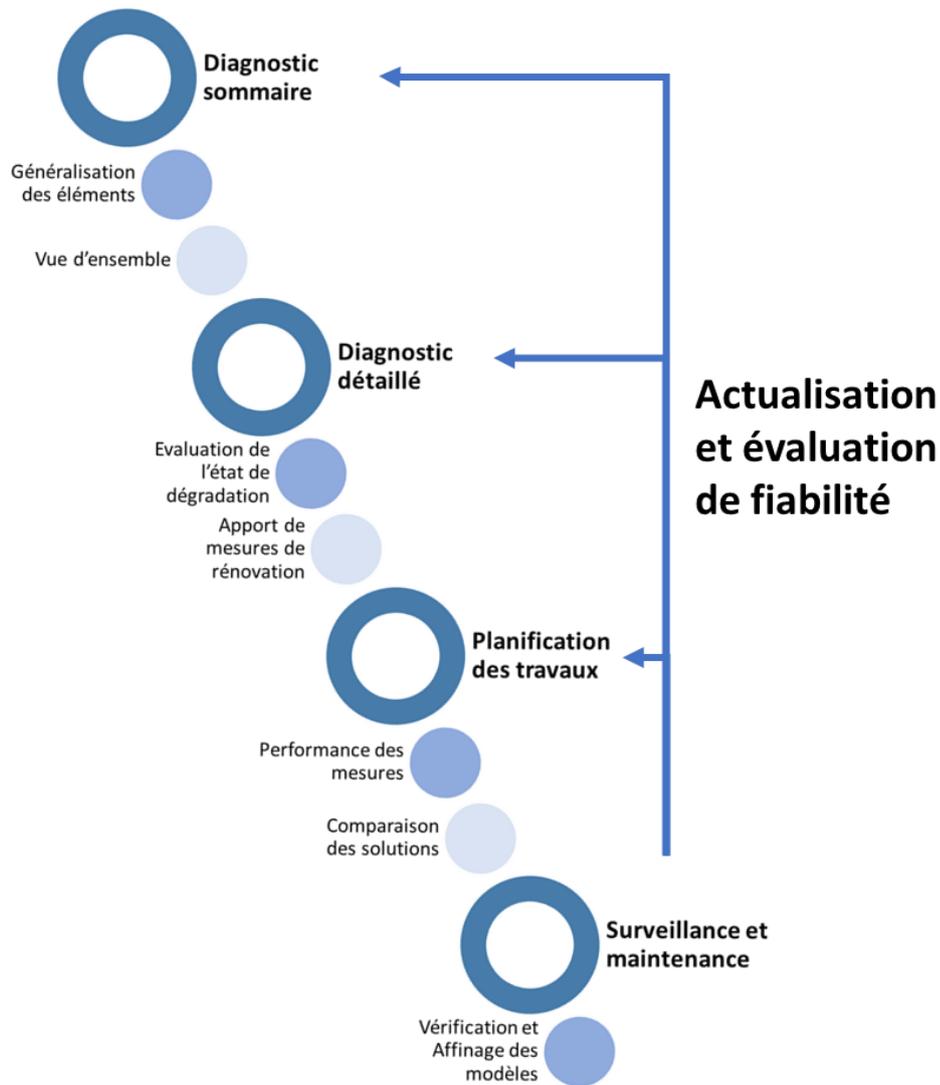


Figure 4 : Méthodologie de suivi pour la maintenance et la surveillance

-Diagnostic sommaire : Pré-évaluation de l'ensemble de l'ouvrage et identification de visu des éléments dont l'état est obsolète

-Diagnostic détaillé : Evaluation détaillée et précise des éléments susmentionnés, des bénéfices engendrés par la modification d'un composant et esquisse des mesures correctives

⁸ Recommandation pour l'élaboration du rapport d'audit énergétique IDC – OCEN, République et Canton de Genève, 20 juillet 2015

⁹ La maîtrise des coûts de rénovation à l'aide de la méthode par éléments – Volume I : Théorie de la planification des frais et exemple d'application, PI-BAT 724.435.1 f, 1994

-Planification des travaux : Détail du plan de rénovation et attribution des tâches à effectuer temporellement pour chaque possibilité. Décision de la solution la plus pertinente

-Surveillance et maintenance : Vérification du bon déroulement des travaux correctifs et modification ou interruption du processus si nécessaire

La marche à suivre décrite ici permet en tout temps d'évaluer la fiabilité de la démarche et d'effectuer des modifications rétroactives sur de futures études similaires. L'expérience acquise permet de bénéficier d'une justesse et d'une fiabilité accrues sur les résultats des modèles proposés. De plus, en se rapprochant de la finalité de la maintenance, des corrections sur la précision des coûts peuvent être effectuées et indiquent la viabilité du projet.

3.3 POUVOIR CALORIFIQUE ET DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES

Il est admis, selon la littérature, que les densités énergétiques de combustibles, exprimées en kWh/kg, abordées dans ce document sont les suivantes (tableau 1).^{10 11} A celles-ci, s'ajoutent les facteurs d'énergie correspondant ainsi que les coefficients d'émission de gaz à effet de serre obtenus à l'aide de la théorie SIA.¹²

| Agent énergétique | Pouvoir calorifique | Unité | Facteur d'énergie primaire [-] | Coefficient d'émission de gaz à effet de serre [g/MJ] |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|---|
| Gaz naturel (PCI) | 10.3 | [kWh/m ³] | 1.15 | 67 |
| Bois (Bûches) | 4.2 | | 1.06 | 3 |
| Bois (Pellets) | 5.0 | | 1.22 | 10 |
| Mazout extra léger (EL) | 10.5 | [kWh/L] | 1.24 | 82 |
| Electricité | [-] | [-] | 2.97 | 45 |

Tableau 1 : Données diverses des agents énergétiques

Chaque combustible est doté d'une référence énergétique appelée pouvoir calorifique. Elle correspond à l'énergie sous forme de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de volume (gazeux, liquide ou solide). Lors du processus, de la vapeur d'eau est dégagée et contient une part d'énergie non-négligeable. Lorsque cette énergie est restituée à l'environnement, on utilise par définition le pouvoir calorifique inférieur (PCI).

Pour certaines technologies de chaudière (gaz naturel, mazout, parfois bois), les vapeurs d'eau peuvent être réduites par condensation et l'énergie contenue dans les gouttelettes d'eau, appelée chaleur latente, peut être partiellement récupérée. On peut alors atteindre des valeurs de rendements supérieures à 100% selon l'ancienne définition du PCI ; le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est ainsi utilisé selon :

Pouvoir calorifique supérieur = Pouvoir calorifique inférieur + chaleur latente d'évaporation

¹⁰ Détermination de la puissance du générateur de chaleur, SuisseEnergie OFEN 12.2015

¹¹ Energie – Panorama, Office fédéral de la statistique, 02.2016

¹² L'énergie thermique dans le bâtiment, SIA 380/1, société suisse des ingénieurs et architectes, édition 2009

4 ACTEURS DE LA RÉNOVATION

Au total, trois groupes principaux régissent à la fois les obligations, les directives quant à la modernisation de bâtiments et les outils et aides financières.

Le code couleur pour les groupes est le suivant : les certifications sont représentées en gris, les outils et logiciels de diagnostic sont présentés en jaune et, pour finir, la part des prescriptions, objectifs et directives est illustrée en bleu.

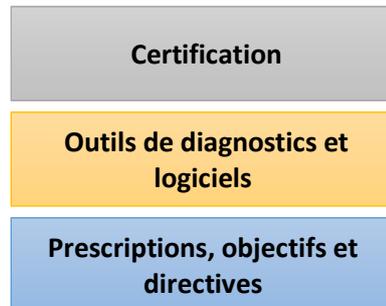


Figure 5 : Code couleur des acteurs de la rénovation

4.1 CONFÉDÉRATION HELVÉTIQUE

Comme mentionné précédemment, le Conseil fédéral a réévalué les directives citées dans la SE2050. L'Office fédéral de l'énergie découlant directement du département fédéral de l'environnement, des transports de l'énergie et de la communication (DETEC) introduit des labels de construction pour les bâtiments neufs ou rénovés. L'association Minergie est née et, avec le soutien de plusieurs entreprises privées, introduit plusieurs labels et compléments. En parallèle, l'OFEN a lancé le programme SuisseEnergie qui sert de plateforme entre les différents acteurs de l'énergie et à son tour, apporte des certifications pour les bâtiments et les villes.¹³

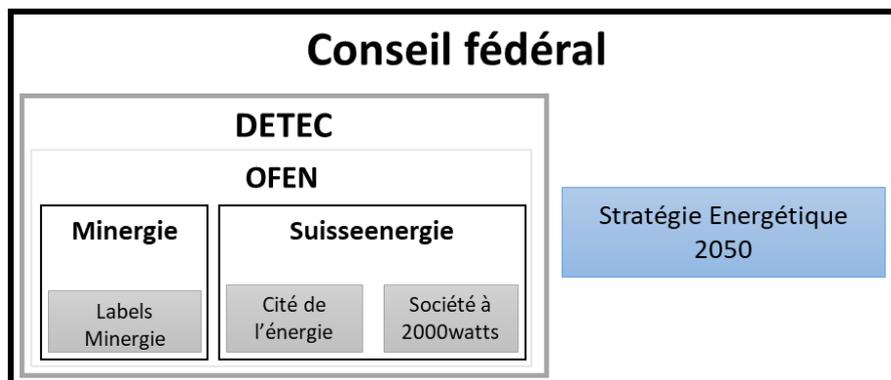


Figure 6 : Cadre fédéral et ses relations dans les secteurs de l'énergie du bâtiment

4.2 CANTONS

Les Cantons doivent se soumettre aux directives du Conseil fédéral. Ils mettent en place des plans d'action directeurs cantonaux pour s'assurer du respect des directives susmentionnées. Il s'agit alors de « former un cadre de référence stable, mais suffisamment souple pour offrir une certaine marge de manœuvre sans faire l'objet d'adaptations incessantes »¹⁴. A leur tour, les villes dirigent les

¹³ EnergieSchweiz 2017-2020, Detailkonzept, energySchweiz, Juli 2017

¹⁴ Planification cantonale valaisan – Introduction, Canton du Valais, 01.04.03 (site internet) <https://www.vs.ch/web/sdt/le-plan-directeur-cantonal> (dernière consultation le 06.08.18)

aménagements territoriaux en coordonnant les activités des secteurs publics et industrielles. La Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK) harmonise les volontés cantonales en apportant un certificat cantonal des bâtiments (CECB) tout en promouvant l'efficacité énergétique et les apports de chaleur dans le secteur de la construction. Le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) sert de modèle d'application de la loi sur l'énergie.

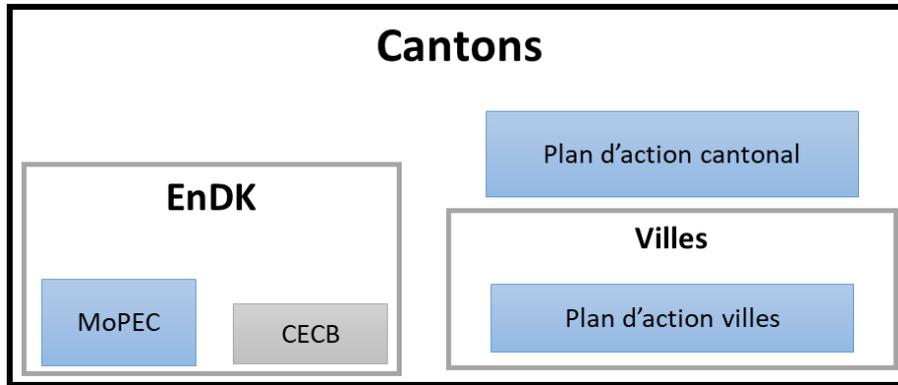


Figure 7 : Cadre cantonal et ses relations dans les secteurs de l'énergie du bâtiment

4.3 SECTEUR PRIVÉ

La fédération et les cantons mettent en place le périmètre légal pour l'efficacité énergétique des bâtiments. Cependant, la société suisse des ingénieurs et architectes (SIA), issu du secteur privé, introduit à son tour un recueil d'obligations et de directives dans l'élaboration d'études sur les bâtiments (enveloppe, apport de chaleur, froid, électricité, sécurité, etc). Présentés sous la forme de normes (directives) et de cahiers techniques (mode d'emploi), ils servent de base de référence quant à l'élaboration de concepts de bâtiments respectueux de l'environnement. Ils sont constamment adaptés et renforcés pour rester cohérents avec les modèles économiques et politiques en vigueur.

Les entreprises réalisent des études d'efficacité énergétique sur la base d'expérience, de logiciels de simulations numériques ou dynamiques et d'outils techniques existants. Il s'agit ici d'évaluer la caractéristique physique du bâtiment de Gravelone en utilisant les pré-études effectuées par des bureaux d'ingénieurs. A noter que les entreprises et membres peuvent être affiliés et reconnus par les institutions Minergie, SIA et CECB.

Des institutions scolaires participent également à la rénovation en proposant des outils comme *bSol*, réalisé par la haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) en partenariat avec Physeos SA.

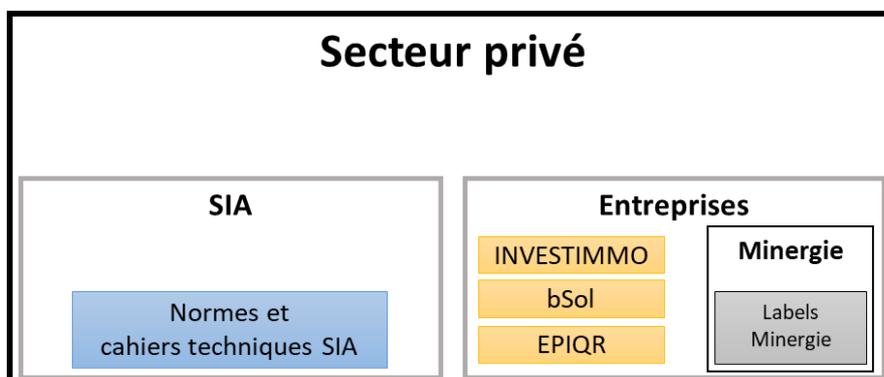


Figure 8 : Cadre privé et ses relations dans les secteurs de l'énergie du bâtiment

5 CARACTÉRISTIQUES DU SITE

5.1 INFORMATIONS GÉNÉRALES

D'une population de plus de 34'000 habitants pour une superficie totale de 34.85 km², la ville de Sion surprend par la qualité de son histoire et de son patrimoine culturel. Constitué d'un tissu architectural varié et traversant les époques, certains bâtiments font partie intégrante de l'identité de la ville, capitale économique du Valais. Depuis sa construction en 1912, le centre scolaire de Gravelone représente merveilleusement son époque avec un style Heimatstil, imposé pour les architectures scolaires de l'époque.¹⁵

5.2 LOCALISATION

Localisé dans la partie supérieure de la ville de Sion, au 4 rue du Pré-d'Amédée, le complexe est situé au cœur du quartier de Gravelone. A ses abords, sont disposés plusieurs résidences et habitations ainsi que divers établissements tertiaires comme la haute école de musique de Lausanne.

L'école de Gravelone est formée d'un ensemble de cinq bâtiments distincts, noté de A à E comme représenté sur l'image 1, dont l'exploitation est variée ; salles de classe, piscine, salles de sport et de rythmique forment les principales affectations du site.



Image 1 : Vue aérienne du Centre scolaire de Gravelone, Google Earth juin 2018

Les exploitants des lieux comprennent les élèves, les professeurs mais aussi les services responsables de l'entretien du site : d'une part le concierge actuel M. Masseraz, qui s'attèle au respect du nettoyage et de l'entretien des locaux et de l'extérieur, et d'autre part les entreprises des services de contrôle, de réparation ou de rénovation des installations existantes. A cela s'ajoute les utilisateurs des infrastructures à disposition (piscine, salles de sport, de chant, terrain extérieur) ne faisant pas partie du cadre scolaire.

¹⁵ Inventaire Suisse d'Architecture 1850 – 1920, Volume 9, Catherine RAEMY-BERTHOD, 1850 – 1920. Société d'Histoire et de l'Art en Suisse 2003 p.60

5.3 ORIENTATION ET FORMES DES BÂTIMENTS

L'azimut est mesuré entre le point cardinal nordique et l'orientation de l'objet sur le plan horizontal jusqu'à former un tour complet de 360° en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

| Faces | Est | Sud | Ouest | Nord |
|-------------|-----|-----|-------|------|
| Orientation | 54 | 144 | 234 | 324 |

Tableau 2 : Orientation des façades

La lecture des orientations pour chaque façade est permise à l'aide des plans et des cartes à dispositions. Les données d'orientation des façades sont accompagnées d'une illustration exhaustive des bâtiments, visible en annexe. **[annexe 2]**

A noter que l'orientation des bâtiments C et D est légèrement différentes que celle des autres bâtiments. Cependant, cette variation n'est pas prise en compte car considérée comme négligeable.

5.4 DONNÉES CLIMATIQUES

Les données météorologiques pour la ville de Sion apportent une indication sur la quantité de jours de chauffage nécessaires à compenser la variation de température entre l'extérieur et l'intérieur d'un bâtiment. Cette écart, appelé degré-jour, indique le nombre de degré de différence rapporté sur une période mensuel. Lorsque la température extérieure moyennée est supérieure à la température de consigne, généralement de 20°C, le chauffage des locaux n'est pas nécessaire.

A cela s'ajoute les données de rayonnement global moyen sur le plan horizontal, permettant l'évaluation de la production d'énergie issue de l'irradiance solaire et des gains solaires dans le bâtiment.

| Mois | Degrés-jours [°C] | Température moyenne extérieure [°C] | Rayonnement global horizontal [W/m2] |
|---------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| janv.17 | 691.7 | -2.3 | 56 |
| févr.17 | 412.8 | 5.3 | 106 |
| mars.17 | 256.4 | 9.7 | 159 |
| avr.17 | 144.9 | 11.6 | 244 |
| mai.17 | 59.3 | 16.4 | 263 |
| juin.17 | 0.0 | 21.7 | 289 |
| juil.17 | 0.0 | 22.1 | 278 |
| août.17 | 0.0 | 21.3 | 229 |
| sept.17 | 60.4 | 14.8 | 179 |
| oct.17 | 144.0 | 11.8 | 126 |
| nov.17 | 474.8 | 4.2 | 65 |
| déc.17 | 639.0 | -0.6 | 43 |
| Résumé | 2996 (Total) | 11.2 (Moyenne) | 166 (Moyenne) |

Tableau 3 : Statistiques climatiques pour la ville de Sion (année 2017) ¹⁶

¹⁶ Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, Données météorologiques – Sion

5.5 EXPLOITATION DES LIEUX

Comme mentionné précédemment, les exploitants sont variés et leur présence est irrégulière sur le site. Il est alors impossible de déterminer précisément un calendrier des absences et présences pour chaque bâtiment.

5.5.1 Cadre scolaire

Cependant, en récupérant le calendrier scolaire pour l'année 2017-2018 en Valais, il est possible de déterminer les périodes spécifiques pour les occupants principaux du centre ; les professeurs et élèves.¹⁷

Pour un total de 166.5 jours effectifs d'une année scolaire obligatoire, les élèves sont, comme attendu, majoritairement présents la semaine et les mercredis matin (jours fériés exclus). Il en résulte une occupation importante des locaux pour l'enseignement. Au total, le corps enseignant est composé de près de 50 enseignants pour 478 élèves présents sur le site.

5.5.2 Services du site

En ce qui concerne la présence des services d'entretien, il semble cohérent d'effectuer les révisions lors de la période de vacances scolaires des élèves. L'occupation sur le site est alors minime mais non nulle et sera, dans ce cas d'étude, négligée.

Pour les utilisations particulières faites par des tiers, concernant la piscine, la rythmique et la salle de gymnastique, l'occupation est modérée autant lors des périodes scolaires et extra-scolaires (vacances incluses).

Sur la base de ces estimations, une variation de l'affectation des bâtiments est obtenue pour déterminer les apports thermiques internes (paragraphe 7.2). Le profil d'occupation du site par les individus est présenté ci-dessous :

| Catégorie | A | B | C | D | E |
|--------------------------|-----|-----|-----|----|----|
| Enseignants | 8 | 15 | 19 | 1 | 10 |
| Elèves | 478 | | | | |
| Nombre de classes | 10 | 13 | 17 | 0 | 6 |
| Élèves/bâtiment * | 104 | 135 | 177 | 0 | 62 |
| Utilisation particulière | 5 | 5 | 5 | 10 | 15 |

Tableau 4 : nombre d'individus par catégorie

*Le nombre d'élève par bâtiment est moyenné sur le nombre de classe. Il s'agit d'une estimation pour correspondre à la quantité totale d'élèves du site.

Le nombre d'enseignants et d'élèves totaux sont estimés sur les informations recueillies lors des visites du centre scolaire. En supposant une quantité d'élève par classe constante, il est possible de déterminer, en fonction du nombre de classe, la répartition des élèves sur le site. Cette évaluation est approximative car les classes ne sont pas répertoriées pour cette étude.

Malgré des locaux inoccupés dans les bâtiments A, B et C, les affectations sont reportées à la surface totale des bâtiments correspondants.

¹⁷ Calendrier scolaire (Valais romand) 2017-2018, Département de la formation et de la sécurité

5.6 HISTORIQUE DU BÂTIMENT

Ci-dessous, un historique général contenant les principales constructions et modifications apportées sur le complexe de Gravelone.¹⁸

| Date | Type | Travaux |
|--------------------|----------------------------------|---|
| 1912 | Planification et construction | Plan et autorisation de construire l'école normale des institutrices |
| 1914 | Planification et construction | Taxation du bâtiment |
| 1915 | Planification et construction | Plan pour l'installation d'un portail |
| 1951 | Planification et construction | Nouveau bâtiment |
| 1964 | Planification et construction | Salle de gymnastique |
| 2015 | Assainissement et transformation | Assainissement, restructuration et transformation du bâtiment B du complexe scolaire avec maintien des activités pour la création de salles de classe ¹⁹ |
| 2017 (en cours) | Transformation | Retrait des éléments de cafétéria et de réfectoire du bâtiment A |
| 2019 ? | Assainissement | Assainissement du complexe |

Tableau 5 : Historique du centre scolaire

Historiquement, le bâtiment A fût construit en premier. Les bâtiments B, C D et E ont été érigé afin d'agrandir le complexe par la construction de nouvelles salles de classe et d'un internat localisé dans le bâtiment B. Aujourd'hui, une partie non négligeable du bâtiment est inoccupée ou non-exploitée. Il s'agit des locaux réservés au concierge (bâtiment B – niveau 4), des chambres anciennement destinées à l'internat (bâtiment C – niveau 4) et des salles pour les leçons de piano (bâtiment C – niveau 0). Au jour de l'étude, des travaux de réaffectation sont effectués au rez-de-chaussée du bâtiment A et seront terminés durant l'année 2018.

Dû à sa qualité architecturale et à l'emprunte qu'il laisse sur le tissu urbain de la ville de Sion, le bâtiment A est classé 3 au recensement architectural du canton du Valais.²⁰ Comme mentionné dans l'« *inventaire, classement et mise sous protection du Patrimoine bâti (Service des bâtiments, monuments et archéologie, Canton du Valais) édition 01 – 2017* », il s'agit d'un bâtiment dont la « restauration voire la transformation est envisageable en conservant l'authenticité de l'objet, son identité et son caractère initial ». Dans ce cas, le bâtiment A ne doit pas être altéré dans sa qualité représentant le mouvement artistique de l'époque. De plus, un préavis du service cantonal de la protection du patrimoine doit être effectué avant tout travaux (démolition exclue).

Cependant, aucune directive n'interdit la modification de l'état architectural pour les bâtiments B, C, D et E. Les solutions devront alors respecter uniquement les exigences légales et sécuritaires en vigueur.

¹⁸ Inventaire Suisse d'Architecture 1850 – 1920, Volume 9, Catherine RAEMY-BERTHOD. Société d'Histoire et de l'Art en Suisse 2003 p.22 à 60

¹⁹ mbd sa architectes SIA, Références : Constructions - Transformations – Rénovations. Récupéré sur : <https://www.mbdsa.ch/references.aspx?idDetail=1454> (dernière consultation le 10.08.18)

²⁰ Inventaire du patrimoine bâti 125-000140-000-000, Sion, Fiche 140, dernière modification : 16.09.2014

5.7 SURFACES AU SOL

Le calcul de la surface de plancher (SP) est soumis, en Valais, à la norme SIA 116. Cette norme a servi de base pour l'élaboration de la norme SIA 416. Cependant, pour des raisons d'incidences financières et administratives, elle n'a pas été adoptée dans le canton du Valais²¹. La norme SIA 116 est encore aujourd'hui la référence pour le calcul des surfaces et des prix rapportés au m² et sera utilisé dans l'évaluation des coûts de la réfection des bâtiments. A l'aide des hauteurs spécifiques des étages, elle permet de calculer le cube spécifique d'un bâtiment.²² La SP prend en compte toutes les surfaces de plancher d'un bâtiment.

La surface de référence énergétique (SRE) permet, quant à elle, d'apporter une base pour les calculs énergétiques. Elle correspond à la somme des surfaces de plancher des étages et/ou sous-sols à conditions qu'ils soient inclus dans l'enveloppe thermique du bâtiment et que leur hauteur utile soit supérieure à 1.0 m. Un résumé des surfaces prises en compte dans la SRE est présenté dans la figure ci-dessous.

| | | | | |
|---|--|--|---|--|
| Dans le périmètre d'isolation | | | | en-dehors du périmètre d'isolation |
| inclus dans la surface de référence énergétique | | non inclus dans la surface de référence énergétique | | |
| non activement chauffé mais chauffage „habituel“ | activement chauffé | | non activement chauffé | |
| Exemples: Escalier Ascenseur Corridor Atelier | Exemples: Salon Chambre à coucher Cuisine Salle de bains | Exemples: Séchoir déshumidifié Buanderie déshumidifiée Locaux annexes | Exemples: Séchoir déshumidifié Buanderie déshumidifiée Pièces tampon Cave | Exemples: Séchoir non déshumidifié Buanderie non déshumidifiée Cave Garage |
| A | B | C | D | E |

Figure 9 : Différenciation des surfaces selon trois critères : isolation, SRE et pièces chauffées²³

Les résultats des surfaces de plancher et de référence énergétique sont récupérés selon les documents des analyses énergétiques du centre scolaire et représenté dans le tableau 7.^{24 25}

| Surfaces | A | B | C | D | E | Total |
|---|-------|-------|-------|-----|-------|---------------|
| Surface de plancher [m²] | 2 569 | 3 205 | 3 725 | 536 | 1 886 | 11 921 |
| Surface de référence énergétique [m²] | 2 361 | 2 646 | 3 573 | 430 | 1 531 | 10 541 |

Tableau 6 : SP et SRE pour le complexe Gravelone

²¹ « Calcul cube SIA – 12 ans de retard ? », Anne Luyer (UDC), n°1.0120, réponse au postulat (12.03.2015)

²² Instructions aux teneurs des registres et des cadastres et leurs substituts. Calcul du cube, Norme SIA 116, Canton du Valais

²³ Extrait de la norme SIA 380/1:2009 2.2.3 Catégories d'ouvrages

²⁴ Calcul de la SP et du cube sia 116, mbd sa architectes sia, Objet 479'2 24.02.2012

²⁵ Diagnostic des infrastructures – physique du bâtiment, Sigma ingénierie & maintenance, ville de Sion, 15.06.2012

5.8 ETAGES

Un plan des étages pour chaque bâtiment est récupéré des documents cités précédemment. Les hauteurs spécifiques par bâtiment et par étage ont été mesurées par le bureau d'architectes *mbd sa, architectes sia* en date du 24.02.2012 et présentées en annexe. [annexe 3]

5.9 INSTALLATIONS TECHNIQUES

5.9.1 Installations de chauffage

Sur l'ensemble du bâtiment, le chauffage est acheminé par de l'eau chaude jusqu'à des radiateurs dispersés à travers les locaux. Au total, deux systèmes de chauffage traditionnels sont présents. Les deux installations de chauffage ont, selon le bureau *mbd sia*, plus de 30 ans d'ancienneté.

5.9.1.1 Chauffage n°1 : Chaudière à gaz

Située au niveau 0 du bâtiment A, la première installation de chauffage est raccordée aux bâtiments A, B et D. Elle apporte également le chauffage pour les locaux du bâtiment E ainsi que le monobloc de ventilation pour la piscine. Il s'agit ici d'une chaudière à gaz délivrant une puissance nominale de 400 kW pour un rendement de production supposé de 90%. Les données principales pour cette chaudière sont listées en annexe. [annexe 4]



Image 2 : Chaudière à gaz - bât. A, B et D

5.9.1.2 Chauffage n°2 : Chaudière à mazout

La deuxième installation de chauffage est située au niveau 0 du bâtiment C. Il s'agit cette fois d'un modèle ancien de chaudière à mazout dont les performances par rapport aux modèles existants sur le marché sont moindres et estimées à 85%.



Image 3 : Chaudière à mazout - bâtiments C et D

A nouveau, les données principales retenues sur cet élément de chauffage et sur le chauffe-eau raccordé sont présentées dans les deux tableaux annexés. **[annexe 4]**

5.9.1.3 Distribution et émission

Les arrivées et retours d'eau chaude sont permis par des conduites comme illustré sur l'image 4. Ces dernières sont recouvertes de calorifugeage évitant une déperdition thermique importante du fluide circulant. Les éléments techniques sont anciens mais la qualité des installations de transports est jugée acceptable car l'isolation est présente sur les parties de tuyauteries (éléments fonctionnels tel que les pompes et vannes multivoies exclues).



Image 4 : Conduites d'eau chaude - bât. A, B et D

L'eau chaude est acheminée vers des radiateurs muraux en fonte équipés de robinets ordinaires permettant le réglage du débit d'eau délivré par l'exploitant. Pour des raisons de confort, les radiateurs étaient traditionnellement placés sous les fenêtres afin d'éviter une sensation de froid lorsque l'utilisateur se trouvait proche de ces dernières. Il s'agissait d'éviter à l'air froid de se diffuser au travers en plaçant la source chaude de manière que la chaleur se disperse vers le haut et donc fasse une barrière thermique importante. La température d'entrée des radiateurs est d'environ 80°C pour une température de sortie de 60°C pour couvrir un local à 20°C. (régime de dimensionnement haute température, 80°/60°//20°).



Image 5 : Radiateur type du bâtiment B (partie non-rénovée)

L'installation présentée ci-dessus concerne la salle d'étude et d'examen du bâtiment B et non la totalité des radiateurs actuels. Une liste non-exhaustive des éléments de chauffage muraux pour le centre ne peut être présentée. Cependant, outre les radiateurs des couloirs d'accès, la plupart des espaces sous les fenêtres sont dotés de radiateurs muraux en fonte.

5.9.1.4 Réglage de la température

L'élément de réglage de la température est un RVL480 de chez Siemens. Relié à des sondes de température, il détermine l'apport en chaleur à fournir pour les locaux.

Directement sur chaque radiateur est placé un élément de réglage manuel de type robinet permettant le réglage dans chaque pièce chauffée du complexe. Certaines de ces vannes de réglages sont anciennes et pourraient être remplacées.

5.9.2 Production de l'eau chaude sanitaire

Comme mentionné précédemment, l'eau chaude sanitaire (ECS) est raccordée aux éléments de chauffage n°1 et n°2. La répartition des consommations pour l'eau chaude sanitaire du centre selon l'élément chauffant est inconnue.

5.9.3 Pertes du système

D'une manière générale, les pertes dans une installation technique peuvent se regrouper en quatre points. Les pertes sont liées à :

La Production : concernant les pertes techniques de transformation, de combustion du comburant

La Distribution : comportant les pertes de chaleur des conduites et d'accumulation

L'Émission : une partie de la chaleur émise par les radiateurs est perdue le long des surfaces et fenêtres adjacentes

La Régulation : Le système de régulation comporte une hystérèse de commande et peut fournir de la chaleur lors de moments inopportuns.

Le rendement global d'une installation, comprenant le rendement pour chaque élément de la chaîne de production est généralisé selon l'équation ci-contre :

$$\eta_{global} = \eta_{production} \times \eta_{distribution} \times \eta_{émission} \times \eta_{régulation}$$

L'évaluation du rendement d'une installation existante est possible en approximant les rendements intermédiaires à l'aide de la théorie.

| Type d'installation | $\eta_{production}$ | $\eta_{distribution}$ | $\eta_{émission}$ | $\eta_{régulation}$ | η_{global} |
|--|---------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Ancienne chaudière Surdimensionnée Longue boucle de distribution, ... | 75..80 % | 80..85 % | 90..95 % | 85..90 % | 46..58 % |
| Ancienne chaudière Bon dimensionnement Courte boucle de distribution, ... | 80..85 % | 90..95 % | 95 % | 90 % | 62..69 % |
| Chaudière haut rendement Courte boucle de distribution Radiateurs isolés au dos Régulation par sonde extérieure Vannes thermostatiques, ... | 90..93 % | 95 % | 95..98 % | 95 % | 77..82 % |

Tableau 7 : Evaluation d'installations existantes (Liste non-exhaustive)²⁶

Sur la base du tableau 7 et sur les visites du centre scolaire, les rendements des installations sont les suivantes :

| Type d'installation | $\eta_{production}$ | $\eta_{distribution}$ | $\eta_{émission}$ | $\eta_{régulation}$ | η_{global} |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Chaudière à gaz (#1) : | 90 % | 90 % | 95% | 90 % | 65 % |
| Chaudière à mazout (#2) : | 85 % | | | | 62 % |

Tableau 8 : Estimation des rendements d'installations

Malgré le fait que les pertes soient importantes tant sur les éléments de production de chaleur que sur le système de transport et de régulation de l'eau de chauffe, les rendements pour chaque chaudière sont respectivement définis à 90% et 85%, car le bâtiment sert d'accumulateur de chaleur et récupère celle perdue par les éléments de transports et de régulations.

²⁶ Le système de chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (présentation), François LECLERCQ et Thomas LECLERCQ, MATRIciel sa, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement (IBGE)

5.9.4 Eclairage

Les différentes sources d'éclairage dépendent de l'emplacement dans le bâtiment et des rénovations effectuées. Ci-dessous, divers éclairages sont présentés :

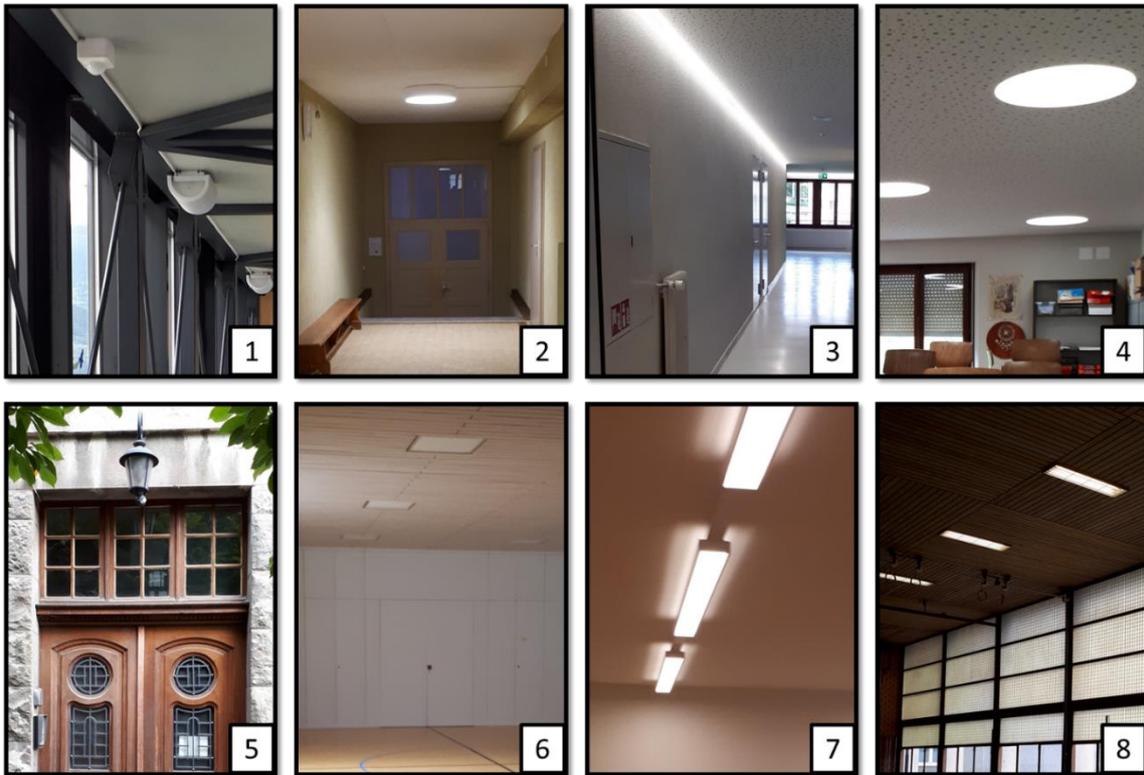


Image 6 : Sources d'éclairage sur le site*

* 1 : liaison, bâtiment B-D (niveau 3) / 2 : couloir devant salle de rythmique, bâtiment B (niveau 0) / 3 : couloir rénové, bâtiment B (niveau 3) / 4 : salle de classe rénové, bâtiment B (niveau 3) / 5 : entrée côté nord, bâtiment A (niveau 0) / 6 : salle de rythmique, bâtiment B (niveau 0), 7 : salle de classe, bâtiment C (niveau 1) / 8 : salle de gymnastique, bâtiment D (niveau 0)

La variété des éléments d'éclairages ne permet pas de cibler les éléments énergivores sans évaluation complète. De plus, la consommation des installations d'éclairage ne peut être déterminée à l'aide de l'approvisionnement en électricité du site car ce dernier comprend également les appareils électroniques divers. Une harmonisation des éclairages existant et un remplacement des éclairages anciens seraient envisageable à condition que le confort des usagers n'en soit pas altéré.

Les puissances affiliées pour chaque éclairage est indisponible. Une estimation globale a été réalisée au point 7.2.4 ; les apports thermiques dues aux installations électriques sont estimés à 2 W/m² rapporté à la SRE.

5.9.5 Ventilations

Actuellement, aucun système de ventilation n'est présent sur le site de Gravelone pour les bâtiments A, B, C et D à l'exception du système de ventilation monobloc servant à l'aération de la piscine couverte. L'aération est délivrée par un modèle SWP 6.8 de chez 7Air.²⁷ Le monobloc de ventilation est composé d'une batterie de chauffe au gaz dont la consommation énergétique n'est pas définie. Installée en 2012, il n'est pas pertinent de remplacer ce système dans l'immédiat.

²⁷ 7AIR (site internet officiel) : <https://www.seven-air.com/fr/produits/ecopool/ecopool-swp.html>
 (dernière consultation le 13.07.18)

5.10 APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE

Le bâtiment consomme à la fois de l'énergie de chauffage pour le confort des usagers et pour l'eau chaude sanitaire, ainsi que de l'énergie électrique pour l'éclairage et les appareils divers (électroménagers, ordinateurs).

Les consommations brutes sont étudiées sur la période 2014 à 2017. Elles sont relevées par Energie-Sion Région (ESR) et retournées sous format informatique par M. Ludovic Roussin, consultant chez ESR. Au total, les données d'électricité, d'eau, de gaz et de mazout du site ont été récupérées. Les données bimestrielles des consommations et des frais affiliés sont visibles en annexe. **[annexe 5]**

5.10.1 Electricité

Deux compteurs distincts récupèrent les consommations d'électricité du site. Le compteur n°600434 retourne les données bimestrielles sur la période en fonction des heures pleines (HP) et heures creuses (HC). La tarification est assurée par ESR et modifiée d'année en année, il s'agit de la solution la plus avantageuse car la moins onéreuse.

Par ailleurs, la consommation d'électricité pour les appartements du concierge, situés dans les combles du complexe, sont obtenues à l'aide d'un second compteur n°81856. A noter ici que les périodes de consommations correspondent à une année de mars – février. L'année 2017 ne comprend pas le mois de février car les locaux ne sont plus affectés par le concierge actuel.

5.10.2 Eau

Deux compteurs volumétriques de l'eau consommée sont présents. Ils sont dissociés selon leur désignation attribuée par ESR. Les données sont, à nouveau, relevées par bimestre en débutant au mois de janvier. Le premier compteur correspond, selon les désignations ESR, à l'ensemble des bâtiments A, B et D du complexe. Le deuxième correspond à la notation « NO 1240 ».

En totalisant les données d'eau, la part du premier compteur d'abréviation « BlocABD » correspond à 93% de la consommation finale. Elle est donc prépondérante sur le site.

5.10.3 Gaz

Les consommations de gaz concernent uniquement les bâtiments A, B et D ainsi que la source de ventilation du bâtiment E, selon l'ancien concierge du site M. Raphaël Délèze.

Le bilan énergétique montre que le gaz est la source énergétique principale sur le site de Gravelone.

5.10.4 Mazout

Les consommations de mazout sont estimées par ESR pour les années 2014, 2015 et 2016. Elles ont pu être relevée pour la période du 20 février 2017 au 15 janvier 2018. Pour compléter l'année de mesure, ont été ajouté à ce résultat, 75% des valeurs relevées du 1 janvier 2017 au 19 février 2017.

La quantité totale de mazout consommée pour l'année 2017 est alors estimée à 34'200 L et correspond, en appliquant son équivalence calorifique, à près de 342'000 kWh énergétique. Ce résultat est sensiblement plus élevé que les précédentes estimations de près de 70%. Ne pouvant effectuer une moyenne sur trois ans, justifiant des variations annuelles attendues, il a été choisi de se référer uniquement à cette dernière année pour le remplacement de la chaudière à mazout.

Pour parvenir à une meilleure estimation de la quantité de mazout consommée, il est préférable d'effectuer une moyenne sur trois années complètes.

5.11 RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION

A l'aide des conditions normales d'utilisation par catégories d'ouvrages de la norme SIA 380/1 :2009, la répartition de la consommation énergétique est permise. Le calcul mentionné ci-dessous se rapporte aux surfaces de références énergétiques, estimées pour les catégories des installations sportives (salle de sport) et de la piscine couverte à l'aide des données surfaciques des bâtiments. **[annexe 3]**

$$Besoin_{ECS} \left[\frac{MJ}{m^2} \right] = c_{eau} \left[\frac{MJ}{m^3 K} \right] \times V_{eau} [m^3] / SRE [m^2] , \text{ avec } c_{eau} = 4.18 \left[\frac{MJ}{m^3 K} \right]$$

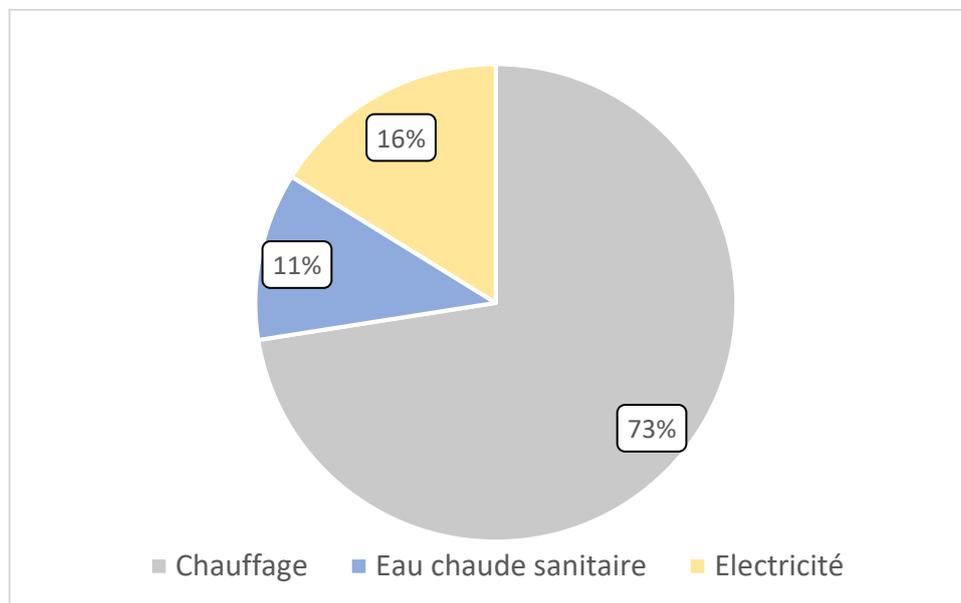
| Installations sportives | | Piscine couverte | | Ecole | |
|--|----------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|
| SRE [m2] | Chaleur pour l'ECS [MJ/m2] | SRE [m2] | Chaleur pour l'ECS [MJ/m2] | SRE [m2] | Chaleur pour l'ECS [MJ/m2] |
| 430 | 300 | 402 | 300 | 9709 | 25 |
| 129 000 MJ | | 121 000 MJ | | 243 000 MJ | |
| Volume ECS requis : 1 055 m ³ | | Volume ECS requis : 525 m ³ | | Volume ECS requis : 560 m ³ | |

Tableau 9 : Estimation de la part ECS

A noter que les besoins en ECS pour les locaux du concierge sont négligés ; en effet, la part d'eau propre aux locaux, rapportée à la surface totale du bâtiment, ne dépasse pas 3%.

Les résultats montrent que l'énergie totale pour la partie ECS correspond à 137 MWh pour un volume d'eau correspondant de 2140 m³.

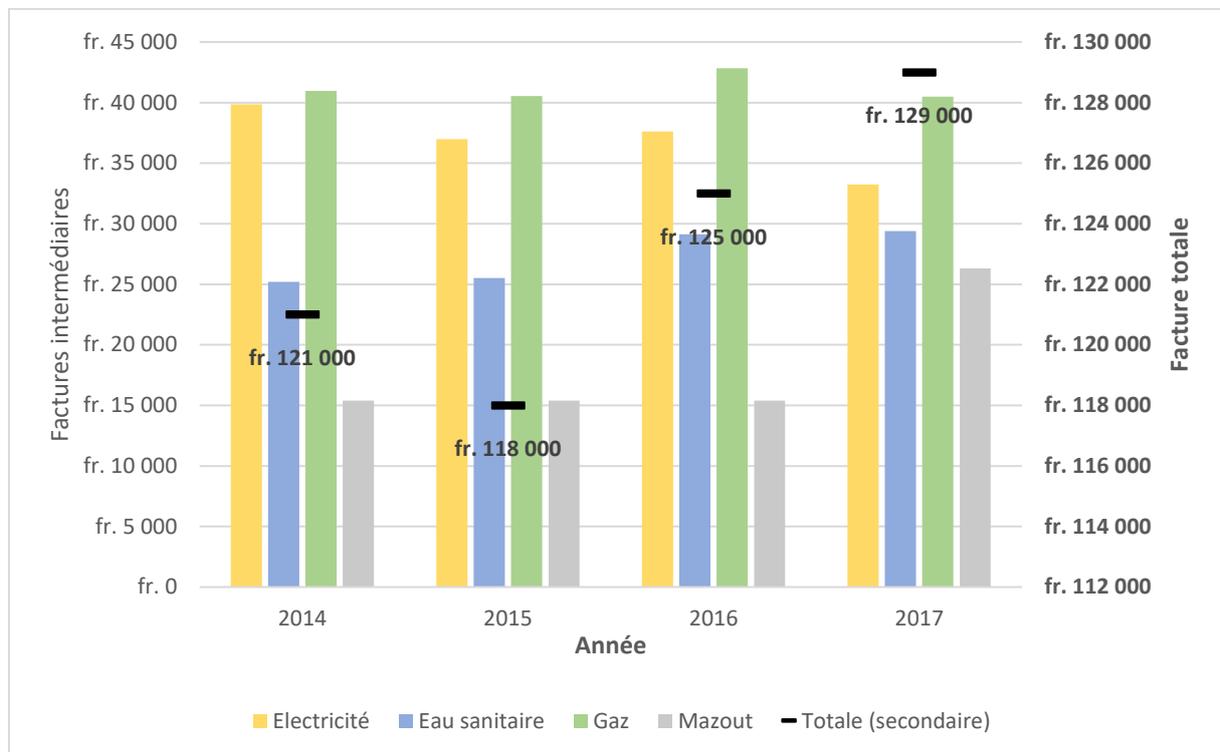
Pour finir, la répartition des consommations énergétiques du site montre que, comme attendu, la part prépondérante concerne le chauffage des locaux. La part de l'ECS, fournie par les chaudières à gaz et à mazout s'élève à 11% contre 16% pour l'apport électrique total du site.



Graphique 1 : Répartition de la consommation en chaleur

5.12 FRAIS D'APPROVISIONNEMENT

Les factures affiliées aux sources de consommation du site peuvent être comparées sur la période 2014 à 2017.



Graphique 2 : Frais intermédiaires et totaux pour la période

La facture concernant le mazout induit une modification non-négligeable sur les totaux annuels. S'agissant d'estimations pour les années précédentes, elles sont sous-évaluées par rapport aux mesures effectuées pour l'année 2017. L'année de référence concernant la facture énergétique du complexe est sans équivoque la dernière année, là où les consommations de mazout sont mesurées.

A l'aide des informations précédentes, l'état du bâtiment et des flux des ressources énergétiques peut être réalisé. **[annexe 6]**

5.13 ETAT DES FLUX DES BÂTIMENTS

L'évaluation des enveloppes propres à chaque bâtiment a été réalisée par le bureau d'architectes mbd sa en employant la méthode EPIQR+ (voir chapitre suivant). Ici, seul sera présenté les résultats issus de ces analyses accompagnées de quelques illustrations principales prises sur le site datant de juin 2018. **[annexe 17]**

6 DIAGNOSTIC ÉNERGÉTIQUE EPIQR

6.1 MÉTHODE DE DIAGNOSTIC

Dans le cadre de recherche européen sur l'évaluation énergétique des bâtiments, un logiciel de traitement de l'information technique et financière émettant un diagnostic complet de l'état des infrastructures est créé et s'intitule EPIQR (Energy Performance, Indoor environmental Quality and Retrofit).²⁸ Il permet à la fois de déterminer la qualité de l'enveloppe et de proposer des rénovations et travaux d'amélioration, complétés d'estimations financières.

Un diagnostic de l'état architectural du complexe de Gravelone a été réalisé préalablement à l'aide de l'outil EPIQR+, outil issu du précédent logiciel mais adapté pour les établissements scolaires et administratifs, sur demande de la ville de Sion, en 2012. Les éléments principaux de cette étude seront exposés et traités ci-dessous, en respectant la propriété de l'auteur. A noter que la différence de date entre l'audit énergétique réalisé sur l'enveloppe du bâtiment et l'historique précédemment explorés montre que les rénovations effectuées sur le bâtiment B découlent directement de cette analyse EPIQR+.

6.2 GÉNÉRALITÉS SUR EPQIR

L'outil d'aide à la décision EPIQR se base sur l'évaluation de l'état physique et fonctionnel d'un bâtiment. L'évaluation est effectuée sur des macroéléments séparément. Ces éléments sont ensuite séparés en différents types de composants. A leur tour, ces types sont segmentés selon leur proportion sur le macroélément. Dans certains cas, la proportion des types peut dépasser 100% comme, par exemple, lorsque des éléments d'ombrage (stores, rideaux) se retrouvent sous deux types différents avec, en plus une protection solaire intérieur. Les types et macroéléments sont déterminé à l'aide d'un codage spécifique.

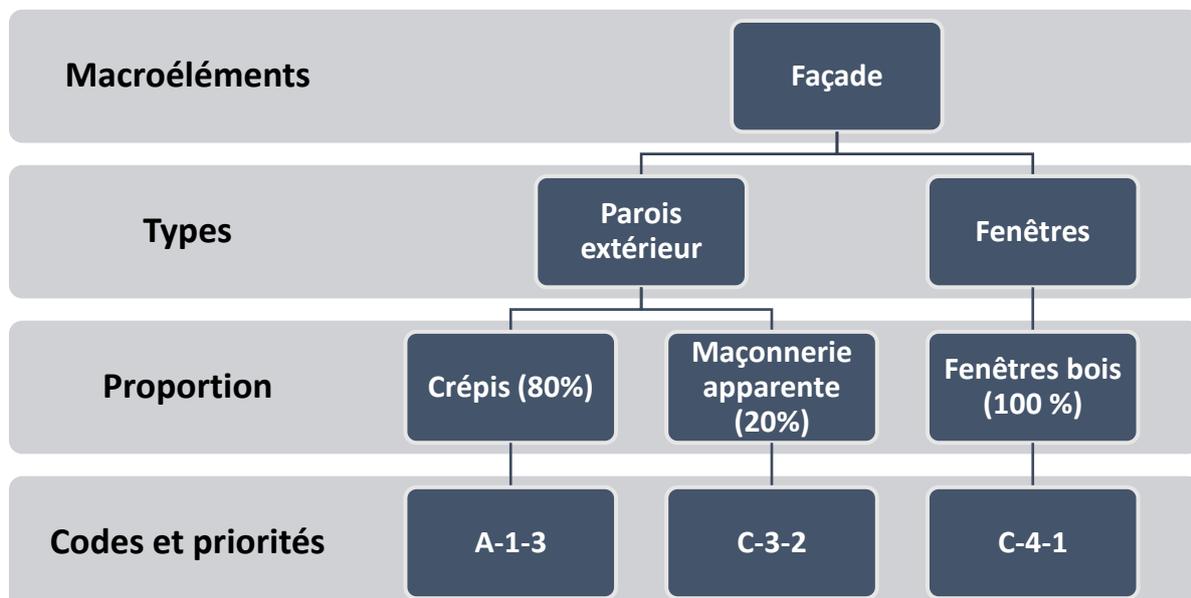


Figure 10 : Exemple de segmentation des éléments - étude EPIQR

²⁸ EPIQR Rénovation Sàrl, Expertises & Architecture (site internet) <https://www.epiqr.ch/> (dernière consultation : 16.07.2018)

La détermination de l'état de chaque élément est effectuée à l'aide de deux critères. Le code de dégradation détermine l'état physique ou fonctionnel. En parallèle, le code de travaux détermine le niveau d'action qui devra être entrepris pour remédier à la dégradation.

| Code de dégradation | | Code de travaux | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|
| a | Dégradation légère | 1 | Travaux superflus |
| b | Faible dégradation | 2 | Réfections légères |
| c | Dégradation importante | 3 | Réfections importants |
| d | Destruction partielle ou totale | 4 | Réfections complètes |

Tableau 10 : Codes pour la méthode EPIQR

Un **niveau de priorité** peut être déterminé suivant un barème en trois points :

- I. Intervention urgente ; à réaliser dans les 5 prochaines années
- II. Intervention nécessaire dans les 5 à 10 années suivantes
- III. Intervention pouvant être reporté à plus de 10 ans



Graphique 3 : Exemple de segmentation EPIQR

La segmentation est la suivante : niveau 1 = macroéléments / niveau 2 = Type / niveau 3 = code de dégradation / niveau 4 = code de travaux et priorité

L'étude et les points principaux réalisés pour les bâtiments A, B, C, D et E sont regroupés dans les points suivants. Les segmentations des bâtiments sont fournies en annexe. **[annexe 7]**

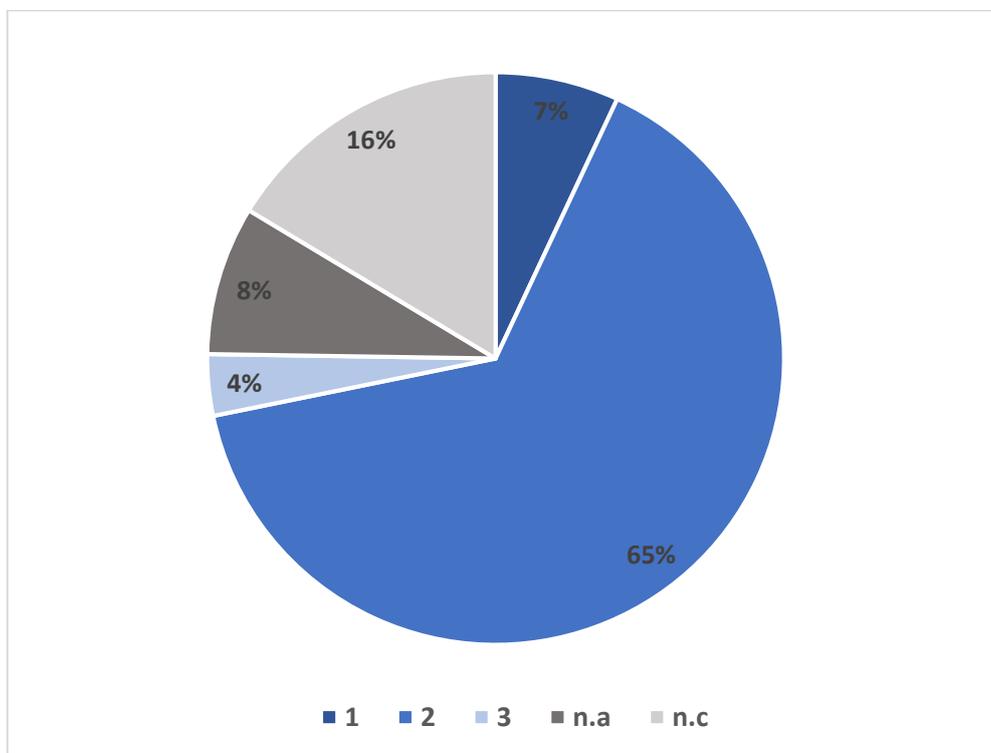
6.3 SYNTHÈSE DES DONNÉES

6.3.1 Mesures traitées

Le diagnostic EPIQR apporte des indications de priorité sur les interventions à effectuer. Tous les éléments d'enveloppe recensés par le bureau d'ingénieur sigma ingénierie & maintenance (SIM) sont intégrés à cette analyse.

Lorsque la mention « sans intervention » est citée ou lorsque le chapitre énergétique n'apporte pas les indications suffisantes, l'abréviation non applicable (n.a) est de vigueur. En parallèle, lorsque la poursuite des travaux n'a pas été comptabilisée lors du diagnostic ou que le « chapitre feu » est manquant, l'abréviation non-comptabilisée est utilisée (n.c).

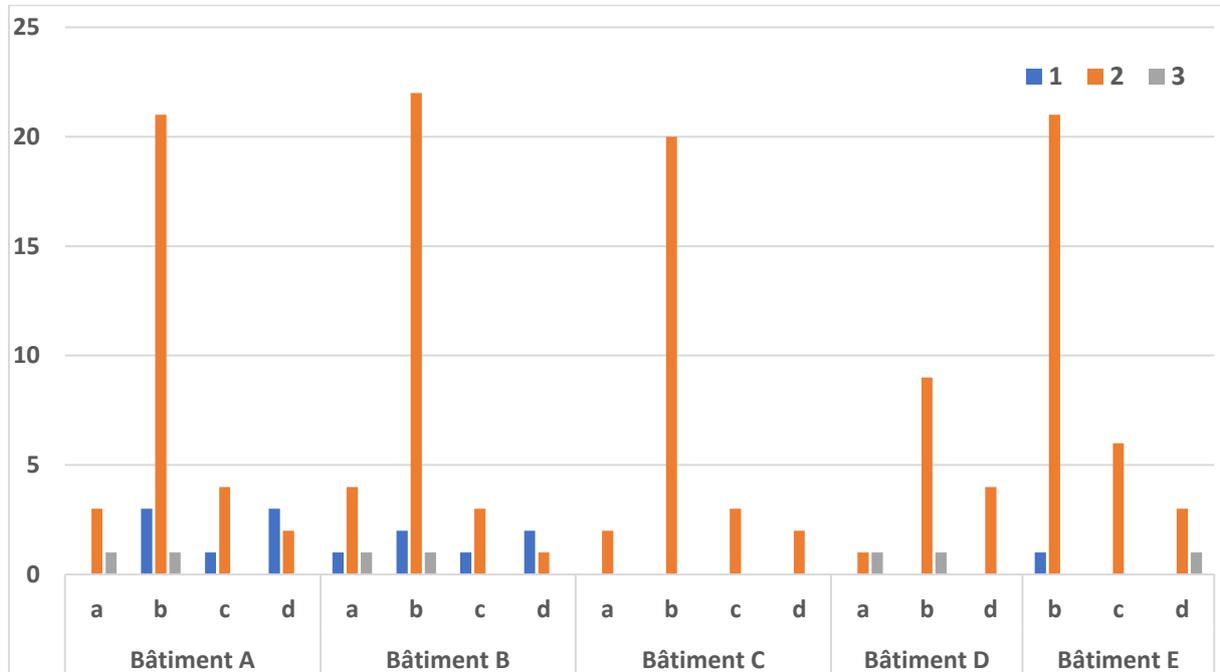
Au total, plus de 75% des données ont été évaluées pour l'ensemble du complexe et permet d'évaluer convenablement l'importance et la criticité des travaux de rénovation.



Graphique 4 : Niveaux de priorité pour l'ensemble des éléments de Gravelone

6.3.2 Priorité selon le bâtiment

Le niveau de priorité peut être classé en fonction du bâtiment et du degré de dégradation, tous éléments confondus. Le bâtiment A et le bâtiment B comportent la majorité des éléments architecturaux à rénover dans les 5 prochaines années. L'ensemble des éléments étudiés devront être rénovés dans les 5 à 10 années suivantes. Etant donné que la dégradation globale du site est classée faible (code de dégradation b), ce sont ces éléments qui, globalement, devront être rénovés.



Graphique 5 : Classe de priorité (1 à 3 respectivement I à III) selon le bâtiment et le niveau de dégradation

La classe de priorité selon les bâtiments est la suivante avec l'établissement d'une sous-priorité pour chaque catégorie, si nécessaire :

Ordre de priorité (1) selon les diagnostics énergétiques :

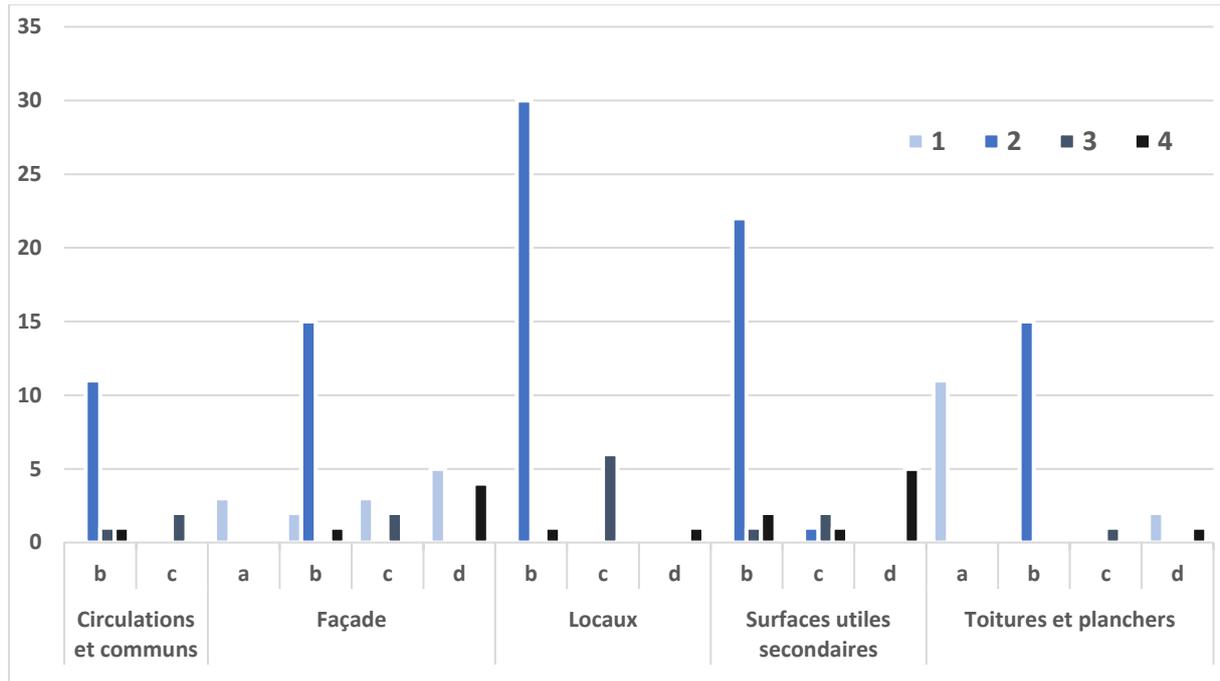
Priorité I : Travaux complets sur les bâtiments A et B sans justificatif de priorité avec accent sur les éléments fortement dégradés

Priorité II : Travaux importants sur les bâtiments C, D et E sans justificatif de priorité et sans justificatif de sous-priorité selon l'état de dégradation sous-jacent

Priorité III : n.a

6.3.3 Priorité selon le macroélément

En parallèle, en établissant le classement des codes de travaux en fonction du macroélément et du code de dégradation, un niveau de priorité peut être établi et visualisé à l'aide du graphique 5. D'une manière générale, les travaux superflus concernent principalement la toiture alors que les travaux légers, majoritaires sur le complexe de Gravelone, portent sur un état de dégradation minimale et touchent l'ensemble des macroéléments définis. Concernant les travaux conséquents (c et d), il semble primordial de rénover les façades, les surfaces utiles secondaires et les locaux. A noter que certains éléments des circulations et communs (couloirs, accès, connexions entre bâtiments, etc.) ainsi que des toitures et planchers dont la dégradation est importante nécessiteront une attention toute particulière, pouvant amener à une rénovation ou à un rafraichissement.



Graphique 6 : Code de travaux en fonction des macroéléments et de la dégradation

Un second classement peut être établi en fonction des macro-éléments et des codes de dégradation affiliés :

Ordre de priorité (2) selon les diagnostics énergétiques :

Priorité I : Réfections complètes des façades et éléments de façade et rénovation des surfaces utiles secondaires en priorité sur les éléments de dégradation partielle ou totale

Priorité II : Travaux complets sur les locaux et sur les parties dégradées des parties communes et des toitures et planchers sans priorité sous-jacente

Priorité III : Légères réfections des parties de toitures, planchers et circulations dont la dégradation est superflue sans priorité

7 EVALUATION DES PERTES DE CHALEUR SUR BSOL

7.1 GÉNÉRALITÉS

Le logiciel *bSol PRO*²⁹ permet de simuler l'enveloppe thermique des bâtiments par l'intégration de paramètres principaux. Ces derniers peuvent être séparés en deux groupes : d'une part les éléments constituant le bâtiment, d'autre part les apports thermiques internes, regroupant les productions de chauffage, de climatisation et charges diverses (des occupants et des appareils).

Cet outil peut être illustré à l'aide du bilan de pertes thermiques ci-dessous. Les caractéristiques de l'enveloppe sont déterminées et permettent de calculer les déperditions de chaleurs du bâtiment ainsi que son inertie thermique. En définissant les gains solaires et les gains des charges (appareils et personnes) du bâtiment, le logiciel *bSol* retourne les besoins nets et les gains utiles du bâtiment rapportés sur une année type. Des variations sont admises si les conditions initiales types changent. A noter que, sur la figure 10, les flux énergétiques ne sont pas à l'échelle pour faciliter la lecture.

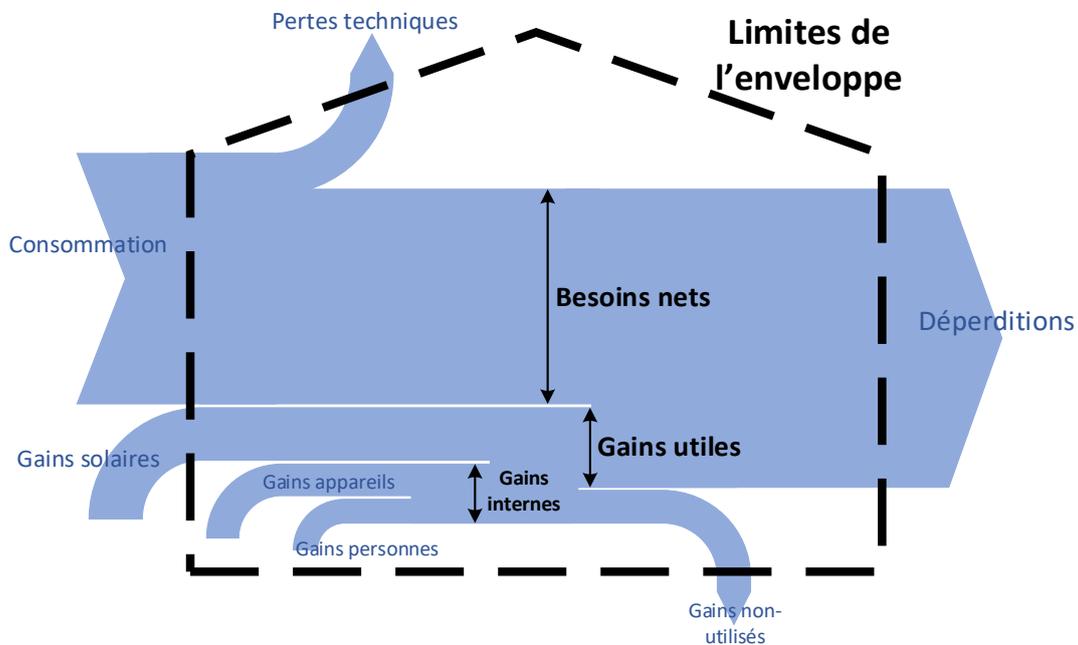


Figure 11 : Bilan des pertes et gains thermiques³⁰

Les bâtiments du complexe de Gravelone sont étudiés séparément, à la fois pour comparer les résultats des audits énergétiques effectués par le bureau SIM ainsi que pour déterminer l'influence et le gain potentiel sur le remplacement d'un élément d'enveloppe. Les transferts de chaleur au niveau des transitions entre les bâtiments sont omis. Dans la pratique, un bâtiment chauffe ses voisins et inversement.

Deux modes distincts sont testés et comparés ; le mode *bSol* qui apporte les indications générales et la dynamique du bâtiment ainsi que le mode SIA 380/1 qui permet, par la normalisation de certaines valeurs, de s'accorder en vue de l'obtention de certifications.

²⁹ *bSol PRO* version 4.1.14, HES-SO Valais-Wallis, certification EnDK n°0912 pour calculs SIA 380/1 (version 2009)

³⁰ Etude thermique dynamique, Simuler le comportement thermique d'un bâtiment, APRIME Bureau d'étude (site internet) : <http://www.aprime.net/prestations-energie/la-simulation-de-projets/etude-thermique-dynamique> (Dernière consultation : 13.07.18)

7.2 MÉTHODOLOGIE

L'évaluation du bilan thermique d'une bâtisse à l'aide de *bSol* nécessite l'introduction des caractéristiques principales du bâtiment, des paramètres de l'enveloppe et des valeurs issues de l'exploitations.

7.2.1 Enveloppe et façades

L'orientation du bâtiment, les dimensions (longueur, largeur et surface) des façades et des sols sont estimées à l'aide des plans d'architecte et des calculs de surfaces effectués par mbd sa. En parallèle, des profils d'éléments de façades (fenêtres, portes, caissons de stores) ont été réalisés et introduits au modèle pour faciliter l'optimisation des grandeurs physiques. Ces valeurs ont été soit estimées soit récupérées des diagnostics effectués préalablement par SIM. **[annexe 8]**

7.2.2 Masses thermiques

L'inertie thermique est apportée par les masses du bâtiment. Elles permettent à la fois d'emmagasiner la chaleur issue des différents apports internes et externes mais aussi de la restituer après un laps de temps plus ou moins long. Les masses principales, comportant les façades et les dalles de chaque étage, ont été définies.

7.2.3 Ponts thermiques

Les ponts thermiques sur les éléments de façades et sur l'architecture ont été omis car leur coefficient de transmission thermiques était inconnu. Les déperditions thermiques calculées dans l'outil *bSol* seront ainsi sous-évaluées.

7.2.4 Données relatives à l'usage

En supposant le dégagement de chaleur d'une personne dans une école correspondant à la norme SIA 380/1 : 2009 correspondants à 70 W, les apports thermiques par les personnes peuvent être établis en fonction du nombre d'occupant par bâtiment (tableau 3). En parallèle, les apports dus à l'éclairage sont évalués à 2 W/m², (valeur minimale des salles d'école selon SIA 380/1) en se référant à la SRE du bâtiment correspondant.

| Bâtiments | A | B | C | D | E |
|---------------------------------|------|------|------|-----|------|
| SRE [m2] | 2361 | 2646 | 3963 | 430 | 1531 |
| Charges Personnes [W/m2] | 3.5 | 4.1 | 3.6 | 1.8 | 4.0 |
| Charges Appareils [W/m2] | 2 | | | | |

Tableau 11 : Estimation des Charges internes

La variation hebdomadaire est la suivante, en appliquant les facteurs correspondants aux valeurs de charges maximales estimées précédemment :

| | Lu-Ven | Mer | Sa - Di | Vacances scolaires |
|--------------------------|--------|-----|---------|--------------------------------------|
| Facteur personnes | 1 | 0.5 | 0 | Utilisateurs particuliers uniquement |
| Facteur appareils | | | | 1 |

Tableau 12 : Facteurs de pondération sur les charges internes

7.2.5 Données relatives à la localisation

Les données météorologiques et l'horizon lointain (arbres et bâtiments voisins non compris) sont introduits à l'aide des bases de données *bSol* et de l'outil Suntag.³¹

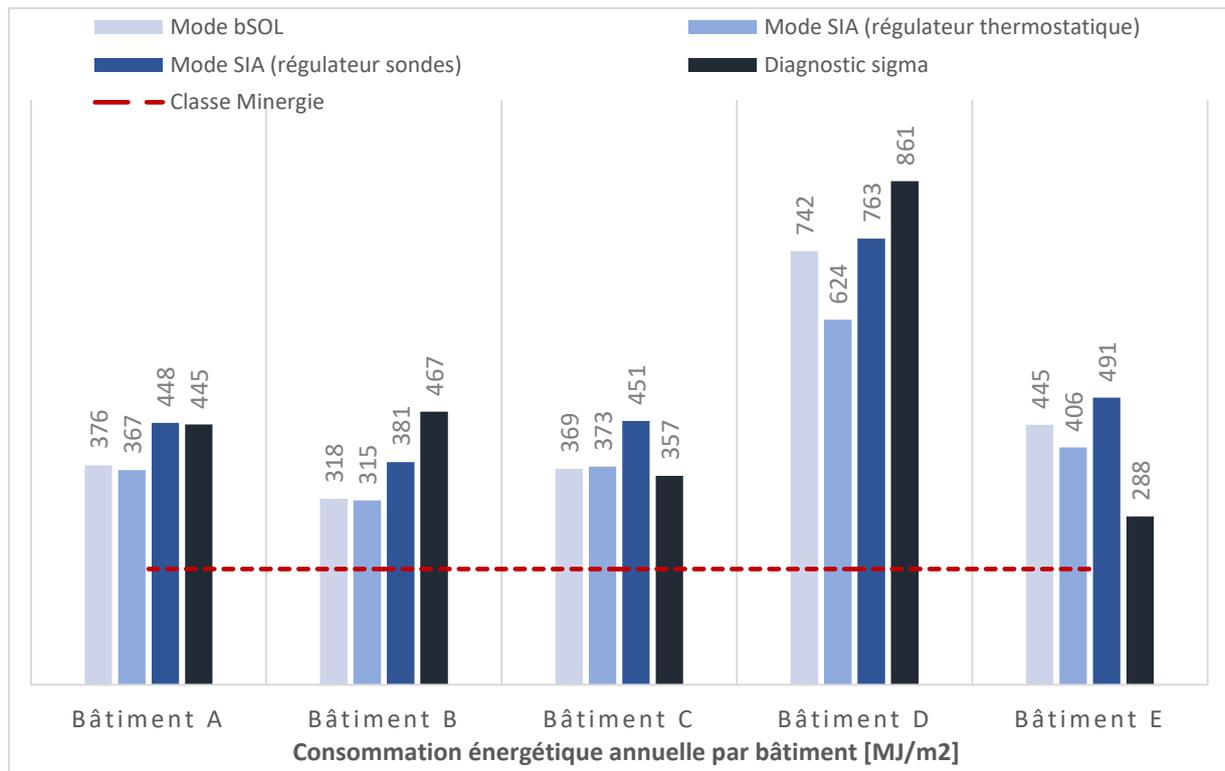
³¹ Suntag© 2011, www.suntag.ch (dernière consultation le 27.06.2018)

7.3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Ci-dessous, sont présentés les résultats de déperditions thermiques à l'aide de *bSol* selon différentes méthodes :

- **Mode bSol** : Evaluation de la dynamique des pertes thermiques, non valable pour la certification SIA 380/1
- **Mode SIA (x2)** : En vue de l'attribution de certificat selon les directives SIA, avec une régulation thermostatique de la température (vannes thermostatiques, $\Delta 0^{\circ}\text{C}$), puis avec une régulation de sondes (température extérieure et de sortie du chauffage, $\Delta 2^{\circ}\text{C}$)

Le tout est comparé à la valeur limite de consommation énergétique par rapport à la surface, selon les normes Minergie, qui correspond à 55 kWh/m² soit 198 MJ/m² (pour les rénovations de catégorie IV (école) pondérées pour le chauffage, la ventilation, la climatisation et la partie sanitaire (CVCS)).



Graphique 7 : Résultats de déperditions thermiques - *bSol*

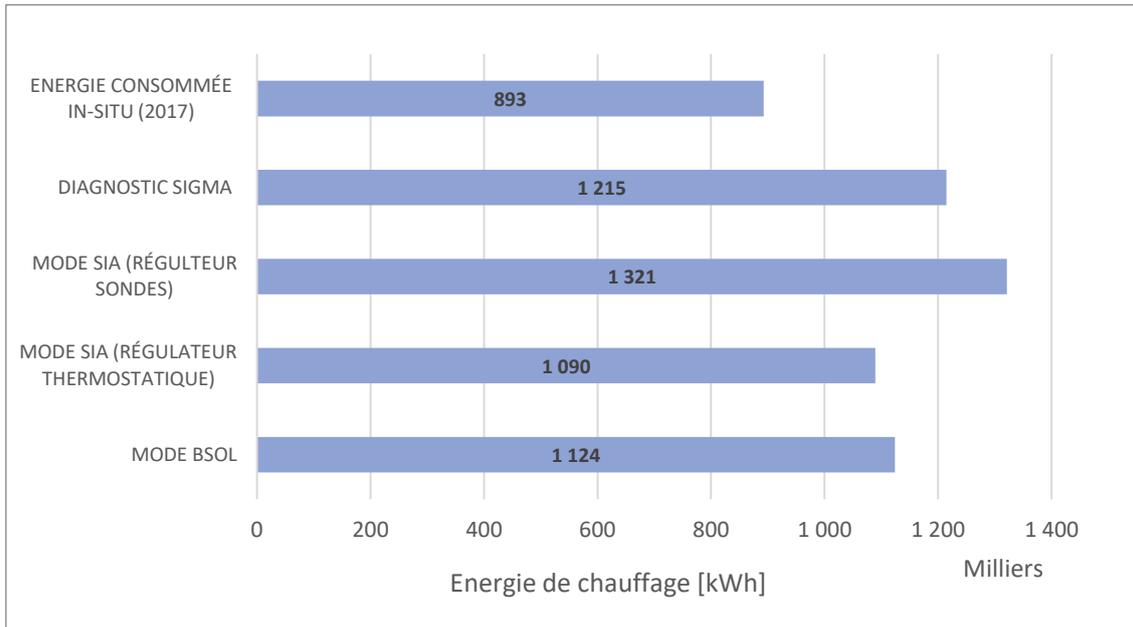
D'une manière générale, les résultats du mode *bSol* correspondent à ceux issus du mode SIA 380/1 avec quelques variations notables. Lors du changement de mode, certains paramètres doivent être adaptés comme l'orientation dans le plan des bâtiments ou les profondeurs de terrains pour les éléments aux sols et induisent des modifications sur les résultats.

En modifiant la régulation du système de chauffage, une augmentation de près de 20% de la consommation de chauffage est induite. L'importance d'introduire une régulation de chauffage par sondes thermostatiques n'est plus à discuter.

Cependant, en comparant les résultats aux diagnostics du bureau SIM, des variations non négligeables sont constatées. Il s'agit ici à la fois de légères imprécisions du modèle et des paramètres initiaux mais aussi des gains utiles qui ont, semble-il, été omis dans le modèle du bureau SIM.

Les évaluations qui découlent de ces résultats sont basés sur le mode *bSol* réalisé.

En parallèle, les déperditions thermiques sont comparées à l'énergie de chauffage consommée sur le site.



Graphique 8 : Consommation et déperdition selon les blocs scolaires

L'évaluation des déperditions thermiques montre que, pour chaque diagnostic réalisé, les déperditions thermiques sont plus importantes que la consommation directe de mazout et de gaz. Cette différence est flagrante pour le diagnostic sigma et pour le mode SIA avec régulateur par sonde. D'une manière générale, une surélévation des pertes thermiques est constatée et résulte à la fois d'imprécisions sur les coefficients d'isolation des matériaux de l'enveloppe (valeur U) mais aussi du fait que le chauffage du bâtiment est probablement mal régulé et n'apporte pas un chauffage adéquat des locaux ; les sensations de chaud et de froid du bâtiment sont une réalité.

| | façades U | toiture U | plancher (et radier) | vitrages U | aération | surface des fenêtres |
|-------------------|-----------|-----------|----------------------|------------|----------|----------------------|
| Bâtiment A | 1 | 2 | 3 | 6 | 5 | 4 |
| Bâtiment B | 2 | 5 | 1 | 3 | 4 | 6 |
| Bâtiment C | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 6 |
| Bâtiment D | 3 | 2 | 1 | 4 | 5 | 6 |
| Bâtiment E | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 |

Tableau 13 : Ordre de priorité des éléments perfectibles

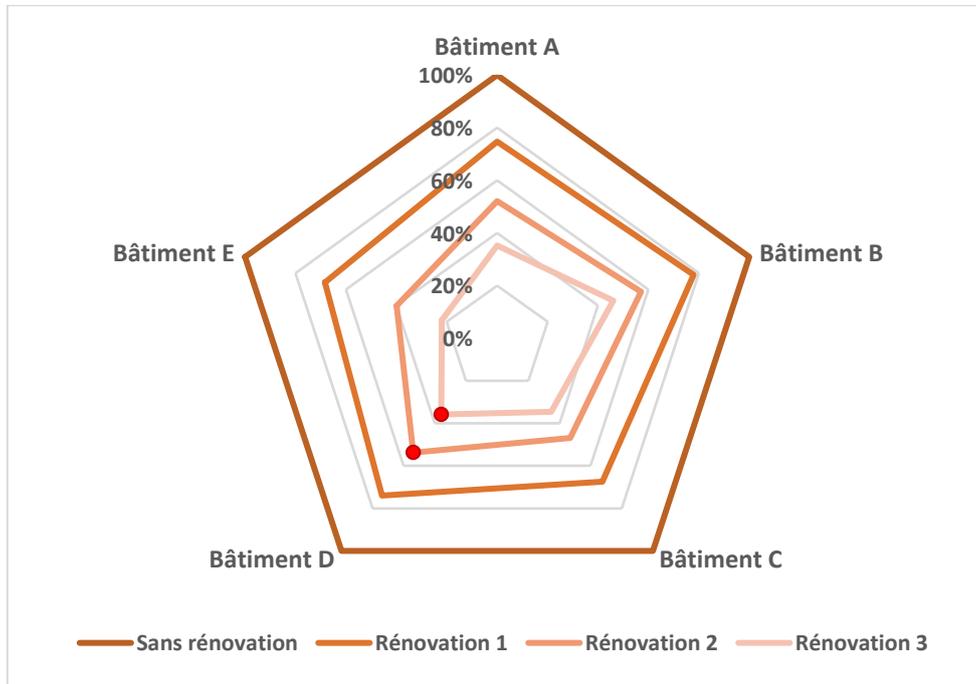
Les façades, les toitures des bâtiments ainsi que les planchers sont les pièces de l'enveloppe qui doivent être corrigées. Les pertes thermiques par aération, celles dues aux surfaces des fenêtres et aux vitrages (sauf bâtiment B) ne sont pas prioritaires.

Un ordre de priorité énergétique des éléments à restaurer peut-être obtenu à l'aide du tableau précédent :

Ordre de priorité énergétique :

Façades > Plancher > Toiture > Vitrages (valeur U) > Aération > Surfaces des fenêtres

L'amélioration des éléments induit une diminution notable sur la consommation énergétique annuelle. Ci-dessous sont regroupés les gains, en pourcentage, en fonction des rénovations des trois principaux éléments perfectibles selon le tableau s'y référant (tableau 13).



Graphique 9 : Diminution de la consommation énergétique après 1, 2 et 3 rénovations

Les gains énergétiques sur la rénovation sont notables quel que soit le bâtiment et le type de rénovation. Dès la première réfection, les pertes chutent d'au minimum 20% pour tous les bâtiments. La diminution minimale correspond à 54% (bâtiment B) jusqu'à près de 78% (bâtiment E) par rapport aux pertes thermiques sans rénovation.

A noter que des risques de surchauffes sont constatés pour le bâtiment D après la deuxième rénovation. Il s'agit d'un cas isolé mais qui ne doit pas être pris à la légère.

Cependant, effectuer ces corrections induit des coûts élevés selon la catégorie d'ouvrage et risque de ne pas être rentable pour le propriétaire. De plus, il est question ici de modification des valeurs U selon les diagnostics sur éléments réalisés par SIM et prennent en compte la réflexion de composants difficilement accessible, comme la diminution des pertes par le radier (base de repos du bâtiment, comprise dans le « plancher »).

8 EVALUATION ÉCONOMIQUE

8.1 EVALUATION DES COÛTS DE RÉFECTION ET DE RÉNOVATION

A l'aide des valeurs référentielles moyennes datant d'avril 2018, reçues par l'office fédéral des statistiques (OFS) concernant divers éléments de la construction, les estimations sommaires des prix et investissements nécessaires à la rénovation peuvent être déterminés à l'aide de l'outil ECC-Bât. Pour chaque élément de bâtisse, il retourne un prix référentiel, rapporté à la surface de l'éléments ou de la SP.

| <i>Estimations des coûts à l'aide de ECC-Bât</i> | | | |
|---|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Eléments</i> | <i>Surface [m2]</i> | <i>Valeur référentielle [CHF/m2]</i> | <i>Coûts (arrondis) [CHF]</i> |
| B - Travaux préparatoires | | | |
| <i>Echafaudage de façades</i> | 5865 | 31 | CHF 180 000 |
| E - Revêtements de façades et de murs contre terre | | | |
| <i>Revêtement de façade</i> | 4478 | 129 | CHF 580 000 |
| <i>Fenêtres</i> | 1234 | 912 | CHF 1 130 000 |
| <i>Portes</i> | 21 | 3778 | CHF 80 000 |
| <i>Stores à lamelles (caissons de stores)</i> | 132 | 129 | CHF 20 000 |
| F - Toitures | | | |
| <i>Toiture inclinée</i> | 3368 | 445 | CHF 1 500 000 |
| G - Aménagements intérieurs | | | |
| <i>Revêtements de sol</i> | 11921 | 129 | CHF 1 540 000 |
| Autres (hors ECC-Bât) | | | |
| <i>Plaque alvéolaire</i> | 154 | 85 | CHF 10 000 |
| Etude de projet et honoraires | CHF 5 040 000 | 20.0% | CHF 1 010 000 |
| Provision | CHF 5 040 000 | 10.0% | CHF 500 000 |
| Taxe sur la valeur ajoutée | CHF 6 050 000 | 8.0% | CHF 480 000 |
| Coûts d'investissement | | | CHF 7 030 000 |

Tableau 14 : Estimations des coûts à l'aide de ECC-Bât

Les coûts de construction pour la réfection des bâtiments A, B, C, D et E s'élèvent à 5.0 millions de francs (hors frais d'étude et taxes) alors que les coûts d'investissement totaux correspondent à 8.4 millions de francs. Cette approche reste une estimation sommaire des coûts réels sur le complexe de Gravelone ; elle apporte une indication objective de la faisabilité des démarches de rénovation et concrétise le projet économiquement. Rapporté à la SRE, le prix équivaut à 670 CHF/m²_(SRE).

Selon une étude réalisée dans le canton de Genève³², le coût par type de rénovation pour des bâtiments d'habitations collectives s'élève en moyenne à 877 CHF/m²_(SRE). Il correspond selon le type de rénovation a :

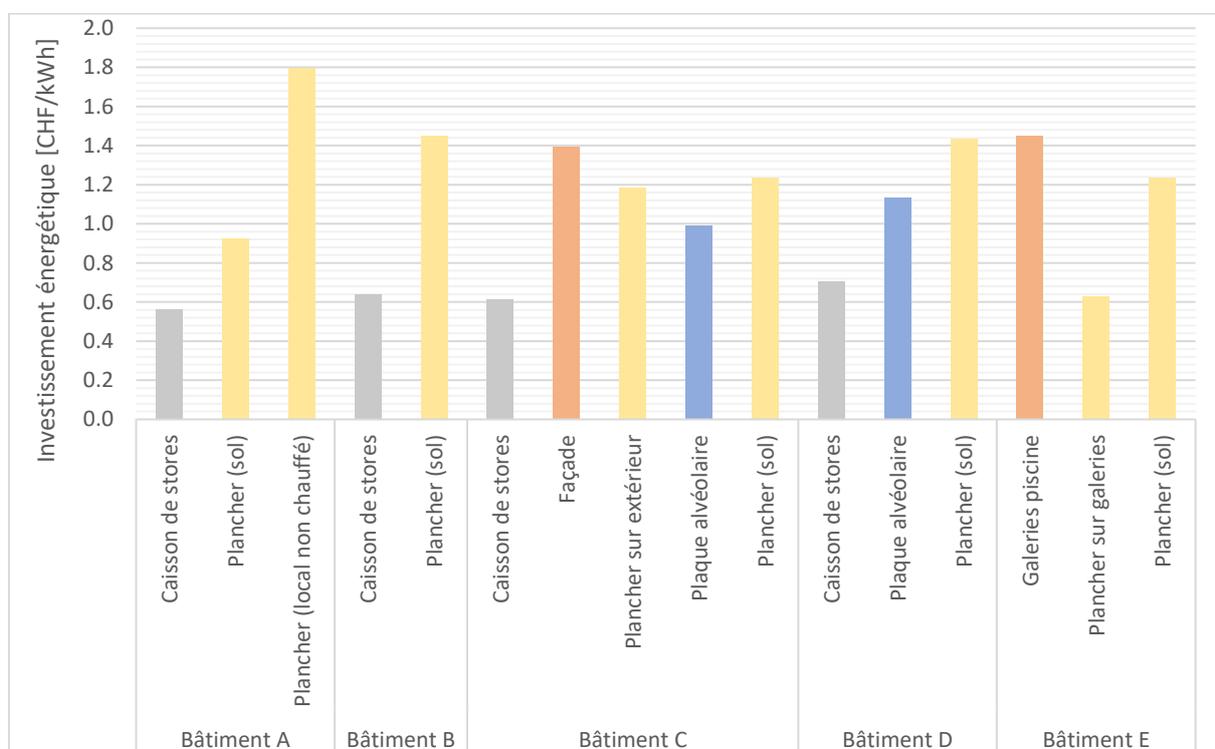
- 240 CHF/m² pour les travaux de réfection uniquement
- 700 CHF/m² pour les rénovations partielles
- 1330 CHF/m² pour les rénovations complètes

³² COMPARE RENOVE : du catalogue de solutions à la performance réelle des rénovations énergétiques, KHOURY, Jad, et al. & OFEN (p.14), 22janvier 2018

L'étude ajoute que, en moyenne, la moitié du coût moyen porte sur les façades, les toitures et les installations techniques. Les opérations effectuées, dépendant de la nature de l'objet et des travaux, de la difficulté de réalisation des tâches de rénovations, des prix des entreprises, etc., apportent néanmoins une approximation du type de rénovation suggérées ; la correspondance montre que les coûts d'investissement correspondent à une rénovation moyenne et que dans le cas d'une réflexion partielle, le prix serait approximativement de 2.5 millions de CHF contre plus de 14 millions pour une rénovation complète de l'enveloppe et des équipements intérieurs, luminaires, sanitaires, etc.

8.2 PRIORISATION ÉCONOMIQUE

A l'aide des gains énergétiques sur la réflexion de l'élément, un investissement énergétique, donné en CHF/m² peut être apporté. Par la suite, en connaissant le prix énergétique de la source, supposé constant et équivalent à 10 ct/kWh, un calcul sommaire de l'amortissement sur l'élément est effectué. Ci-dessous sont représentés graphiquement les investissements énergétiques minimaux, fixés selon des durées d'amortissements inférieures à 20 ans. [annexe 9]



Graphique 10 : Investissement énergétique selon l'élément et le bâtiment

Il s'avère que les éléments qui apportent à la fois une amélioration notable sur les déperditions tout en restant rentable pour le propriétaire concernent principalement les faces aux sols (en jaune), l'isolation des caissons de stores (en gris) et les panneaux alvéolaires des bâtiments C et D (en bleu). S'ajoutent à ces éléments, certaines façades dont le potentiel d'amélioration est important.

Ces résultats permettent d'apporter une indication sur les ordres de priorités économiques sur les rénovations, comme effectué précédemment :

Ordre de priorités économique :

Façades (caissons) > Façades (plaque alvéolaire) > Plancher > Façades > Toiture > Vitrages

A noter qu'il serait inintéressant de travailler sur l'amélioration des surfaces des fenêtres et des aérations car la complexité est trop importante.

9 DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE

Le dimensionnement des installations sera réalisé de deux façons ; à l'aide des résultats de l'outil *bSol* ou sur la consommation nette en énergie primaire de gaz et de mazout selon les aides au dimensionnement et méthodes de calculs fournis par SuisseEnergie.^{33, 34, 35}

9.1 DÉTERMINATION SUR LA BASE DES CONSOMMATIONS

La puissance des installations peut être déterminée sur la base des consommations et des rendements hypothétiques des anciennes chaudières et celles de remplacement de deux manières distinctes :

Méthode directe :

$$\Phi_{pc}[kW] = \frac{\text{Consommation [u./an]} \times \text{PCs [kWh/u.]} \times \eta [\%]}{\text{Temps}_{\text{pleine charge}} [h/an]}$$

Méthode comparative :

$$\Phi_{pc}[kW] = \frac{\text{Consommation [u./an]} \times \text{PCs [kWh/u.]} }{\text{Temps}_{\text{pleine charge}} [h/an]} \times \frac{\eta_{\text{ancien}}}{\eta_{\text{nouveau}}} \times \eta_{\text{producteur}}$$

Avec le rendement du producteur de chaleur, selon :

$$\eta_{\text{producteur}} = 0.5 \times (1 + \eta_{\text{nouveau}})$$

Selon les littératures ci-dessus, pour une altitude de 400m, le temps de fonctionnement à pleines charges des chaudières est estimé à 2000 h par année. La puissance peut ainsi être calculée :

| | Mazout | Gaz naturel |
|---|---------------|-----------------------------|
| Heures à pleines charges [h] | 2000 | |
| Consommation annuelle [u./an] | 34 187 [L/an] | 66 640 [m ³ /an] |
| Pouvoir calorifique [kWh/u.] | 10.5 [kWh/L] | 10.1 [kWh/m ³] |
| Nouveau rendement [%] | 90 | 95 |
| Ancien rendement [%] | 85 | 90 |
| Rendement du producteur de chaleur [%] | 95 | 98 |
| Puissance (méthode directe) [kW] | 161.0 | 320.1 |
| Puissance (méthode comparative) [kW] | 161.5 | 329.2 |

Tableau 15 : Données de calculs de dimensionnement des installations

Sur la base des consommations et les nouveaux rendements des chaudières, la puissance à installer est de 481 kW pour la méthode par comparaison et de 491 kW pour la méthode directe. Les estimations fournissent un aperçu sommaire de la puissance de remplacement. Cependant, ce modèle reste limité lorsque les installations ne correspondent pas aux critères (bâtiment scolaire par exemple).

Lorsque le cas s'y prête, lors d'un assainissement par exemple, il est judicieux d'employer la méthode d'évaluation sur la mesure du taux de charge. Ce dernier est prélevé en fonction de la température extérieure sur une période de 2 semaines. Ne pouvant être réalisé manuellement, il est effectué à l'aide de *bSol*.

³³ Dimensionnement des chaudières à mazout et à gaz, SuisseEnergie, OFEN 2000

³⁴ Calcul de la puissance de chauffe (Informations générales), SuisseEnergie, Minergie

³⁵ Détermination de la puissance du générateur de chaleur, SuisseEnergie, Minergie, suissetec (12.2015)

9.2 DÉTERMINATION SUR LA BASE DES PERTES THERMIQUES

L'outil *bSol* délivre la variation horaire des dépenses énergétiques pour chaque bâtiment. Une fois les énergies consommées pour chaque bâtiment et les puissances maximales regroupées, la détermination du temps de pleine charge total est possible selon :

$$\text{Heures}_{\text{pleines charges}} [h/an] = \frac{\text{Energie consommée [kWh/an]}}{\text{Puissance}_{\text{max}} [kW]}$$

| Eléments | Energie conso. [kWh/an] | Pmax [kW] | H pleines charges [h/an] |
|-------------------|-------------------------|------------|--------------------------|
| Bâtiment A | 246 000 | 110 | 2 231 |
| Bâtiment B | 234 000 | 120 | 1 957 |
| Bâtiment C | 366 000 | 175 | 2 095 |
| Bâtiment D | 89 000 | 40 | 2 204 |
| Bâtiment E | 189 000 | 77 | 2 469 |
| Totaux | 1 124 000 | 522 | 2 155 |

Tableau 16 : Temps de pleines charges pour chaque bâtiment

La durée de fonctionnement à pleine charge des installations est plus importante que celle de la première évaluation. Elles apportent ainsi une précision supplémentaire du fonctionnement de l'installation. A noter que dans les deux cas, les puissances des installations de mazout et de gaz, respectivement de 326 kW et 400 kW semblent surdimensionnées et ne correspondent plus aux consommations.

En moyennant les puissances de chauffage et les températures extérieures (données horaires) par jour, l'évaluation du taux de charge est rendu possible lorsqu'il est déterminé sur la base des mois les plus froids de l'année (décembre et janvier).

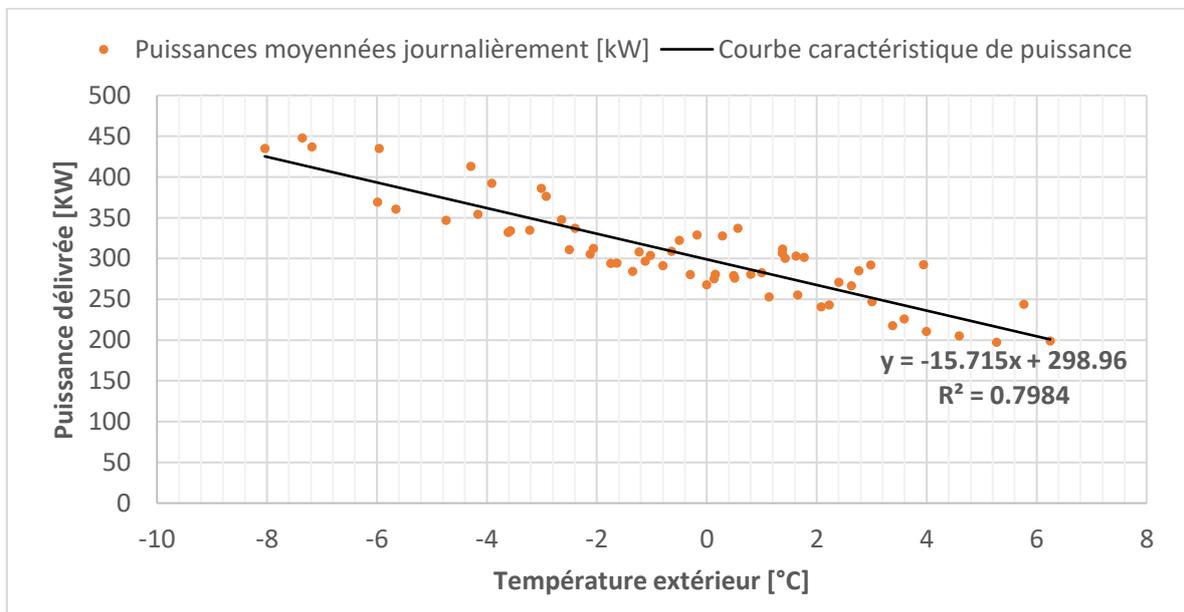


Tableau 17 : Mesure du taux de charge des installations existantes

En supposant une température extérieure minimale de -10°C , la puissance nécessaire serait de 456 kW. En accordant une marge de 15% sur les gains solaires pris en compte dans cette évaluation, la puissance de chauffage atteint 525 kW. Lorsqu'il sera question de remplacer les installations existantes, le dimensionnement sera réalisé sur la base de cette référence.

10 POTENTIEL RENOUVELABLE

Le potentiel de production d'énergie thermique et électrique du site est décrit dans les points suivants. Il éclaire sur les limites admises des plans techniques concernant les installations en exposant les avantages et désavantages pour chaque source afin de les sélectionner.

10.1 SOLAIRE THERMIQUE

L'installation de capteur solaire thermique sur les toits des bâtiments B, C, D et E est envisageable car seul des restrictions sont persistantes pour le bâtiment A (bâtiment protégé, classé 3 au patrimoine). La production de chaleur est assurée par un ensemble de collecteurs thermiques. L'eau est acheminée vers un accumulateur de chaleur situé, généralement, dans les locaux de la chaufferie.

Pour profiter au mieux de l'incidence du soleil pour la période hivernale, il est judicieux d'orienter les collecteurs solaires entre 60° et 70° par rapport à l'horizontal car le soleil, étant au plus bas de sa position, se situe à environ 20° d'élévation au-dessus de l'horizon.

Malgré tout, l'utilisation de capteurs solaire thermique uniquement ne permet pas de palier la forte consommation en hiver. De plus, pour couvrir partiellement les besoins de chauffage, la température de sortie doit correspondre à celle du circuit des radiateurs, soit 80°C.

| Avantages | Désavantages |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Restriction du patrimoine limitée • Renouvelable • La surface de toiture est importante et permet une production élevée • Peut couvrir à la fois les besoins en ECS et une partie du chauffage | <ul style="list-style-type: none"> • La température de sortie est basse pour les accumulateurs traditionnels et nécessite une élévation de température (seconde source de production) • Le potentiel de production ne correspond pas à la demande (élevé en été alors que la demande est importante en hiver) • Le raccordement des installations aux conduites peut être un frein • L'irrégularité de la production peut être contraignante |

La solution solaire thermique est écartée

10.2 SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES

En se référant à la carte d'admissibilité des sondes géothermiques verticales (SGV), en Valais, la production de chaleur au niveau du centre scolaire est admise avec les obligations standards.³⁶ Cependant, le site scolaire se trouve dans le secteur « Au » de protection des eaux (secteurs particulièrement menacés). Il est nécessaire d'effectuer des études et obtenir des autorisations selon l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux).³⁷

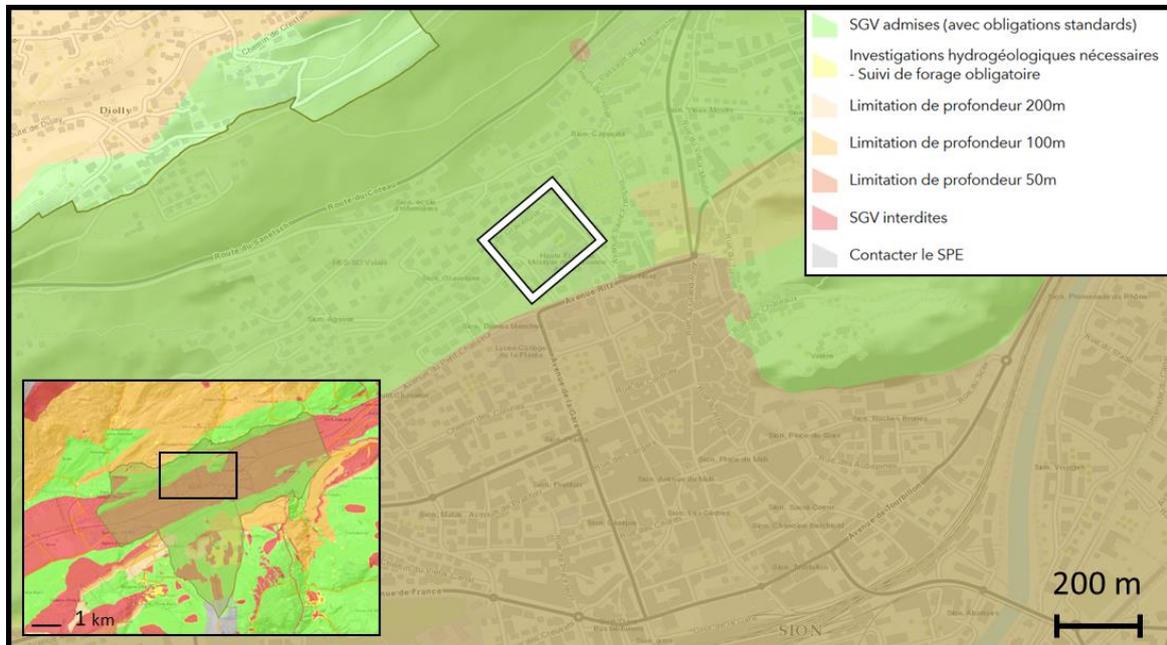


Image 7 : Carte d'admissibilité des sondes géothermiques

| Avantages | Désavantages |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Renouvelable • Pas d'émission de CO₂ • Surface suffisante pour installer un champ de sonde pour une utilisation de quartier (T°C = 5 à 35°, h = 30 à 800m)³⁸ • Peu intrusif et peu visible • Production directement sur le site • Ne dépend pas des conditions climatiques • Stabilité et production continue • Durée de vie des sondes > 50 ans | <ul style="list-style-type: none"> • Incertitude du sous-sol et de la production escomptée sans forage • La phase d'exploration consiste en 65 à 75% de l'investissement total • Risque de surcoûts pour chaque phase • Risques de corrosion des installations • Nécessite une élévation de la température • Se prête mal aux installations dotées de radiateurs (sauf si couplée ou installation pompe à chaleur à gaz) |

L'installation d'un parc de SGV sur le complexe de Gravelone est risquée économiquement et juridiquement. En effet, les coûts variables (de 100kCHF à 1mioCHF) de l'installation et les exigences et restrictions du site ne permettent pas de proposer une stratégie intégrant cette technologie.

La solution sondes géothermiques est écartée

³⁶ Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol. Aide à l'exécution, OFEV, Berne, 2009

³⁷ Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) n°814.201 du 28 octobre 1998 (Etat le 1 juin 2018)

³⁸ Géothermie en Suisse, une source d'énergie polyvalente, suisseenergie 02.2017

10.3 CHAUDIÈRE À BIOMASSE

L'installation d'un chauffage à l'aide de la biomasse (pellet, bûches, bois déchiquetés, etc.) est une solution intéressante d'un point de vue énergétique et économique. Elle permet de supporter la consommation du complexe tout au long de l'année, sans restriction de production saisonnière à l'aide d'une source renouvelable.

| Avantages | Désavantages |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Renouvelable et combustible local • Indépendance énergétique par rapport aux solutions mazout et gaz naturel • Faible émission de particules • Bilan CO₂ presque neutre • La surface de toiture est importante et permet une production élevée • Peut couvrir à la fois les besoins en ECS et en chauffage • Combinaison avec capteurs solaires, chauffage appoint, etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Faible flexibilité, souplesse de production • Espace de stockage important de la matière organique • L'entretien est régulier pour garantir les performances |

Entre toutes les productions de chaleur à l'aide de la biomasse, le choix s'est porté arbitrairement sur le pellet. Premièrement, le pellet est une matière compacte qui peut facilement être livrée par un fournisseur spécialisé. Deuxièmement, il s'agit de la source avec le meilleur pouvoir calorifique : 5 kWh /m³ contre 4.2 kWh/m³ pour les bûches alors que celui du bois déchiqueté varie fortement selon l'humidité et le type de bois utilisé.³⁹

La solution chaudière à bois est retenue

10.4 SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Comme pour les installations solaires thermiques, les restrictions ne portent que sur le bâtiment A ; les autres édifices peuvent se doter de capteurs solaires photovoltaïques sans restriction particulière. La consommation totale du site varie, sur la période (2014-2017), entre 180 MWh et 215 MWh électrique. Cette consommation élevée peut être compensée par une production locale, obtenue à l'aide d'un dimensionnement photovoltaïque adéquat.

| Avantages | Désavantages |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Restriction du patrimoine limitée • Renouvelable • La surface de toiture est importante et permet une production élevée • Peut être raccordé indépendamment des installations de chauffage (sauf installations PAC) | <ul style="list-style-type: none"> • Le potentiel de production ne correspond pas à la demande (élevé en été alors que la demande est importante en hiver) • L'irrégularité de la production peut être contraignante et nécessite une réinjection au réseau ou un stockage local |

La solution solaire photovoltaïque est retenue

³⁹ Les combustibles bois, Bois-énergie, ValBiom, Pierre Martin, Juin 2015

11 POTENTIEL NON-RENOUVELABLE

Le potentiel non-renouvelable du centre scolaire comprend les énergies qui ne tirent pas leur origine directement d'une source de chaleur renouvelable. Les chaudières à gaz et à mazout actuellement présentes sont des installations non-renouvelables ; leur remplacement devra être effectué par un modèle plus performant et optimisé.

11.1 CHAUDIÈRE À GAZ HAUTE PERFORMANCE

Sachant que des conduites à gaz sont présentes sur le site du centre scolaire et que les coûts liés au raccordement du réseau de chaleur sont importants, le remplacement des installations actuelles pour une chaudière à gaz à performance élevée (chaudière à condensation) est intéressant logistiquement et économiquement. Les chaudières à condensation assurent un fonctionnement similaire à une chaudière traditionnelle. Seule la température diffère de l'eau de retour, plus basse pour les chaudières à condensation. D'une température en dessous du point de rosée (environ 55°C et 45°C, respectivement pour le gaz naturel et le mazout), le système permet la condensation de la vapeur d'eau et des fumées échappées, et ainsi d'augmenter le rendement de l'installation de près de 10% pour une combustion de gaz naturel. Finalement, ce dernier peut atteindre les 93 % (basé sur le PCS) et 104 % (basé sur le PCI).

| Avantages | Désavantages |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Forte flexibilité, souplesse de production • Couvre les besoins en chauffage et ECS • Les gaz est présent sur le site du centre scolaire • Peu intrusif et peu visible • Consomme à la fois de l'énergie renouvelable et du gaz naturel • Installation et pose rapide • Consommation réduite par rapport à une chaudière à gaz traditionnelle • Faible encombrement de la chaudière | <ul style="list-style-type: none"> • Source non-renouvelable, épuisable • La température de retour du chauffage doit être abaissés jusqu'à la température de rosée (55°C) le long de l'année • De ce fait, la régulation doit être optimale • Les condensats acides doivent être évacués • L'entretien est régulier pour garantir les performances |

D'une manière générale, la chaudière à gaz est la solution la plus sûre et facile à introduire sur le complexe, car l'ancienne installation principale consomme également du gaz naturel.

La solution chaudière à gaz à condensation est retenue

11.2 CHAUDIÈRE À MAZOUT

Les rendements de production des chaudières à mazout à condensation en vente sur le marché avoisinent les 98%.⁴⁰ Cependant, à l'inverse des chaudières à gaz, l'apport de mazout sur le site est effectué par des entreprises spécialisées ; l'intégration d'une citerne de dimensionnement adéquat est une nécessité.

| Avantages | Désavantages |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Forte flexibilité, souplesse de production • Couvre les besoins en chauffage et ECS • Installation et pose rapide • Consommation réduite par rapport à une chaudière à mazout traditionnelle • Faible encombrement de la chaudière | <ul style="list-style-type: none"> • Source non-renouvelable, épuisable • La température de retour du chauffage doit être abaissée jusqu'à la température de rosée (45°C) le long de l'année • De ce fait, la régulation doit être optimale • Les condensats acides doivent être évacués • L'entretien est régulier pour garantir les performances • Le combustible doit être stocké sur place dans de grandes cuves |

La chaudière à mazout rentre directement en compétition avec la chaudière à gaz naturel. Elle a cependant un désavantage certain ; l'apport de mazout sur le centre scolaire par une entreprise spécialisée. De plus, elle n'apporte pas de gain réel avantageux pour le propriétaire.

La solution chaudière à mazout à condensation est écartée

11.3 POMPE À CHALEUR À GAZ

| Avantages | Désavantages |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Forte flexibilité, souplesse de production • Couvre les besoins en chauffage et ECS • Installation peu encombrante • Peu intrusif et peu visible • Production directement sur le site • Ne dépend pas des conditions climatiques | <ul style="list-style-type: none"> • Additionne tous les désavantages du producteur de chaleur renouvelable (sonde géothermique ou modules solaires thermiques) • Source non-renouvelable, épuisable • Encore peu développé, peu maîtrisé |

D'un point de vue énergétique, la pompe à chaleur à gaz apporte des avantages certains ; cependant elle tire une partie de sa source de chaleur de l'environnement. Pour toutes les restrictions et incertitudes touchant les apports par géothermie et solaire thermique, ainsi que le peu de maîtrise touchant cette technologie, la solution n'est pas envisageable.

La solution pompe à chaleur à gaz est écartée

⁴⁰ Site internet de viessmann Suisse, <https://www.viessmann.ch/fr/immeubles-dhabitation/chaudieres-gaz/chaudieres-gaz-a-condensation/vitocrossal-300-cu3a.html> (dernière consultation le 15.08.2018)

12 STRATÉGIES POUR L'OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE

Au total, six stratégies distinctes sont étudiées sur la base des discussions précédentes sur l'enveloppe thermique et les consommations d'énergies. Elles sont regroupées par paires afin de répondre à une consommation précise du centre scolaire en fonction de l'ampleur des rénovations. Les paires sont, quant à elles, séparées selon les sources des producteurs de chaleur (gaz naturel contre gaz et pellet combinés). [annexe 10]

Ces stratégies seront évaluées sur le profil existant, en se basant sur l'absence totale de travaux de réfection. Au niveau des installations de production de chaleur, elles risquent de faillir dans les 5 prochaines années. En repoussant les maintenances, la possibilité d'une défaillance qui plongerait le bâtiment sans apport de chaleur est grandissante. Sur l'évaluation du bien (revêtements, état de surface des façades et sols, etc.), sa valeur décroît et peut atteindre un point de non-retour si les dégradations évoluent et se manifestent sur des éléments internes et irremplaçables de l'enveloppe.

12.1 OPÉRATIONS STANDARDS

Les mentions présentées dans cette partie sont une nécessité pour l'exploitant ; quelle que soit la stratégie de maintenance prévue pour les rénovations des installations et de l'enveloppe du bâtiment.

1. Etablir un schéma complet des conduites des installations et conduites hydrauliques et, éventuellement, centraliser le réseau

L'intérêt ici est double ; premièrement, il permettra d'évaluer la faisabilité des stratégies proposées quant au raccordement des différents éléments de production de chaleur au réseau du complexe. Deuxièmement, il apportera pour l'entrepreneur toutes les informations pour l'établissement du plan de manœuvre et des dispositions à entreprendre. À l'aide de ces informations, il sera éventuellement possible de raccorder les conduites afin de centraliser la production de chaleur dans le complexe afin de favoriser la flexibilité de la production et sa régulation. Ne pouvant s'assurer de la réalisation d'une centralisation, les chaudières sont dimensionnées selon un rapport 1:3, 2:3 sur la consommation, à l'aide de la variation énergétique issue de *bSol* (1:3 = chaudière à mazout, 2:3 = chaudière à gaz).

2. Installer des vannes thermostatiques sur les radiateurs

Comme mentionné dans le chapitre 7.3, installer des vannes thermostatiques sur les radiateurs permettra de bénéficier d'un gain sur la température de régulation et de diminuer de près de 20% la consommation de chauffage direct des locaux (ECS non compris). De plus, le prix approximatif d'une vanne est de 200CHF ttc.⁴¹ Le retour sur investissement en année (tROI), même pour une quantité estimée de 60 radiateurs, serait réalisé en moins de 1 an selon l'équation suivante :

$$\text{Temps de ROI} = \frac{\text{Coût de l'investissement [CHF]}}{\text{Flux de bénéfice direct [CHF/an]}} = \frac{60 \text{ u.} \times 200\text{CHF}}{225'000 \frac{\text{kWh}}{\text{an}} \times 0.07 \frac{\text{CHF}}{\text{kWh}}} = 0.76 \text{ an}$$

3. Déterminer les courbes de charges réelles des installations et des caractéristiques de l'enveloppe

La courbe de charges du chauffage est une estimation sur la base des déperditions de chaleur. Elle semble appropriée mais l'exactitude est discutable. Cette estimation dépend directement des déperditions thermiques sur les bâtiments. A nouveau, la justesse du modèle peut être affinée.

⁴¹ Liste de prix 2013, Gestion technique des bâtiments et sous-stations de chauffage, Danfoss SA, 2013

12.2 PROPOSITIONS DE VARIANTES

A total, six variantes distinctes sont proposées, différenciées selon le degré de rénovation et le type de chauffage installé. Pour les variantes paires, des chaudières à gaz sont proposées. Pour les variantes impaires, des chaudières à gaz en remplacement du chauffage des bâtiments A, B et D ainsi qu'un chauffage à pellet en remplacement de l'actuelle chaudière à mazout est de rigueur. Toutes les précisions sur les consommations et coûts affiliés sont présentées en annexe. **[annexe 11]**

12.2.1 Séparation des variantes

Pour le premier bloc (variantes 1 et 2), aucune rénovation est effectuée sur le site ; les déperditions thermiques restent inchangées et permettent le dimensionnement adéquat des éléments de chauffage. Pour rappel, la consommation totale en énergie de chauffage équivaut, selon les estimations *bSol*, à 1.124 GWh annuelle pour une installation d'une puissance de 525 kW.

Pour le second bloc (variantes 3 et 4), les rénovations principales dont l'investissement énergétique direct (cf. chapitre 8) est inférieur à 1.8 CHF/kWh (amortis en 18 ans) sont intégrées au modèle. Les résultats montrent que la consommation en chaleur du site diminue de près de 28% pour atteindre 811'000 GWh annuel avec un pic de puissance nécessaire de 440 kW. De ce fait, les nouvelles installations de chaudières sont dimensionnées, comme précédemment, sur la base de la variation annuelle des chauffages de chaque bâtiment A à E.

| Eléments | Energie de chauffage [kWh] | | Diminution |
|-------------------|----------------------------|---------------|------------|
| | avant | après | |
| Bâtiment A | 246 000 | 196 000 | 20% |
| Bâtiment B | 234 000 | 160 000 | 32% |
| Bâtiment C | 366 000 | 269 000 | 27% |
| Bâtiment D | 8 9000 | 55 000 | 38% |
| Bâtiment E | 189 000 | 131 000 | 31% |
| Totale | 1124000 | 811000 | 28% |

Tableau 18 : Diminution thermique - variantes 3 et 4

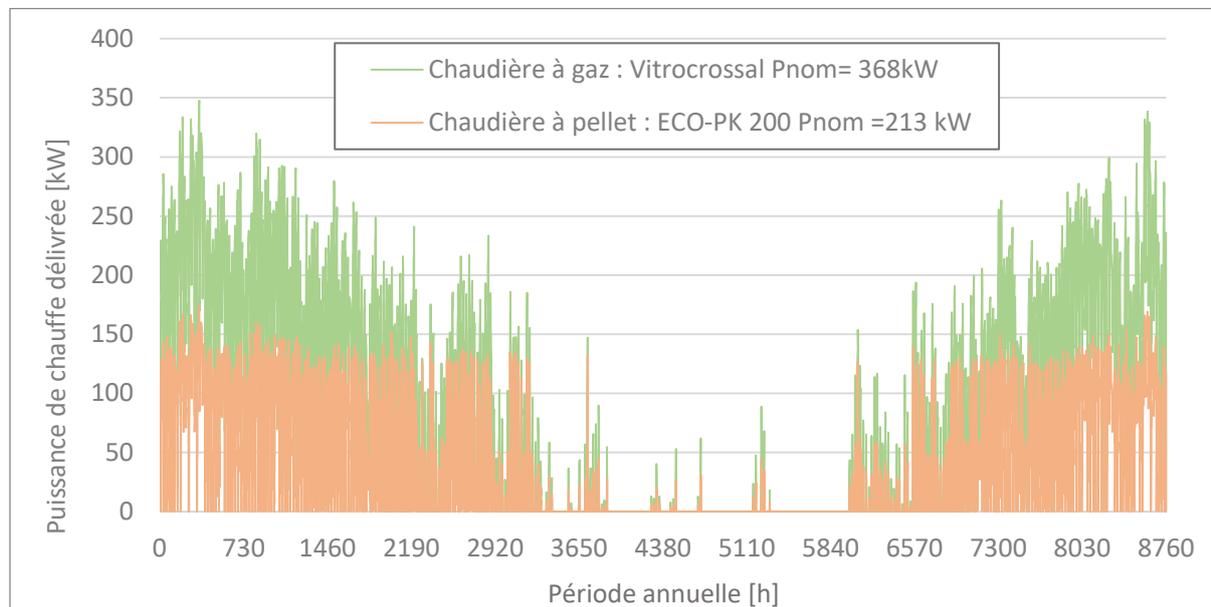
Pour les deux dernières variantes (variantes 5 et 6), des rénovations complètes sont effectuées sur l'enveloppe thermique des bâtiments. Cette fois, les rénovations touchent les groupes d'éléments dont l'investissement énergétique est inférieur à 3 CHF/kWh (amortis en 30 ans). Les rénovations susmentionnées nécessitent des autorisations particulières et des analyses poussées concernant le bâtiment A car les travaux de réfection sur les façades et la toiture risquent d'engendrer complications et coûts supplémentaires. La diminution du chauffage principal atteint 64% contre 70% pour le chauffage unique du bâtiment C. Le pic de puissance est ici de 180 kW.

| Eléments | Energie de chauffage [kWh] | | Diminution |
|-------------------|----------------------------|----------------|------------|
| | avant | après | |
| Bâtiment A | 246 000 | 82 000 | 67% |
| Bâtiment B | 234 000 | 112 000 | 52% |
| Bâtiment C | 366 000 | 108 000 | 70% |
| Bâtiment D | 89 000 | 39 000 | 56% |
| Bâtiment E | 189 000 | 42 000 | 78% |
| Totale | 1 124 000 | 383 000 | 66% |

Tableau 19 : Diminution thermique - variantes 5 et 6

12.2.2 Dimensionnement des installations

Les profils des chaudières sont basés sur la documentation des fournisseurs.^{42, 43} Le choix des installations est effectué en comparant les variations annuelles obtenues à l'aide de *bSol* et la diminution des besoins en chaleur selon le type de rénovation effectué. Ci-dessous, un exemple de la puissance délivrée par chaudière pour la première variante :



Graphique 11 : Exemple de variation annuelle de la puissance de chauffe - Variante 1

L'installation d'un accumulateur de chaleur permet de bénéficier d'une meilleure flexibilité de production et serait utile pour des chaudières dont le fonctionnement est de type « tout ou rien ». Il serait particulièrement intéressant pour la chaudière à pellet. Pour une différence de température supposée de 35° (max 90° et min 65°), la contenance énergétique d'un boiler de 1000L ne varie que de 105 à 76 kWh en prenant en compte la chaleur massique de l'eau correspondante, soit 4186 J/kgK ; elle permet alors de supporter une autonomie hivernale (fonctionnement à plein régime) de 10 minutes. Pour un boiler de 10 000L, cette autonomie s'élève à 1h30 lorsque la demande est la plus importante et laisse supposer que l'installation d'un accumulateur est superflue. A ces résultats s'ajoute le fait qu'un accumulateur est inefficace lorsque la plage de puissance varie entre 30% et 100% pour des puissances similaires.⁴⁴

Avec un pouvoir calorifique des pellets de 4.8 kWh/kg, les besoins annuels sont couverts, dans le pire des scénarios (variante 1), avec 82 tonnes de pellet, soit près d'un arrivage de camion de livraison de 15 tonnes tous les deux mois. Sachant qu'un mètre cube de pellet pèse environ 650 kg, la chaudière requiert un silo de 63 m³ pour satisfaire une autonomie d'une demi-année. Selon la littérature,⁴⁵ le local de stockage est dimensionné comme suit : 1 kW de puissance de chauffage = 1 m³ de local (y compris la zone de déversement). La surface totale nécessaire serait alors de 230 m³ avec un silo de taille maximal de 100 m³ et peut être implanté au niveau 0 du bâtiment D.

⁴² Chaudières à granulées, granulés de bois 2 – 200kW (brochure, p.19), Hargassner

⁴³ Chaudière gaz à condensation, Chaudière compactes gaz à condensation, de 1.9 à 1400 kW (brochure, chapitre 2.6 p. 156, Viessmann

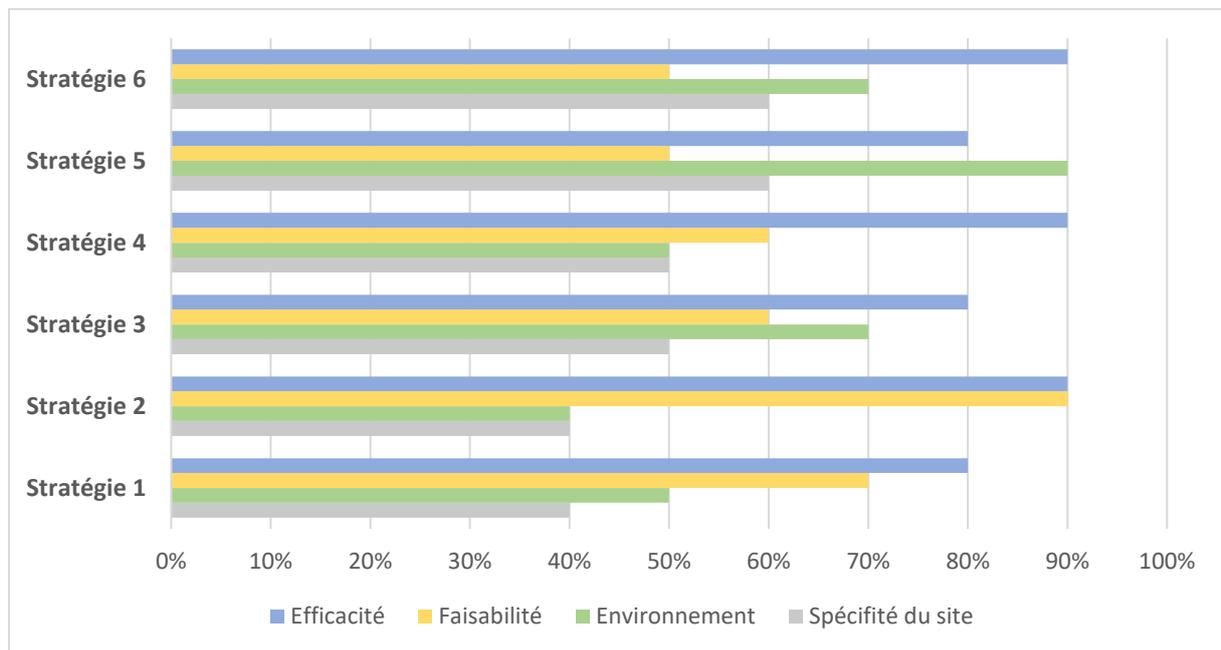
⁴⁴ Chauffage au bois, aide au dimensionnement (p. 41), Suisseenergie, OFEN 12.2015

⁴⁵ Instruction Technique (tV), Energie, bâtiment et technique du bâtiment Immobilier DDPS, Reust Michel 03.10.2014 (date de dernière édition)

12.3 COMPARAISON DES STRATÉGIES

Une fois les stratégies établies, les coûts sont estimés selon les plans des rénovations établis au préalable. Ces estimations sont réalisées comme vu précédemment au chapitre 8.1. À nouveau, il s'agit des coûts liés uniquement aux rénovations sur le centre scolaire ; les prix du renouvellement des installations et appareils intérieurs ne sont pas intégrés. Dès lors, les prix correspondants aux rénovations partielles et majeures correspondent respectivement à 1 450 000 CHF et 3 100 000 CHF. **[annexe 12]**

L'établissement d'une pondération est effectué afin de déterminer la qualité des propositions selon différentes catégories principales (efficacité = 0.4, faisabilité = 0.3, environnement = 0.2, spécificité du site = 0.1) et sous-catégories. Le résumé des propositions est visible en annexe. **[annexe 13]**



Graphique 12 : Comparaison des stratégies selon différents critères

Finalement, chaque proposition a des avantages et des désavantages qui s'équivalent (valeurs entre 12.7 et 11.7 sur un total admis de 16.5). D'une manière générale, l'efficacité est assurée pour les solutions non combinées gaz/pellet car la flexibilité et la maintenance est, généralement, un frein aux installations à pellet et peut induire des lacunes sur les apports thermiques lorsque les températures sont anormalement basses. De plus, des contraintes sont ajoutées sur la praticité des installations des chaudière à pellet. Cependant, pour ces possibilités, le caractère environnemental est marqué et ce, d'autant plus lorsque les rénovations sont intégrées au modèle.

L'aboutissement des stratégies dépend des caractères physiques du bâtiment, notamment la possibilité d'introduire ou non un silo à pellet enterré mais aussi des intérêts du propriétaire et sa volonté de proposer une solution à la fois économiquement abordable et socialement acceptée.

13 INSTALLATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

13.1 GÉNÉRALITÉS

L'installation de capteur solaire photovoltaïque bénéficie d'une rétribution en Suisse en fonction de la puissance installée. En dessous de 100 kWc, considérées comme des petites installations, bénéficient de la petite rétribution unique (PRU). Malgré l'expiration de la rétribution à prix coutant (RPC), ancien modèle de subventionnement aux installations, les grandes installations >100 kWc peuvent bénéficier du droit d'option entre la grande rétribution unique (GRU) et la RPC. Cependant, en raison de divers facteurs économiques et politiques, les nouvelles demandes ne pourront bénéficier de la RPC et devront se cantonner au système de rétribution unique.⁴⁶

À noter que le délai d'attente approximatif pour bénéficier de la PRU et la GRU est respectivement de 2 et 6 ans. La PRU et la GRU dépendent de la puissance installée et diffèrent selon la contribution de base. D'une manière générale, le calcul effectué est le suivant :⁴⁷

Contribution de base + Contribution liée à la puissance = montant total de la RU (TVA incluse)

À l'aide de la consommation du site, il est possible d'estimer la surface nécessaire à la couverture des besoins dans le cas où toute la production est consommée directement sur le site (système en autarcie). Ainsi, avec une consommation électrique totale moyennée sur les trois dernières années (2015 à 2017) de 195 000 kWh, en supposant un ratio de performance (PR) de 80% avec une énergie sur le plan des capteurs de 1400 kWh/m², la surface totale approximée est la suivante, pour un rendement des capteurs de 17% :

$$A_{PV} [m^2] = \frac{E_{AC} [kWh]}{PR \times \eta [\%] \times E_{plan} [kWh/m^2]} = 1024 m^2$$

13.2 PRODUCTION ESCOMPTÉE

La disponibilité des surfaces de toiture pour l'implémentation des capteurs solaires varie selon les estimations réalisées auparavant [chapitre 7.2.1] ; elles sont néanmoins résumées ci-dessous :

| | Toit Nord | Toit Est | Toit Sud | Toit Ouest | Inclinaison | Toit plat |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| | Surface disponible [m ²] | | | | | |
| Bâtiment A | 141 | 110 | 80 | 141 | 43° | - |
| Bâtiment B | 133 | 130 | 133 | 130 | 25° | - |
| Bâtiment C | 175 | 45 | 175 | 45 | 15° | 88 |
| Bâtiment D | - | - | - | - | - | 186 |
| Bâtiment E | 75 | 12 | 53 | 17 | 28° | 178 |
| Total | 524 | 297 | 441 | 333 | - | 452 |
| Total (bât. A exclu) | 230 | 110 | 220 | 120 | - | 270 |

Tableau 20 : Résumé des surfaces de toits disponibles

⁴⁶ Encouragement du photovoltaïque, Fiche d'information version 1.1, BFE, 20 mars 2018

⁴⁷ Programme d'encouragement Pronovo (site internet), <https://pronovo.ch/fr/financement> (dernière consultation le 30.07.2018)

Dû à la variété et la complexité de la forme et des éléments de toiture (toits multi-pans inégaux avec ouvertures, coyaux, etc.), une diminution de la surface d'implémentation des capteurs est nécessaire et correspond approximativement à 60% de la surface totale disponible. Cette généralité a été également appliquée aux surfaces planes dont l'ombrage partiel peut introduire des diminutions similaires. En parallèle, la loi fédérale sur l'aménagement du territoire, abrégée (LAT), stipule que les installations solaires sur des biens culturels d'importance cantonale sont soumises à une autorisation de construire⁴⁸ ; les possibilités d'introduire de capteurs solaires sur le bâtiment A ne sont pas assurées. Ces deux paramètres réduisent la surface totale de toit disponible à 950 m².

13.3 RÉSULTATS

13.3.1 Prédimensionnement

A l'aide de l'outil en ligne « Calculateur d'énergie solaire » de Swissolar,⁴⁹ une pré-évaluation de la production d'énergie sur le plan de chaque pan de toit est obtenue et résumée en annexe. **[annexe 14]** Finalement, même en excluant le bâtiment A, la production permet d'atteindre un degré de couverture renouvelable, correspondant à la part d'énergie renouvelable produite sur le site et celle consommée, de plus de 100%.

Cependant, la part d'énergie consommée directement à l'aide des installations est minime sans une installation de stockage sur le site. En déterminant la durée de production maximale (en divisant l'énergie produite par rapport à la puissance installée), les durées maximales, témoignant du meilleur rendement de l'installation, sont obtenues pour les faces sud (moyenne de 1120 heure), ouest (1070 heures) ainsi que sur les surfaces planes (970 heures) corrélent avec les suppositions de production maximale selon la position du soleil.

13.3.2 Résultats PV-SYST (variante 1)

Un premier dimensionnement à l'aide de l'outil de dimensionnement *PV-SYST* version 6.7.4 est réalisé sur les toits sud et ouest des bâtiments B, C, E uniquement. Tous les modules sont composés de capteurs en silicium polycristallins de SolarWatt pour une puissance unitaire de 270 Wp (Blue 60P)⁵⁰. L'installation totale, pour une superficie de 532 m², atteint une puissance nominale de 86.4 kWc. Les détails pour cette variante sont disponibles en annexe. **[annexe 15]**

Les parts correspondantes sont les suivantes :

| Production solaire | | |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Part autoconsommée | Part injectée au réseau | Part consommée au réseau |
| 63.8 MWh | 49.2 MWh | 130.7 MWh |

Tableau 21 : Parts électriques pour la simulation 1

⁴⁸ Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT), Modification du 15 juin 2012, Art. 18a⁽³⁾

⁴⁹ Calculateur d'énergie solaire (Outil de calcul), site internet : <https://www.swissolar.ch/fr/pour-maitres-douvrage/outils-de-calcul/calculateur-denergie-solaire> (dernière consultation, le 03.08.2018)

⁵⁰ SolarWatt® solar modules, module en verre laminé : Blue 60P (Fiche technique Blue 60P), 08/2017

13.3.3 Résultats PV-SYST (variante 2)

La deuxième variante intègre des capteurs solaires SolarWatt Blue 60P 270Wp sur les surfaces plates pour un total de 332m² supplémentaires, soit une surface finale de 864 m². La puissance nominale atteint 135 kWc. Pour cette variante, les parts correspondantes sont les suivantes :

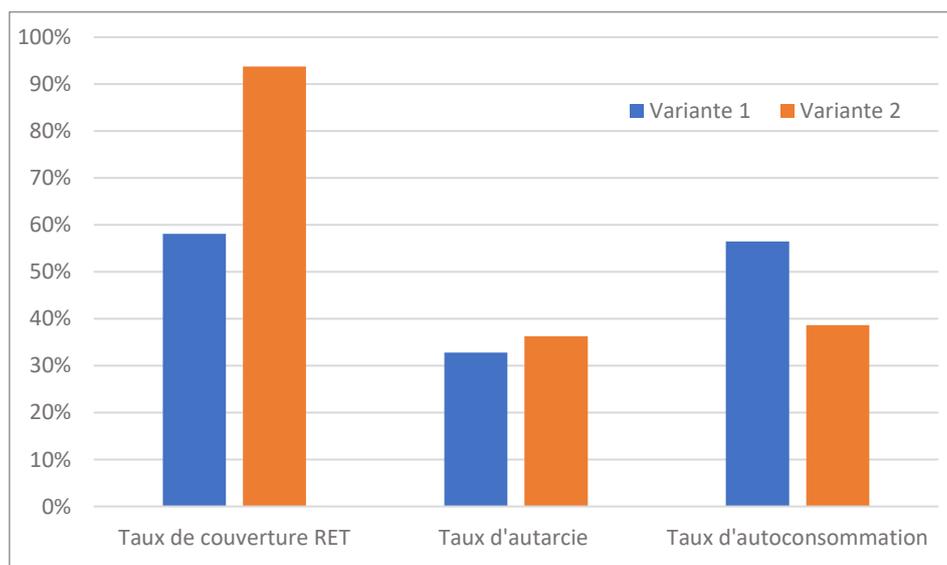
| Production solaire | | |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Part autoconsommée | Part injectée au réseau | Part consommée au réseau |
| 70.5 MWh | 111.9 MWh | 124.0 MWh |

Tableau 22 : Parts électrique pour la simulation 2

13.3.4 Comparaison des variantes

Pour les deux variantes, les résultats PV-SYST permettent de mettre en évidence des indicateurs énergétiques afin de déterminer la part d'autoconsommation et d'autarcie de la démonstration. Au total, trois taux sont évalués :

- **Taux de couverture solaire** : permet de calculer le bilan renouvelable entre la part d'énergie produite et celle consommée sur le site
- **Taux d'autarcie** : Taux permettant l'évaluation d'un fonctionnement en îlotage (ou coupure du réseau) entre l'énergie autoconsommée sur les besoins en électricité
- **Taux d'autoconsommation** : indique la part de l'électricité qui est consommée sur le site sur toute l'énergie produite grâce aux installations photovoltaïques.



Graphique 13 : Indicateurs énergétiques - Comparaison des variantes

Ces indicateurs énergétiques indiquent que près de 56% de l'énergie totale produite sur le site est autoconsommée (variante 1). Cependant, la production escomptée permet de couvrir seulement 58% de toute l'électricité produite sur le site. En augmentant la surface totale de cellules solaires, le degré de couverture atteint 94% alors que l'augmentation du degré d'autarcie n'est que de 3%. Il s'agit de faire un choix entre l'optimisation du taux de couverture et le taux d'autoconsommation.

13.4 ANALYSE ÉCONOMIQUE

Les prix des modules photovoltaïques ainsi que ceux liés aux installations, aux coûts d'exploitations et à l'entretien annuel sont estimés ou comparés à la littérature.^{51 52} De l'investissement brut est déduit la rétribution unique liée à la puissance installée dont le calcul est défini à la période de l'étude.⁵³ Dans ce cas d'étude, la PRU atteint 29 959 CHF et diminue les coûts finaux de l'installation pour atteindre 152 746 CHF. [annexe 16]

La tarification des prix de l'électricité de référence est obtenue chez ESR pour l'année 2018 pour des installations d'une puissance supérieur à 30kW. En connaissant la part des consommations HC et HP pour les périodes été et hiver et en appliquant la facturation finale à 35 590 CHF, le pic de puissance a été estimé selon les tarifs de puissance (puissance B) pour l'année 2018 à 108 kW. À noter que, pour correspondre à la tarification sur la puissance A, l'application des variables indique un pic de puissance à 275 kW mais ne semble pas pertinent dans ce cas précis car la consommation attendue du site de Gravelone est régulière.

La première variante peut prétendre à un retour sur investissement dès la 11^e année. Cependant, il ne prend pas en compte l'actualisation des flux financiers réalisée sur la durée de vie. Ainsi, la valeur actualisée net (VAN) avec un taux d'actualisation de 5% indique que les gains réels sur la durée de vie sont de 27 500 CHF. Le calcul de la VAN est le suivant :

$$VAN = -CAPEX + \sum_{t=1}^{t=25} Economies\ effectives * (1 + 0.05)^{-t}$$

L'installation de modules photovoltaïques est intéressante politiquement et économiquement mais ne permet pas de couvrir les besoins en électricité. Une légère variation des coûts d'investissement induit une variation importante des bénéfices réalisés sur la durée de vie. Ainsi, par l'introduction des batteries de stockage dans le modèle, l'installation n'est plus rentable. De plus, le bâtiment ne nécessite vraisemblablement pas un fonctionnement en îlotage ; l'ajout de batterie est ainsi écarté.

⁵¹ Sionic, photovoltaïque autonome, Liste de prix 2017

⁵² Energie solaire photovoltaïque, Filière Energie et Techniques Environnementales, Christophe Ellert, 15.09.17

⁵³ Pronovo, tarifateur programme d'encouragement pour la rétribution unique, site internet : <https://pronovo.ch/fr/financement/systeme-de-retribution-de-linjection-sri/retribution> (dernière consultation le 03.08.18)

14 APPELS D'OFFRES ET INVESTISSEMENT EXTERNES

14.1 ENVELOPPE THERMIQUE

La promotion énergétique dans le canton du Valais est permise à l'aide de la directive relative PrGEN-VS.⁵⁴ Cependant, le bâtiment, appartenant à la ville de Sion et étant un bâtiment public de la Confédération, n'est pas éligible ; il ne peut bénéficier d'une aide financière au titre des programmes de promotion énergétique cités ci-dessus.

14.2 APPAREILS ET INSTALLATIONS

En ce qui concerne les éléments intérieurs et appareils électroniques touchant principalement sur les appareils d'éclairages, les pompes de circulations, les systèmes de ventilations et de froids, le programme ProKilowatt, projet soutenu par l'OFEN, peut répondre à des subventions importantes allant jusqu'à 30% des coûts d'investissement (matériaux et frais d'ingénieurs compris). Un projet est considéré lorsque des mesures individuelles sont prises dans une seule organisation et dont les coûts s'élèvent à plus de 70 000 CHF. Dans ce cas, les subventions attribuées sont plus importantes.

À l'inverse, les programmes touchent des investissements inférieurs à 70 000 CHF et ont une plus grande chance d'être attribués. Au total, près de 80 % des demandes sont acceptées lorsque les justificatifs sont réalisés à double sens.

14.3 CITÉ DE L'ÉNERGIE

La ville de Sion, étant labélisée cité de l'énergie en 2014, peut bénéficier d'une contribution par projet selon sa catégorie.⁵⁵ Le soutien, dont la demande pour l'année 2019 doit être effectuée au plus tard le 14 septembre 2018, vise des villes de différentes catégories ; pour la catégorie 1 dont la ville de Sion fait partie, la contribution s'élève au minimum à 3 000 CHF et au maximum à 5 000 CHF par année. À noter que le projet doit reposer sur des potentiels de productions locaux pour être accepté.

⁵⁴ Directive relative aux programmes de promotion énergétiques 2017 dans le Canton du Valais (prfEN-VS 2017 sur la base du ModEnHA 2015), M-04 Chauffage à bois automatique, puissance calorifique P > 70 kW, extrait du DEET du 16 novembre 2016

⁵⁵ Informations pour les dépôts de projet, programme de soutien, Cité de l'énergie (site internet)
<http://www.citedelenergie.ch/fr/programme-de-soutien/inscriptions-et-demandes-de-soutien>
(Dernière consultation le 06.08.18)

15 RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

15.1 RECOMMANDATIONS

Concernant les usagers, il est recommandé de sensibiliser ces personnes sur la manière dont l'aération des locaux doit être effectuée. Les aérations doivent être brève mais le débit d'air doit être important ; les fenêtres sont grande ouverte trois fois par jour pendant environ 5 à 10 minutes, pendant les pauses par exemple. Les fenêtres basculantes laissent s'échapper beaucoup d'énergie sans pour autant offrir un renouvellement de l'air adéquat.

En parallèle, la gestion des apports de chaleur doit être régulée par des vannes thermostatiques mais l'apport de chaleur dans les locaux et pièces inoccupés (enclenchement manuel ou programmable) doit permettre de réduire en grande partie la consommation en chaleur du bâtiment

Afin d'obtenir un visuel de la complexité des déperditions thermique du bâtiment, une mesure thermographique réalisée en hiver lorsque la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est la plus marquée permettrait de distinguer les éléments perfectibles principaux et de mettre en évidence d'éventuels ponts thermiques afin de les intégrer au modèle. Les pouvoirs isolants des éléments d'enveloppe sont récupérés d'une étude préliminaire réalisée en 2012. Des mesures et/ou évaluations supplémentaires pourraient être réalisées pour améliorer la justesse de la simulation.

15.2 PERSPECTIVES ET AMÉLIORATIONS

Certains aspects à améliorer ont été traités précédemment ; il en ressort principalement un manque de connaissances vis-à-vis des installations, de la complexité de manœuvre et la possibilité de réalisation des propositions de rénovation et de remplacement des chaudières.

Les évaluations et simulations sont réalisées sur le bâtiment de Gravelone uniquement et ne prennent pas en comptes les synergies avec les bâtiments d'habitations et écoles voisines. Un géomodelling de la localité pourrait mettre en évidence les dépenses énergétiques du quartier de Gravelone et proposer un rassemblement de la production de chauffage.

Pour la suite de ce travail, il est question principalement d'étudier la faisabilité pratique et technique des suggestions précédentes et, à l'aide des informations recueillies par un comité d'experts provenant de corps de métiers différents (chauffagistes, fumistes, électriciens, plombiers, architectes et constructeurs), de réaliser un cahier des charges intégrant le détail des travaux à réaliser et de réaliser des appels d'offres envers différents fournisseurs. Le choix du prestataire, le suivi des travaux et le retour de l'expérience acquise sont les dernières étapes découlant de cette optimisation et audit énergétique.

16 CONCLUSION

Pour conclure ce travail, il est essentiel de constater que, depuis plusieurs années, le bouleversement économique et énergétique lié à la surconsommation des ressources d'énergies fossiles et à l'accroissement de la consommation mondiale induit, dans tous les secteurs (industries, habitations, administrations, écoles), une augmentation des actions à entreprendre malgré leurs incertitudes et leurs difficultés sur les plans techniques, économiques et sociaux. Aujourd'hui, il est admis que chaque décision prise en matière de planification énergétique a un impact sur les 50 prochaines années. Le centre scolaire de Gravelone ne déroge pas à cette règle. Les décisions concernant la rénovation complète des bâtiments A, B, C, D et E peuvent être considérées comme des mesures d'exemplarité dans le contexte énergétique du XXI^e siècle.

Ce projet traite des caractéristiques d'un bâtiment scolaire de grande envergure appartenant à la ville de Sion, de l'évaluation énergétique et de son optimisation autour de différents critères attribués. Il a permis de démontrer différentes stratégies d'approches, leurs avantages et leurs inconvénients en apportant, intrinsèquement à ce document, une aide à la décision pour le propriétaire.

Les propositions mentionnées dans ce rapport comprennent trois mesures de rénovations de l'enveloppe selon le degré des travaux, le remplacement des chaudières par des modèles plus performants (chaudières à gaz et/ou chaudières à pellets) ainsi qu'une proposition de couverture de l'électricité consommée par des installations photovoltaïques.

L'amélioration du confort des usagers en garantissant l'assurance d'une meilleure longévité démontre la responsabilité de la ville de Sion dans sa stratégie de gestion du tissu urbain.

Florian Smets

.....

17 ANNEXES

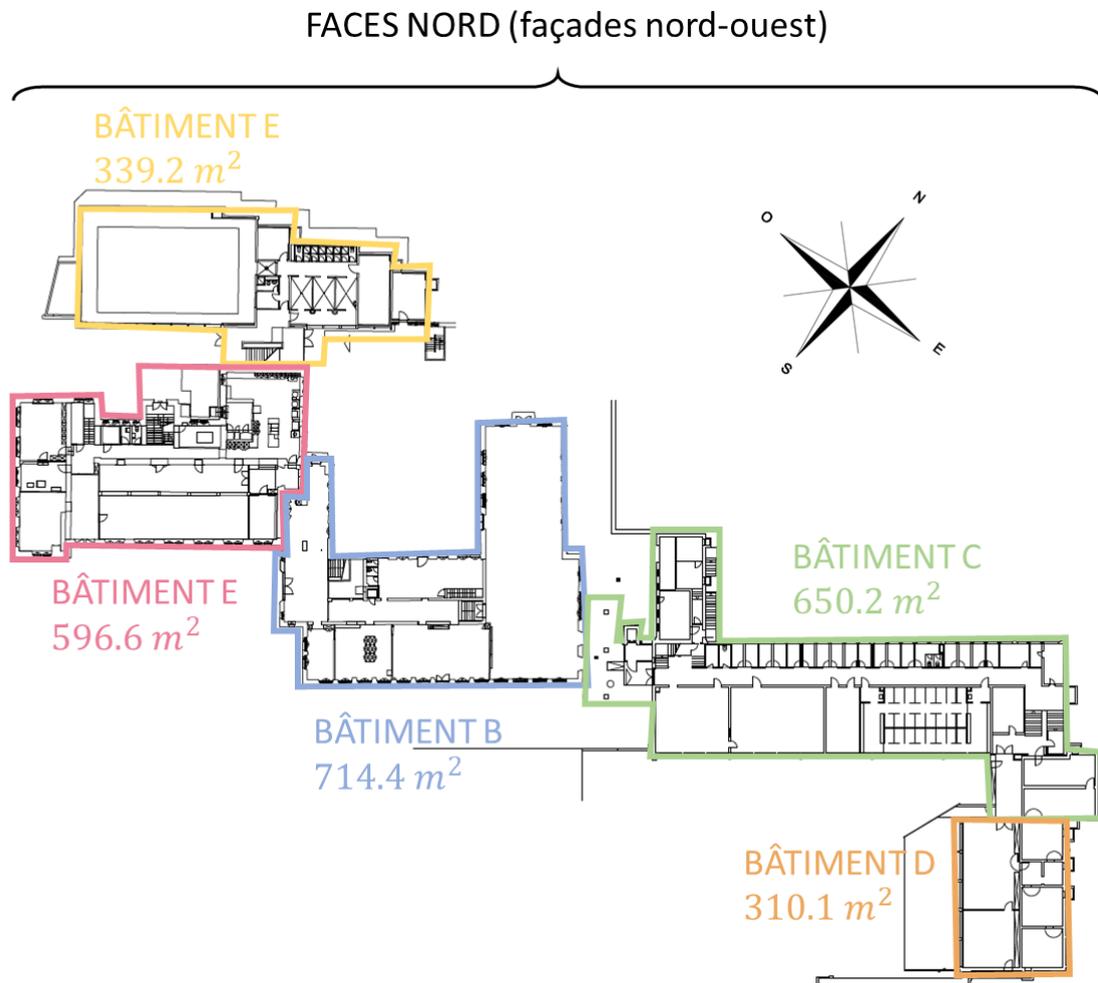
17.0 TABLE DES ANNEXES

| | | |
|-------|--|----|
| 17.1 | Annexe 1 : Diagramme Gantt (version finale)..... | 1 |
| 17.2 | Annexe 2 : Représentation aérienne des bâtiments et leur orientation | 2 |
| 17.3 | Annexe 3 : Données surfaciques et volumiques des bâtiments :..... | 3 |
| 17.4 | Annexe 4 : Données des installations..... | 5 |
| 17.5 | Annexe 5 : Données d’approvisionnement énergétiques..... | 6 |
| 17.6 | Annexe 6 : Flux ressources du site | 9 |
| 17.7 | Annexe 7 : Données des Diagnostic EPIQR+..... | 10 |
| 17.8 | Annexe 8 : Répertoire des éléments de bâtisse | 15 |
| 17.9 | Annexe 9 : Etude des coûts et investissements de rénovation..... | 24 |
| 17.10 | Annexe 10 : Stratégies de maintenance..... | 26 |
| 17.11 | Annexe 11 : Récapitulatif des coûts – production de chaleur..... | 27 |
| 17.12 | Annexe 12 : Récapitulatif des plans et coûts de rénovations | 33 |
| 17.13 | Annexe 13 : Comparaison des stratégies | 35 |
| 17.14 | Annexe 14 : Pré-évaluation Swissolar | 36 |
| 17.15 | Annexe 15 : Résultats de simulation PV-Syst | 37 |
| 17.16 | Annexe 16 : Résultats économiques PV-Syst | 48 |
| 17.17 | Annexe 17 : Images diverses | 50 |

17.1 ANNEXE 1 : DIAGRAMME GANTT (VERSION FINALE)

| Diagramme de Gantt | | Calendrier Hebdomadaire | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Tâches | Sous-tâches | 14.5 | 21.5 | 28.5 | 4.6 | 11.6 | 18.6 | 25.6 | 2.7 | 9.7 | 16.7 | 23.7 | 30.7 | 6.8 | 13.8 | 20.8 | 27.8 | 3.9 |
| Phase d'Initialisation | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contexte | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cadre | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Etat des lieux | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Phase Cadre | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disposition légales | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aspects économiques | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Phase de Réalisation | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mesure(s) d'assainissement | Potentiel | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Limites et contraintes | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Simulation numériques | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Coûts et rentabilité | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Production renouvelables | Potentiel | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Limites et contraintes | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Simulation numériques | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Coûts et rentabilité | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perspectives | Bilan et rétrospective | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Amélioration(s) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Réserve | - | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Phase de Finalisation | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Délais | Présentation intermédiaire | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Rapport final | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Poster | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Présentation | | | | | | | | | | | | | | | | | |

17.2 ANNEXE 2 : REPRÉSENTATION AÉRIENNE DES BÂTIMENTS ET LEUR ORIENTATION



17.3 ANNEXE 3 : DONNÉES SURFACIQUES ET VOLUMIQUES DES BÂTIMENTS :

Calcul de la SP et du cube SIA 116 (1)

m b d s a
 architectes sia

Centre scolaire de Gravelone
 Ville de Sion

1950 Sion
Objet 479'2

Calcul de la SP et du cube sia 116

JD / 24.02.2012

| corps de bâtiment | bâtiment A | | | bâtiment B | | | bâtiment C | | | bâtiment D | | | bâtiment E | | |
|-------------------------------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|
| | S [m ²] | H [m] | V [m ³] | S [m ²] | H [m] | V [m ³] | S [m ²] | H [m] | V [m ³] | S [m ²] | H [m] | V [m ³] | S [m ²] | H [m] | V [m ³] |
| niveau 4 | | | 0 | 504.6 | 2.70 | 1'362 | 603.0 | 2.90 | 1749 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 18.6 | 2.90 | 54 | | | 0 | | | 0 |
| niveau 3 | 554.2 | 3.25 | 1801 | 504.6 | 3.06 | 1'544 | 650.2 | 3.10 | 2016 | | | 0 | 297.6 | 3.10 | 923 |
| | | | 0 | | | 0 | 25.1 | 3.10 | 78 | | | 0 | 41.6 | 2.97 | 124 |
| niveau 2 | 554.2 | 3.33 | 1845 | 504.6 | 3.13 | 1'579 | 650.2 | 3.10 | 2016 | | | 0 | 339.2 | 3.10 | 1052 |
| | 21.6 | 3.45 | 75 | 160.1 | 5.80 | 929 | 69.2 | 3.10 | 215 | | | 0 | | | 0 |
| | 22.1 | 3.45 | 76 | 49.7 | 3.30 | 164 | 38.1 | 3.10 | 118 | | | 0 | | | 0 |
| niveau 1 | 597.9 | 3.66 | 2'188 | 714.4 | 3.12 | 2'229 | 650.2 | 3.10 | 2016 | 310.1 | 6.80 | 2'109 | 339.2 | 3.10 | 1052 |
| | | | 0 | | | 0 | 69.2 | 3.10 | 215 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 67.3 | 3.10 | 209 | | | 0 | | | 0 |
| niveau 0 | 597.9 | 3.79 | 2'266 | 379.0 | 3.14 | 1'190 | 650.2 | 3.10 | 2016 | 225.5 | 3.10 | 699 | 153.3 | 3.53 | 541 |
| | | | 0 | 335.4 | 4.03 | 1'352 | 13.0 | 3.10 | 40 | | | 0 | 168.9 | 3.53 | 596 |
| | | | 0 | 24.3 | 3.29 | 80 | 72.9 | 3.10 | 226 | | | 0 | 121.8 | 3.63 | 442 |
| | | | 0 | | | 0 | 88.1 | 3.10 | 273 | | | 0 | 20.2 | 2.80 | 57 |
| | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | 35.8 | 3.63 | 130 |
| | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | 23.8 | 3.63 | 86 |
| | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | 17.0 | 5.18 | 88 |
| niveau -1 | 170.2 | 3.86 | 657 | 28.1 | 2.40 | 67 | 60.0 | 1.60 | 96 | | | 0 | 322.2 | 2.27 | 731 |
| | 51.1 | 3.00 | 153 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | 5.1 | 1.50 | 8 |
| | | | 9062 | | | 10'497 | | | 11'334 | | | 2'808 | | | 5'829 |
| SP par bâtiment [m ²] : | 2'569 | bâtiment A | 3'205 | bâtiment B | 3'725 | bâtiment C | 536 | bâtiment D | 1'886 | bâtiment E | | | | | |

Calcul de la SP et du cube SIA (2)

| | bâtiment A | | | bâtiment B | | | bâtiment C | | | bâtiment D | | | bâtiment E | | |
|------------------------------------|------------|-------|--------------|------------|-------|--------------|------------|-------|--------------|------------|-------|-------------|------------|-------|-------------|
| | S [m²] | H [m] | V [m³] | S [m²] | H [m] | V [m³] | S [m²] | H [m] | V [m³] | S [m²] | H [m] | V [m³] | S [m²] | H [m] | V [m³] |
| suppléments | | | | | | | | | | | | | | | |
| accès | | | 0 | 7.9 | 1.50 | 12 | 62.5 | 1.60 | 100 | | | 0 | 10.4 | 1.50 | 16 |
| | | | 0 | | | 0 | 14.0 | 3.10 | 43 | | | 0 | 10.6 | 1.50 | 16 |
| | | | 0 | | | 0 | 8.2 | 2.20 | 18 | | | 0 | 10.3 | 3.63 | 37 |
| | | | 0 | | | 0 | 4.4 | 1.50 | 7 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 20.8 | 3.00 | 62 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 29.2 | 3.00 | 88 | | | 0 | | | 0 |
| radier "chauffé" | 597.9 | 1.00 | 598 | 379.0 | 1.00 | 379 | 650.2 | 1.00 | 650 | 125.0 | 1.00 | 125 | 170.3 | 1.00 | 170 |
| | | | 0 | 335.4 | 1.00 | 335 | 13.0 | 1.00 | 13 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | 24.3 | 1.00 | 24 | | | 0 | | | 0 | | | 0 |
| sauts-de-loup | | | 0 | | | 0 | 1.7 | 6.00 | 10 | 1.5 | 5.00 | 8 | 2.2 | 2.50 | 6 |
| | | | 0 | | | 0 | 2.4 | 4.00 | 10 | 1.4 | 5.00 | 7 | 1.4 | 2.50 | 4 |
| | | | 0 | | | 0 | 1.0 | 2.00 | 2 | 1.5 | 5.00 | 8 | 1.6 | 2.50 | 4 |
| | | | 0 | | | 0 | 1.0 | 2.00 | 2 | 1.5 | 5.00 | 8 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | | | 0 | 2.0 | 3.00 | 6 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | | | 0 | 23.0 | 1.50 | 35 | | | 0 |
| balcons | | | 0 | | | 0 | 6.3 | 1.00 | 6 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 6.3 | 1.00 | 6 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 67.5 | 1.00 | 68 | | | 0 | | | 0 |
| toiture | 51.1 | 1.00 | 51 | 24.3 | 1.00 | 24 | 72.9 | 1.00 | 73 | 277.3 | 1.00 | 277 | 121.8 | 1.00 | 122 |
| | 21.6 | 1.00 | 22 | 160.1 | 1.00 | 160 | 20.8 | 1.00 | 21 | 32.8 | 0.50 | 16 | 20.2 | 1.00 | 20 |
| | 22.1 | 1.00 | 22 | 49.7 | 0.50 | 25 | 29.2 | 1.00 | 29 | 14.0 | 2.00 | 28 | 35.8 | 1.00 | 36 |
| | 554.2 | 1.00 | 554 | 504.6 | 1.00 | 505 | 38.1 | 0.50 | 19 | | | 0 | 23.8 | 1.00 | 24 |
| | | | 0 | | | 0 | 23.6 | 0.50 | 12 | | | 0 | 297.6 | 1.00 | 298 |
| | | | 0 | | | 0 | 1.9 | 0.50 | 1 | | | 0 | 41.6 | 0.50 | 21 |
| | | | 0 | | | 0 | 24.9 | 0.50 | 12 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 6.5 | 0.50 | 3 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 18.6 | 0.50 | 9 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 603.0 | 1.00 | 603 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 0 | | | 0 | 67.5 | 1.00 | 68 | | | 0 | | | 0 |
| | | | 1247 | | | 1464 | | | 1935 | | | 517 | | | 772 |
| Volume sia 116 total [m³] : | | | 10309 | | | 11961 | | | 13269 | | | 3324 | | | 6601 |

imprimé le 28/03/2012 à 15:51

Z:\Affaires\4792 Centre scolaire Gravelone - diagnosticalcalcul du cube\2012 02 24 calcul du cube

17.4 ANNEXE 4 : DONNÉES DES INSTALLATIONS

Chaudière à gaz (n°1)

| Information | Valeur | Unité |
|-----------------------------------|-----------------|-------|
| Type | BNG 700 – 11400 | - |
| Pression de service max. | 4 | Bars |
| Température de chaudière min. | 95 | °C |
| Température de retour min. | 50 | °C |
| Puissance nominale min. / max. | 250 / 400 | kW |
| Puissance calorifique min. / max. | 280 / 400 | kW |
| Chauffe-eau | CSH 500 | - |
| Contenance | 500 | L |

Chaudière à mazout (n°2)

| Information | Valeur | Unité |
|---------------------------------|------------|-------|
| Type | RRC1S-6 | - |
| Fabricant | STREBEL RU | |
| Puissance thermique | 326.0 | kW |
| Pression de service max. | 4 | Bars |
| Température d'exploitation max. | 110 | °C |
| Année de fabrication | 1986 | - |

Chauffe-eau n°2

| Information | Valeur | Unité | |
|----------------------------|----------------|---------|-----|
| Type de chauffe-eau | Modul-plus F41 | - | |
| Fabricant | Hoval | | |
| Contenance | Chauffe-eau | 460 | L |
| | Chauffage | 60 | L |
| Pression de service | Chauffe-eau | 6 | Bar |
| | Chauffage | 5 | Bar |
| Pression d'essai | Chauffe-eau | 12 | Bar |
| | Chauffage | 7.5 | Bar |
| Température d'exploitation | Chauffe-eau | Max. 80 | °C |
| | Chauffage | Max. 90 | °C |

Monobloc de ventilation

| ECOPOOL SWP | Débit d'air [m3/h] | Surface du bassin [m2] | Hauteur de l'ensemble [mm] | Profondeur de l'ensemble [mm] | Longueur de l'ensemble ¹⁾ [mm] |
|-------------|--------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|---|
| SWP 6.8 | 5600 - 6800 | 115 - 251 | 2180 | 1280 | 4160 |

1) Modèles selon la directive relative à l'hygiène SICC VA 104-01 longueur + 400 mm

17.5 ANNEXE 5 : DONNÉES D'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUES

Désignations et références des consommations

| Élément | Désignation | Référence ESR | Compteur n° |
|------------------------|---------------------------------------|---------------|-------------|
| Electricité n°1 | Centre scolaire de Gravelone/NO 1240 | 69014001 | 600434 |
| Electricité n°2 | Appt. combles / R. Pré-d'Amédée 14 | 69014100 | 81856 |
| Eau n°1 | Centre scolaire de Gravelone/Bloc ABD | 69014000 | 11257 |
| Eau n°2 | Centre scolaire de Gravelone/NO 1240 | 69014001 | 8787 |
| Gaz n°1 | Centre scolaire de Gravelone/Bloc ABD | 69014000 | 14428 |
| Gaz n°2 | Centre scolaire de Gravelone/NO 1240 | 69014001 | 13411 |
| Mazout | Complexe Gravelone | n.a | n.a |

Electricité #1 : NO1240

| Période | 2014 | | 2015 | | 2016 | | 2017 | |
|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | HP [kWh] | HC [kWh] |
| Bimestre 1 | 35 709 | 7 812 | 33 984 | 7 038 | 36 456 | 7 908 | 28 227 | 6 252 |
| Bimestre 2 | 31 890 | 6 645 | 28 665 | 5 688 | 30 288 | 6 171 | 32 385 | 5 967 |
| Bimestre 3 | 34 320 | 7 239 | 35 418 | 7 458 | 30 258 | 5 634 | 25 074 | 4 950 |
| Bimestre 4 | 14 364 | 4 101 | 15 558 | 4 788 | 10 491 | 2 850 | 18 855 | 4 989 |
| Bimestre 5 | 27 057 | 4 728 | 21 795 | 3 609 | 26 850 | 4 821 | 17 310 | 3 690 |
| Bimestre 6 | 33 054 | 5 790 | 29 877 | 5 859 | 34 695 | 6 783 | 28 101 | 4 806 |
| Totaux | 176 000 | 36 000 | 165 000 | 34 000 | 169 000 | 34 000 | 150 000 | 31 000 |
| Factures : | fr. 39 506 | | fr. 36 424 | | fr. 37 277 | | fr. 32 924 | |

Electricité #2 : Appartements du concierge

| Période | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | HP [kWh] | HP [kWh] | HP [kWh] | HP [kWh] |
| Annuel | 1530 | 2865 | 1672 | 1557 |
| Factures : | fr. 344 | fr. 547 | fr. 350 | fr. 318 |

Eau #1 : Bloc ABD

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Période | Conso_Eau [m3] | Conso_Eau [m3] | Conso_Eau [m3] | Conso_Eau [m3] |
| Bimestre 1 | 737 | 974 | 1010 | 1037 |
| Bimestre 2 | 908 | 836 | 1147 | 1537 |
| Bimestre 3 | 919 | 1204 | 1535 | 787 |
| Bimestre 4 | 895 | 960 | 1285 | 2852 |
| Bimestre 5 | 757 | 606 | 1920 | 1168 |
| Bimestre 6 | 977 | 904 | 1640 | 1105 |
| Totaux | 5193 | 5484 | 8537 | 8486 |
| Factures : | fr. 22 291 | fr. 22 665 | fr. 26 588 | fr. 26 523 |

Eau #2 : NO1240

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Période | Conso_Eau [m3] | Conso_Eau [m3] | Conso_Eau [m3] | Conso_Eau [m3] |
| Bimestre 1 | 152 | 17 | 5 | 40 |
| Bimestre 2 | 98 | 302 | 102 | 50 |
| Bimestre 3 | 114 | 109 | 4 | 81 |
| Bimestre 4 | 91 | 41 | 7 | 208 |
| Bimestre 5 | 76 | 40 | 122 | 91 |
| Bimestre 6 | 51 | 19 | 54 | 84 |
| Totaux | 582 | 528 | 294 | 554 |
| Factures : | fr. 2 915 | fr. 2 846 | fr. 2 545 | fr. 2 879 |

Gaz #1 : Bloc ABD

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Période | Conso_Gaz [kWh] | | | |
| Bimestre 1 | 230 257 | 234 958 | 264 680 | 238 541 |
| Bimestre 2 | 145 758 | 174 701 | 154 506 | 130 601 |
| Bimestre 3 | 72 094 | 85 363 | 73 885 | 54 956 |
| Bimestre 4 | 34 287 | 33 443 | 25 254 | 34 866 |
| Bimestre 5 | 29 902 | 36 384 | 42 434 | 32 063 |
| Bimestre 6 | 123 761 | 146 358 | 196 550 | 176 608 |
| Totaux | 636 057 | 711 208 | 757 310 | 667 635 |
| Factures : | fr. 40 592 | fr. 40 203 | fr. 42 494 | fr. 40 202 |

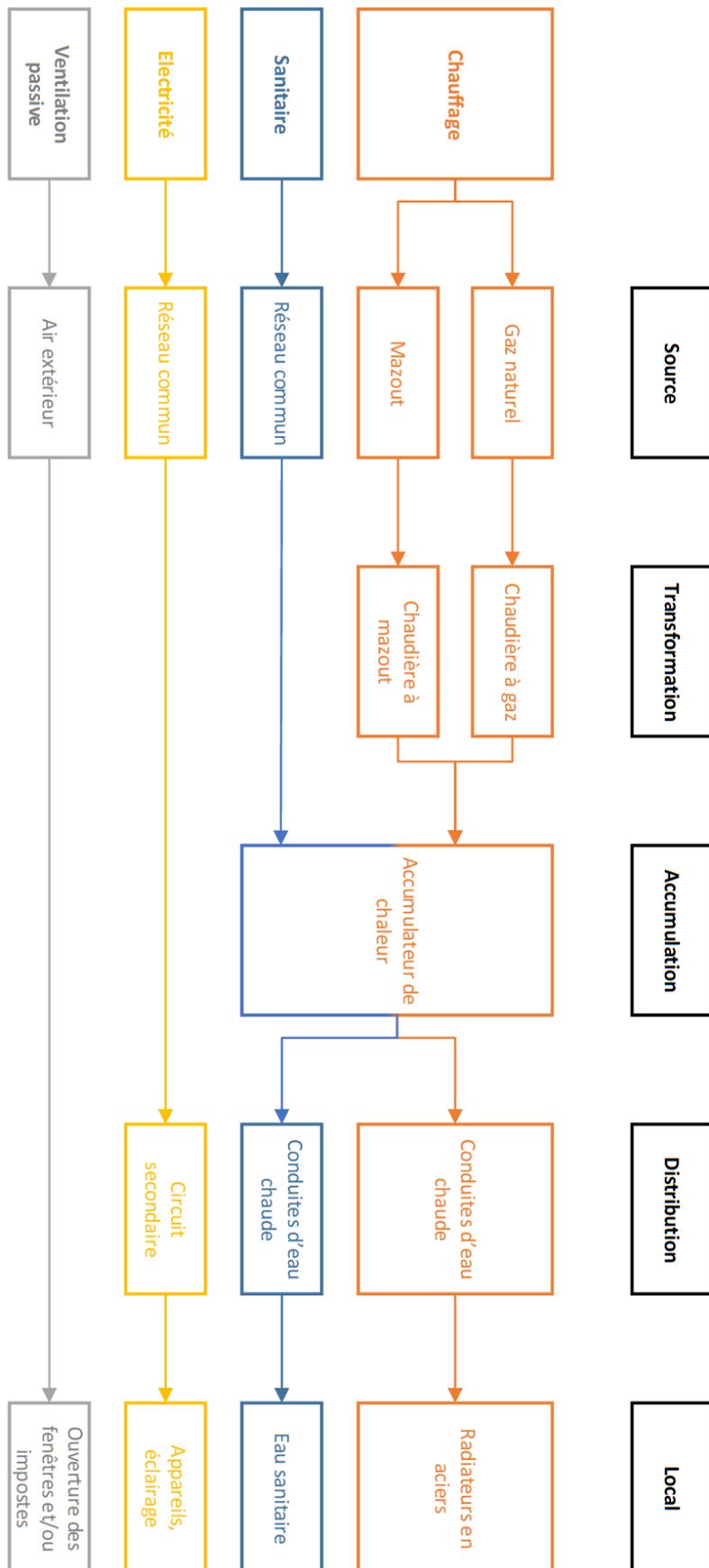
Gaz #2 : NO1240

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Période | Conso_Gaz [kWh] | | | |
| Bimestre 1 | 411 | 306 | 306 | 358 |
| Bimestre 2 | 337 | 253 | 295 | 337 |
| Bimestre 3 | 327 | 327 | 274 | 401 |
| Bimestre 4 | 42 | 84 | 84 | 158 |
| Bimestre 5 | 242 | 232 | 285 | 0 |
| Bimestre 6 | 264 | 295 | 337 | - |
| Totaux | 1623 | 1497 | 1581 | 1254 |
| Factures : | fr. 363 | fr. 345 | fr. 350 | fr. 288 |

Mazout : Complexe Gravelone

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--|
| | Conso_Mazout [kWh] | | | |
| Estimations | 200 000 | 200 000 | 200 000 | |
| Relevées | - | - | - | 93 350 (01.01 au 19.02) 271 860 (20.02 au 15.01.18) |
| | 200 000 | 200 000 | 200 000 | 341 873 (rapporté sur une année) |
| Factures : | fr. 15 386 | fr. 15 386 | fr. 15 386 | fr. 28 095 |
| | | | | Fr. 26 300 |

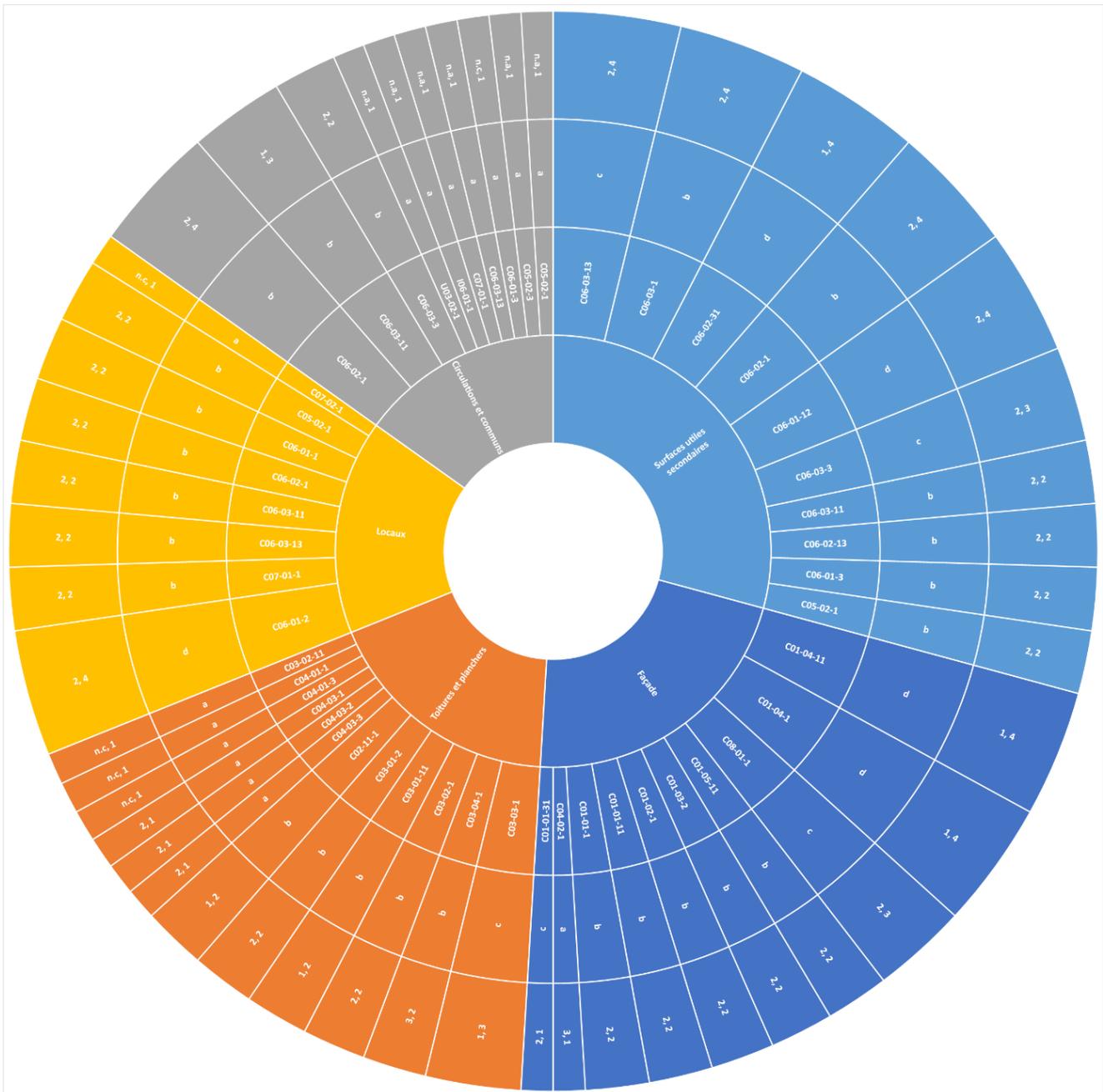
17.6 ANNEXE 6 : FLUX RESSOURCES DU SITE



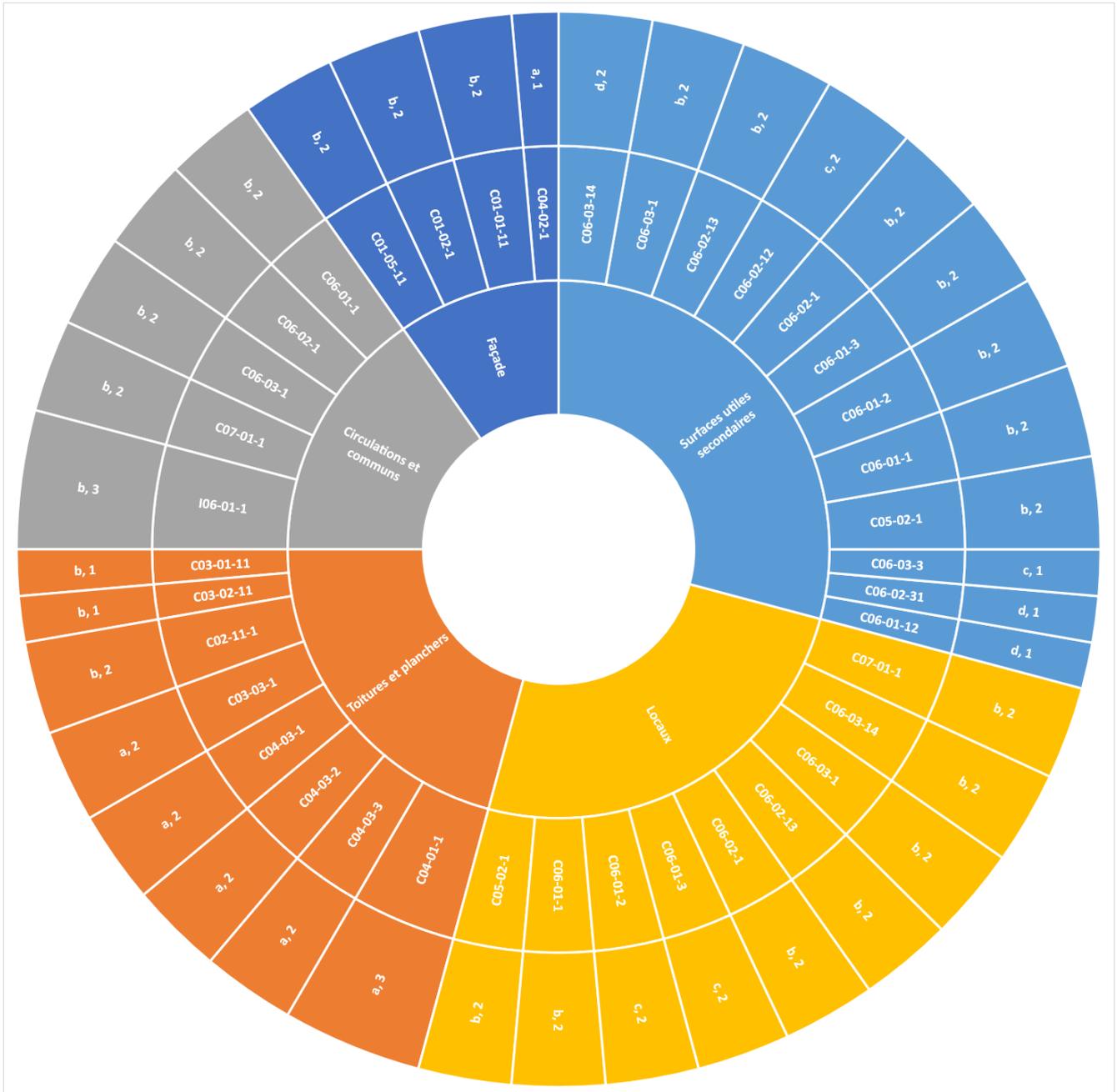
17.7 ANNEXE 7 : DONNÉES DES DIAGNOSTIC EPIQR+ CODE COULEUR

| Élément | Couleur attribuée |
|------------------------------------|-------------------|
| Circulation et communs | Gris |
| Locaux | Jaune |
| Toitures et planchers | Orange |
| Façades | Bleu foncé |
| Surfaces utiles secondaires | Bleu clair |

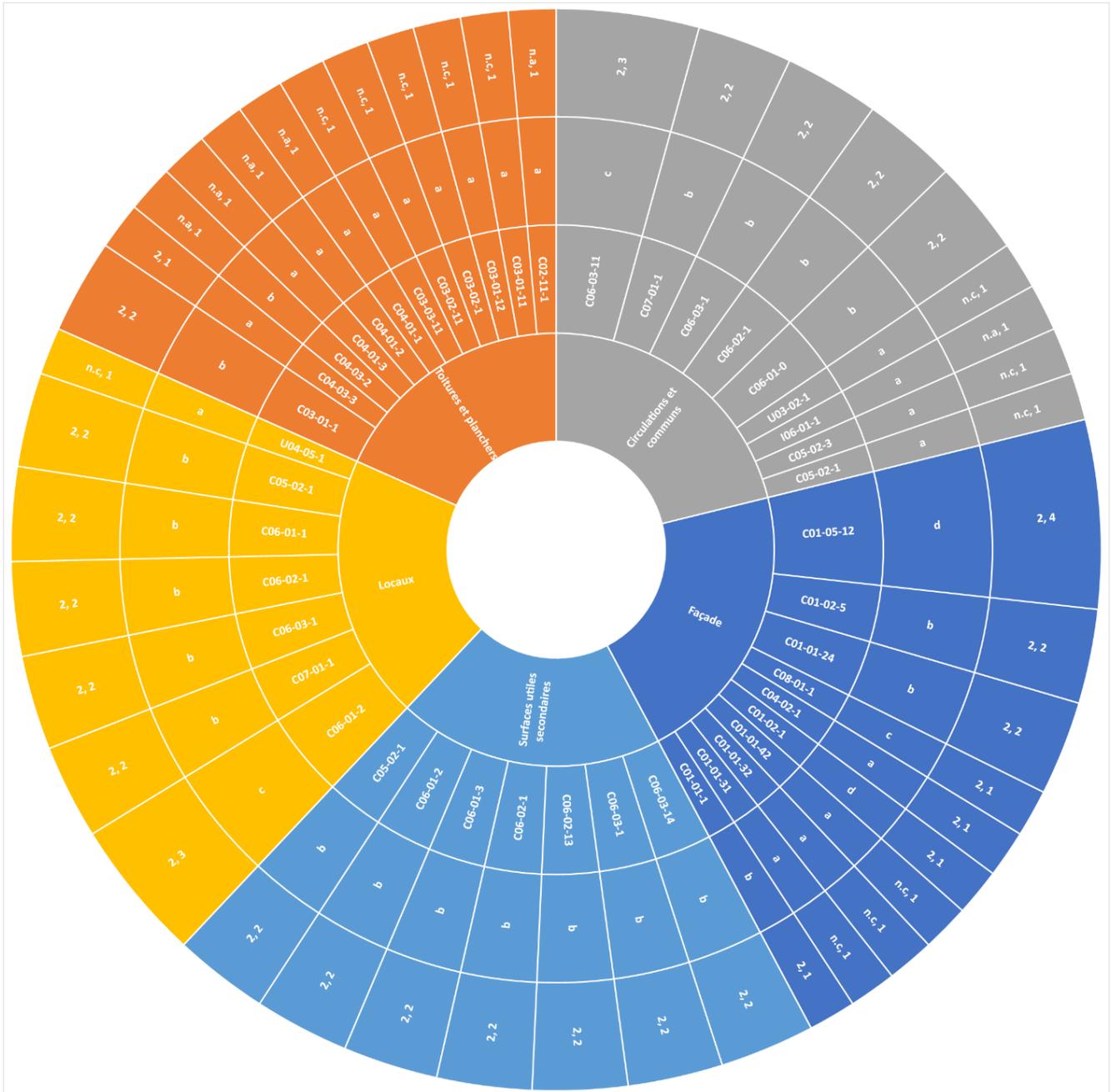
BÂTIMENT A



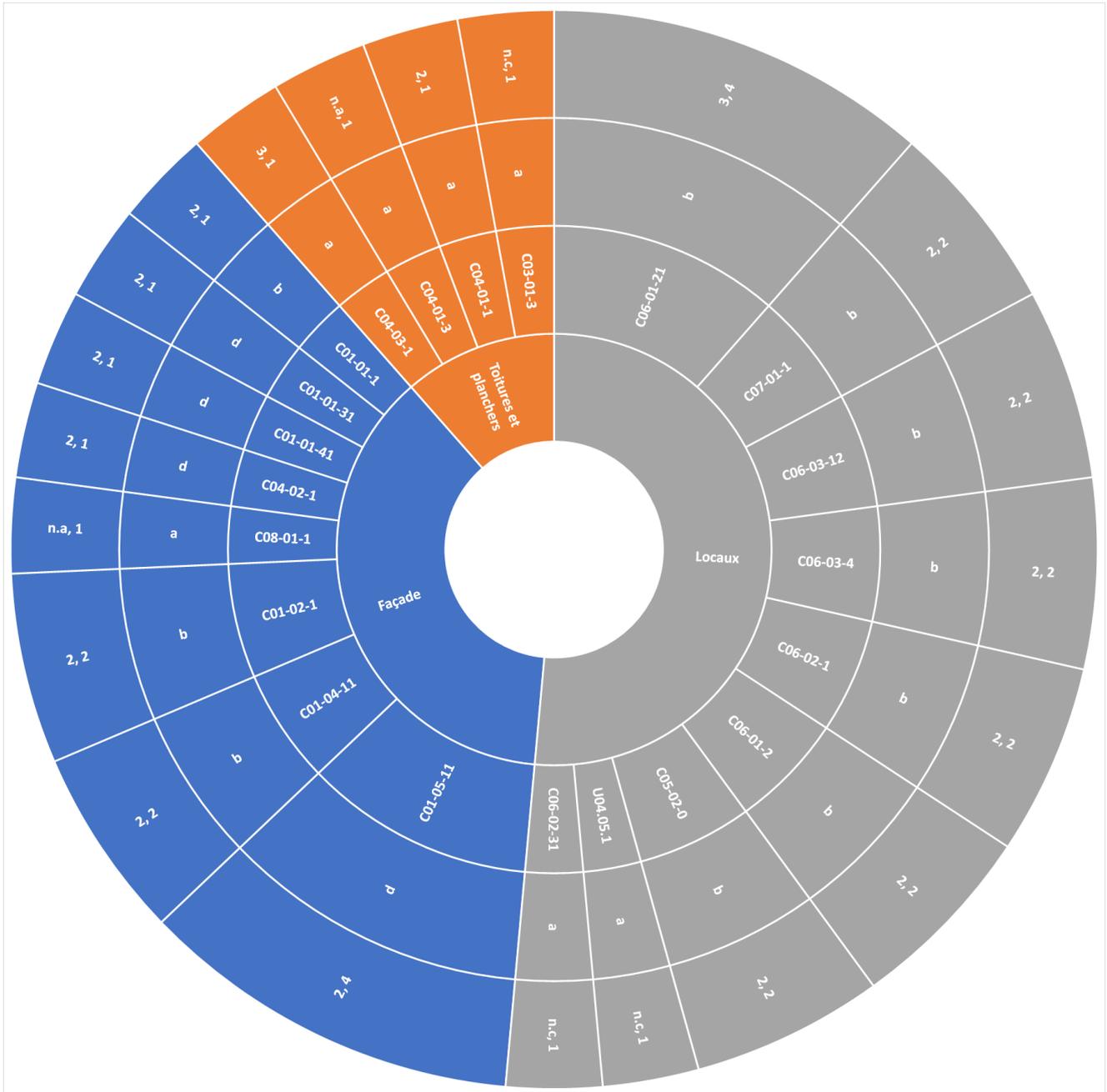
BÂTIMENT B



BÂTIMENT C



BÂTIMENT D



17.8 ANNEXE 8 : RÉPERTOIRE DES ÉLÉMENTS DE BÂTISSE

BÂTIMENT A

| Face Nord | | | | |
|-----------|------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Élément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 213.3 | 1 | 213.3 |
| | Fenêtres - profil 1 | 3.8 | 3 | 11.4 |
| | Fenêtres - profil 2 | 1.9 | 1 | 1.9 |
| | Fenêtres - profil 3 | 1.9 | 1 | 1.9 |
| | Fenêtres - profil 5 | 0.6 | 12 | 7.2 |
| | Fenêtres - profil 7 | 1.2 | 3 | 3.6 |
| | Fenêtres - profil 8 | 2.3 | 3 | 6.9 |
| | Caissons de stores | 2.9 | 1 | 2.9 |
| Façade 2 | Face extérieure pierre | 115.7 | 1 | 115.7 |
| | Fenêtres - profil 4 | 0.8 | 4 | 3.2 |
| | Fenêtres - profil 6 | 0.6 | 4 | 2.4 |
| | Caissons de stores | 0.9 | 1 | 0.9 |
| | Porte | 3.3 | 1 | 3.3 |

| Face Est | | | | |
|----------|------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Élément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 78.6 | 1 | 78.6 |
| | Fenêtres - profil 1 | 3.8 | 3 | 11.4 |
| | Fenêtres - profil 11 | 2.5 | 3 | 7.5 |
| | Caissons de stores | 2.0 | 1 | 2.0 |
| Façade 2 | Face extérieure pierre | 42.6 | 1 | 42.6 |
| | Fenêtres - profil 10 | 1.1 | 6 | 6.6 |
| | Caissons de stores | 0.9 | 1 | 0.9 |
| Façade 3 | Face intérieure | 118.6 | 1 | 118.6 |

| Face Sud | | | | |
|----------|---------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Élément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 229.1 | 1 | 229.1 |
| | Fenêtres - profil 1 | 3.8 | 8 | 30.4 |
| | Fenêtres - profil 11 | 2.5 | 8 | 20.0 |
| | Caissons de stores | 5.2 | 1 | 5.2 |
| Façade 2 | Face extérieure pierre | 124.2 | 1 | 124.2 |
| | Fenêtres - profil 12 | 1.2 | 16 | 19.2 |
| | Caissons de stores | 2.4 | 1 | 2.4 |
| Façade 3 | Face extérieure fondation | 32.8 | 1 | 32.8 |
| | Fenêtres - profil 13 | 0.2 | 1 | 0.2 |

| Face Ouest | | | | |
|-----------------|----------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | <i>Face extérieure</i> | 132.8 | 1 | 132.8 |
| | <i>Fenêtres - profil 1</i> | 3.8 | 5 | 19.0 |
| | <i>Fenêtres - profil 11</i> | 2.5 | 5 | 12.5 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 3.3 | 1 | 3.3 |
| Façade 2 | <i>Face extérieure pierre</i> | 72.0 | 1 | 72.0 |
| | <i>Fenêtres - profil 4</i> | 1.2 | 10 | 12.0 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 1.4 | 1 | 1.4 |
| Façade 3 | <i>Face extérieure fondation</i> | 9.5 | 1 | 9.5 |
| Façade 4 | <i>Face intérieur fondation</i> | 9.5 | 1 | 9.5 |

| Toitures | | | | |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Toit | Elément de toit | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Toiture Nord | <i>Face inclinée</i> | 234.8 | 1 | 234.8 |
| | <i>Fenêtres - profil T1</i> | 0.9 | 2 | 1.8 |
| | <i>Fenêtres - profil T2</i> | 2.3 | 2 | 4.6 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 0.7 | 1 | 0.7 |
| Toiture Est | <i>Face inclinée</i> | 183.5 | 1 | 183.5 |
| | <i>Fenêtres - profil T1</i> | 0.9 | 3 | 2.7 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 0.5 | 1 | 0.5 |
| Toiture Sud | <i>Face inclinée</i> | 133.5 | 1 | 133.5 |
| | <i>Fenêtres - profil T1</i> | 0.9 | 4 | 3.6 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 0.7 | 1 | 0.7 |
| Toiture Ouest | <i>Face inclinée</i> | 234.8 | 1 | 234.8 |
| | <i>Fenêtres - profil T1</i> | 0.9 | 2 | 1.8 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 0.7 | 1 | 0.7 |

| Sols | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Surface | Elément de sol | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Surfaces au sol | <i>Plancher (sol)</i> | 426.4 | 1 | 426.4 |
| | <i>Planchers</i> | 265.0 | 1 | 265.0 |

BÂTIMENT B

| Face Nord | | | | |
|-----------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 373.5 | 1 | 373.5 |
| | Fenêtres - profil 9 | 2.6 | 3 | 7.8 |
| | Fenêtres - profil 14 | 1.3 | 1 | 1.3 |
| | Fenêtres - profil 15 | 2 | 16 | 32.0 |
| | Fenêtres - profil 16 | 1.6 | 7 | 11.2 |
| | Fenêtres - profil 17 | 1.6 | 3 | 4.8 |
| | Fenêtres - profil 18 | 1.7 | 6 | 10.2 |
| | Fenêtres - profil 19 | 2.3 | 1 | 2.3 |
| | Caissons de stores | 8.6 | 1 | 8.6 |
| | Porte 1 | 4.4 | 1 | 4.4 |
| | Porte 2 | 2.2 | 1 | 2.2 |
| Porte 3 | 2.2 | 1 | 2.2 | |

| Face Est | | | | |
|----------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 376.9 | 1 | 376.9 |
| | Fenêtres - profil 9 | 2.6 | 4 | 10.4 |
| | Fenêtres - profil 15 | 2.0 | 9 | 18.0 |
| | Fenêtres - profil 16 | 1.6 | 4 | 6.4 |
| | Fenêtres - profil 20 | 2.2 | 4 | 8.8 |
| | Caissons de stores | 10.3 | 1 | 10.3 |
| Façade 2 | Face contre bâtiment | 67.6 | 1 | 67.6 |

| Face Sud | | | | |
|----------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 373.5 | 1 | 373.5 |
| | Fenêtres - profil 9 | 3.8 | 38 | 144.4 |
| | Fenêtres - profil 16 | 2.5 | 13 | 32.5 |
| | Fenêtres - profil 21 | 3.1 | 1 | 3.1 |
| | Caissons de stores | 14.6 | 1 | 14.6 |

| Face Ouest | | | | |
|------------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 191.5 | 1 | 191.5 |
| | Fenêtres - profil 9 | 2.6 | 4 | 10.4 |
| | Fenêtres - profil 15 | 2.0 | 3 | 6.0 |
| | Fenêtres - profil 20 | 2.2 | 4 | 8.8 |
| | Caissons de stores | 2.5 | 1 | 2.5 |
| | Porte | 4.4 | 1 | 4.4 |
| Façade 2 | Face extérieure | 173.1 | 1 | 173.1 |
| | Fenêtres - profil 9 | 2.6 | 12 | 31.2 |
| | Fenêtres - profil 16 | 2.5 | 5 | 12.5 |
| | Caissons de stores | 4.7 | 1 | 4.7 |
| | Porte | 8.8 | 1 | 8.8 |
| Façade 3 | Face contre bâtiment | 188.4 | 1 | 188.4 |

| Toitures | | | | |
|---------------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Toit | Elément de toit | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Toiture Nord | Face inclinée | 221.8 | 1 | 221.8 |
| | Fenêtres - profil T3 | 1.3 | 6 | 7.8 |
| | Caissons de stores | 1.4 | 1 | 1.4 |
| Toiture Est | Face inclinée | 216.0 | 1 | 216.0 |
| | Fenêtres - profil T4 | 0.3 | 4 | 1.2 |
| Toiture Sud | Face inclinée | 221.8 | 1 | 221.8 |
| | Fenêtres - profil T4 | 0.3 | 2 | 0.6 |
| | Fenêtres - profil T5 | 3.0 | 4 | 12.0 |
| | Caissons de stores | 1.6 | 1 | 1.6 |
| Toiture Ouest | Face inclinée | 216.0 | 1 | 216.0 |

| Sols | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Surface | Elément de sol | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Surfaces au sol | Plancher (sol) | 714.4 | 1 | 714.4 |
| | Plancher sur surf. non chauffé | 28.1 | 1 | 28.1 |

BÂTIMENT C

| Face Nord | | | | |
|--------------------|----------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 677.9 | 1 | 677.9 |
| | Fenêtres - profil 1 | 1.3 | 1 | 1.3 |
| | Fenêtres - profil 2 | 1.0 | 22 | 22.0 |
| | Fenêtres - profil 3 | 2.6 | 3 | 7.8 |
| | Fenêtres - profil 4 | 2.0 | 8 | 16.0 |
| | Fenêtres - profil 5 | 2.8 | 13 | 36.4 |
| | Fenêtres - profil 6 | 3.7 | 26 | 96.2 |
| | Fenêtres - profil 7 | 1.7 | 15 | 25.5 |
| | Plaques alvéolaires | 41.0 | 1 | 41.0 |
| Caissons de stores | 31.0 | 1 | 31.0 | |
| Façade 2 | Face extérieure | 66.1 | 1 | 66.1 |
| Façade 3 | Face extérieure contre sol | 104.4 | 1 | 104.4 |

| Face Est | | | | |
|----------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 140.7 | 1 | 140.7 |
| | Fenêtres - profil 11 | 1.0 | 4 | 4.0 |
| | Caissons de stores | 1.0 | 1 | 1.0 |

| Face Sud | | | | |
|----------|----------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 609.6 | 1 | 609.6 |
| | Fenêtres - profil 10 | 1.9 | 8 | 15.2 |
| | Fenêtres - profil 11 | 3.9 | 52 | 202.8 |
| | Fenêtres - profil 12 | 2.7 | 15 | 40.5 |
| | Caissons de stores | 32.1 | 1 | 32.1 |
| Façade 2 | Face extérieure | 63.3 | 1 | 63.3 |
| Façade 3 | Face extérieure contre sol | 68.8 | 1 | 68.8 |
| Façade 4 | Face contre bâtiment | 33.7 | 1 | 33.7 |

| Face Ouest | | | | |
|------------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 135.1 | 1 | 135.1 |
| | Fenêtres - profil 8 | 1.0 | 1 | 1.0 |
| | Fenêtres - profil 9 | 3.5 | 1 | 3.5 |
| | Plaque alvéolaire | 7.6 | 1 | 7.6 |
| | Caissons de stores | 0.6 | 1 | 0.6 |
| Façade 2 | Face contre bâtiment | 71.8 | 1 | 71.8 |

| Toitures | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Toiture Nord | Face inclinée | 291.7 | 1 | 291.7 |
| Toiture Est | Face inclinée | 75.5 | 1 | 75.5 |
| Toiture Sud | Face inclinée | 291.7 | 1 | 291.7 |
| Toiture Ouest | Face inclinée | 75.5 | 1 | 75.5 |
| Toiture secondaire 1 | Face plane | 75.5 | 1 | 75.5 |
| Toiture secondaire 2 | Face plane | 70.5 | 1 | 70.5 |

| Sols | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Surfaces au sol | Plancher (sol) | 663.2 | 1 | 663.2 |
| | Plancher sur surf. non chauffé | 60.0 | 1 | 60.0 |
| | Plancher sur extérieur | 69.2 | 1 | 69.2 |

BÂTIMENT D

| Face Nord | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Façade 1</i> | <i>Face extérieure</i> | 36.0 | 1 | 36.0 |
| <i>Façade 2</i> | <i>Face contre bâtiment</i> | 32.6 | 1 | 32.6 |
| <i>Façade 3</i> | <i>Face contre local non chauffé</i> | 14.9 | 1 | 14.9 |
| <i>Façade 4</i> | <i>Face contre bâtiment</i> | 7.8 | 1 | 7.8 |

| Face Est | | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Façade 1</i> | <i>Face extérieure</i> | 166.6 | 1 | 166.6 |
| | <i>Plaque alvéolaire</i> | 4.2 | 7 | 29.4 |
| <i>Façade 2</i> | <i>Face non chauffée</i> | 75.9 | 1 | 75.9 |

| Face Sud | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Façade 1</i> | <i>Face contre bâtiment</i> | 91.2 | 1 | 91.2 |

| Face Ouest | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Façade 1</i> | <i>Face extérieure</i> | 242.5 | 1 | 242.5 |
| | <i>Plaque alvéolaire</i> | 10.8 | 7 | 75.6 |
| | <i>Fenêtres - profil 2</i> | 4.5 | 5 | 22.5 |
| | <i>Fenêtres - profil 3</i> | 0.8 | 21 | 16.8 |
| | <i>Caissons de stores</i> | 3.0 | 1 | 3.0 |

| Toitures | | | | |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Toiture secondaire 1</i> | <i>Face plane</i> | 310.1 | 1 | 310.1 |

| Sols | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Surfaces au sol</i> | <i>Plancher (sol)</i> | 217.0 | 1 | 217.0 |
| | <i>Plancher sur surf. non chauffé</i> | 96.0 | 1 | 96.0 |

BÂTIMENT E

| Face Nord | | | | |
|-----------|---------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 226 | 1 | 226.0 |
| | Fenêtres - profil 1 | 0.5 | 18 | 9.0 |
| Façade 2 | Face contre sol | 58.1 | 1 | 58.1 |
| Façade 3 | Face contre sol (piscine) | 37.8 | 1 | 37.8 |

| Face Est | | | | |
|----------|---------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 127.4 | 1 | 127.4 |
| | Fenêtres - profil 2 | 2.2 | 18 | 39.6 |
| | Fenêtres - profil 3 | 1.4 | 9 | 12.6 |
| | Fenêtres - profil 4 | 2.3 | 3 | 6.9 |
| Façade 2 | Face contre sol | 50.7 | 1 | 50.7 |
| Façade 3 | Face extérieure | 40.8 | 1 | 40.8 |
| | Fenêtres - profil 5 | 0.7 | 9 | 6.3 |
| | Fenêtres - profil 6 | 1.4 | 6 | 8.4 |
| Façade 4 | Face contre sol (piscine) | 22.7 | 1 | 22.7 |

| Face Sud | | | | |
|----------|---------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 133.7 | 1 | 133.7 |
| Façade 2 | Face contre bâtiment | 54.4 | 1 | 54.4 |
| Façade 3 | Face extérieure | 171.6 | 1 | 171.6 |
| Façade 4 | Face contre sol (piscine) | 37.8 | 1 | 37.8 |

| Face Ouest | | | | |
|------------|---------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| Façade 1 | Face extérieure | 127.4 | 1 | 127.4 |
| | Fenêtres - profil 2 | 2.2 | 24 | 52.8 |
| | Fenêtres - profil 5 | 0.7 | 9 | 6.3 |
| | Fenêtres - profil 6 | 1.4 | 6 | 8.4 |
| Façade 2 | Face contre sol | 29.7 | 1 | 29.7 |
| Façade 3 | Face contre garage | 21.0 | 1 | 21.0 |
| Façade 4 | Face contre sol (piscine) | 22.7 | 1 | 22.7 |

| Toitures | | | | |
|-------------------------|----------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Toiture Nord</i> | <i>Face inclinée</i> | 125.2 | 1 | 125.2 |
| <i>Toiture Est</i> | <i>Face inclinée</i> | 20.7 | 1 | 20.7 |
| <i>Toiture Sud</i> | <i>Face inclinée</i> | 88.4 | 1 | 88.4 |
| <i>Toiture Ouest</i> | <i>Face inclinée</i> | 28.4 | 1 | 28.4 |
| <i>Toit transitoire</i> | <i>Face plane</i> | 43.4 | 1 | 43.4 |
| <i>Toit piscine</i> | <i>Face plane</i> | 253.0 | 1 | 253.0 |

| Sols | | | | |
|------------------------|------------------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| Face | Elément de façade | Surface brute [m2] | Unité [-] | Surface totale [m2] |
| <i>Surfaces au sol</i> | <i>Plancher (sol)</i> | 348.0 | 1 | 348.0 |
| | <i>Plancher sur galeries</i> | 100.0 | 1 | 100.0 |

17.9 ANNEXE 9 : ÉTUDE DES COÛTS ET INVESTISSEMENTS DE RÉNOVATION

BASE DE DONNÉES

| Élément | Prix | unité |
|---------------------------------------|----------------|-------------------------------|
| <i>Façade et caissons de stores</i> | 129.42 | [CHF/m ²] |
| <i>Fenêtre</i> | 912.14 | [CHF/m ²] |
| <i>Caisson de stores</i> | 129.42 | [CHF/m ²] |
| <i>Porte (toute dimensions)</i> | 3778.4 3000 | [u.] [CHF/m ²] |
| <i>Toits (tous types confondus)</i> | 445 | [CHF/m ²] |
| <i>Planchers et surfaces aux sols</i> | 129.42 | [CHF/m ²] |
| <i>Plaque alvéolaire</i> | 85 | [CHF/m ²] |
| <i>Echafaudages</i> | 24 | [CHF/m ²] |

RÉPERTOIRE DES COÛTS – BÂTIMENT A

| Élément | Surface net [m ²] | Investissement [CHF] | Pertes après rénovation [MJ/m ²] | Gains thermiques [kWh/an] | Investissement énergétique [CHF/kWh] |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|---------------------------|--------------------------------------|
| <i>Façade</i> | 909 | CHF 118 000 | 281 | 62304 | 1.9 |
| <i>Fenêtre</i> | 192 | CHF 175 000 | 339 | 24069 | 7.3 |
| <i>Caisson de stores</i> | 21 | CHF 3 000 | 368 | 4788 | 0.6 |
| <i>Porte</i> | 3 | CHF 3 000 | 375 | 328 | 9.1 |
| <i>Toit</i> | 770 | CHF 342 000 | 286 | 58435 | 5.9 |
| <i>Plancher (local non chauffé)</i> | 265 | CHF 34 000 | 347 | 19019 | 1.8 |
| <i>Plancher (sol)</i> | 426 | CHF 55 000 | 305 | 46040 | 1.2 |

RÉPERTOIRE DES COÛTS – BÂTIMENT B

| Élément | Surface net [m ²] | Investissement [CHF] | Pertes après rénovation [MJ/m ²] | Gains thermiques [kWh] | Investissement énergétique [CHF/kWh] |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|------------------------|--------------------------------------|
| <i>Façade</i> | 1064 | CHF 138 000 | 249.1 | 50421 | 2.7 |
| <i>Fenêtre</i> | 381 | CHF 347 000 | 252.1 | 48216 | 7.2 |
| <i>Caisson de stores</i> | 44 | CHF 6 000 | 305.7 | 8820 | 0.7 |
| <i>Porte</i> | 18 | CHF 18 000 | 314.5 | 2352 | 7.7 |
| <i>Toit</i> | 849 | CHF 378 000 | 270.3 | 34839 | 10.8 |
| <i>Plancher loc. non chauffé</i> | 28 | CHF 4 000 | 315.6 | 1543 | 2.6 |
| <i>Plancher (sol)</i> | 714 | CHF 92 000 | 231.2 | 63578 | 1.4 |

RÉPERTOIRE DES COÛTS – BÂTIMENT C

| Élément | Surface net [m2] | Investissement [CHF] | Pertes après rénovation [MJ/m2] | Gains thermiques [kWh] | Investissement énergétique [CHF/kWh] |
|----------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| <i>Façade</i> | 1280 | CHF 166 000 | 249.3 | 118902 | 1.4 |
| <i>Fenêtre</i> | 472 | CHF 431 000 | 307.5 | 61138 | 7.0 |
| <i>Caisson de stores</i> | 65 | CHF 8 000 | 355.3 | 13697 | 0.6 |
| <i>Porte</i> | 0 | CHF 0 | n.a | n.a | n.a |
| <i>Toits inclinés</i> | 734 | CHF 327 000 | 318.1 | 50618 | 6.5 |
| <i>Toits plats</i> | 146 | CHF 65 000 | 357.6 | 11414 | 5.7 |
| <i>Plancher loc. non chauffé</i> | 60 | CHF 8 000 | 365.6 | 3474 | 2.3 |
| <i>Plancher (sol)</i> | 663 | CHF 86 000 | 299.3 | 69277 | 1.2 |
| <i>Plancher sur extérieur</i> | 69 | CHF 9 000 | 361.5 | 7543 | 1.2 |
| <i>Plaque alvéolaire</i> | 49 | CHF 4 000 | 365 | 4169 | 1.0 |

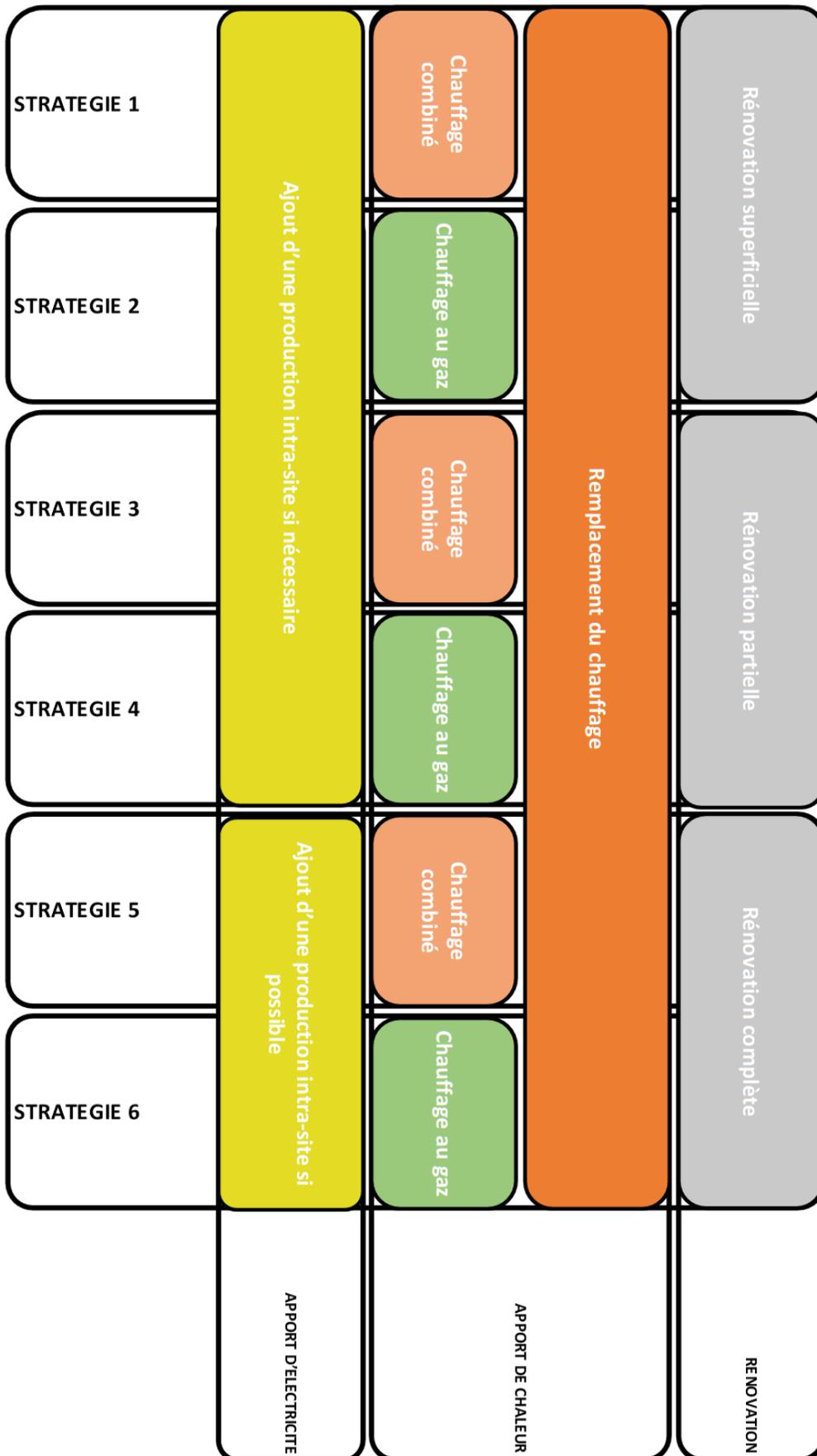
RÉPERTOIRE DES COÛTS – BÂTIMENT D

| Élément | Surface net [m2] | Investissement [CHF] | Pertes après rénovations [MJ/m2] | Gains thermiques [kWh] | Investissement énergétique [CHF/kWh] |
|----------------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| <i>Façade</i> | 389 | CHF 50 293 | 601.0 | 16782 | 3.0 |
| <i>Fenêtre</i> | 39 | CHF 35 847 | 709.4 | 3834 | 9.3 |
| <i>Caisson de stores</i> | 3 | CHF 388 | 736.9 | 549 | 0.7 |
| <i>Porte</i> | 0 | CHF 0 | n.a | n.a | n.a |
| <i>Toits plats</i> | 310 | CHF 48 878 | 588.0 | 18335 | 2.7 |
| <i>Plancher loc. non chauffé</i> | 96 | CHF 9 600 | 694.3 | 5638 | 1.7 |
| <i>Plancher (sol)</i> | 217 | CHF 21 700 | 578.1 | 19517 | 1.1 |
| <i>Plaque alvéolaire</i> | 105 | CHF 8 925 | 675.7 | 7859 | 1.1 |

RÉPERTOIRE DES COÛTS – BÂTIMENT E

| Élément | Surface net [m2] | Investissement [CHF] | Pertes après rénovations [MJ/m2] | Gains thermiques [kWh] | Investissement énergétique [CHF/kWh] |
|------------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| <i>Façade</i> | 836 | CHF 108208 | 328.1 | 49630 | 2.2 |
| <i>Fenêtre</i> | 150 | CHF 137095 | 398.5 | 19690 | 7.0 |
| <i>Caisson de stores</i> | 0 | CHF 0 | n.a | n.a | n.a |
| <i>Porte</i> | 0 | CHF 0 | n.a | n.a | n.a |
| <i>Toit</i> | 263 | CHF 41407 | 400.5 | 18840 | 2.2 |
| <i>Plancher sur galeries</i> | 100 | CHF 10000 | 396.6 | 20498 | 0.5 |
| <i>Plancher (sol)</i> | 348 | CHF 34800 | 359.4 | 36319 | 1.0 |
| <i>Galeries piscine</i> | 121 | CHF 12100 | 419.5 | 10760 | 1.1 |
| <i>Toit piscine</i> | 253 | CHF 39878 | 404.3 | 17224 | 2.3 |
| <i>Toits plats</i> | 43 | CHF 6841 | 437.5 | 3105 | 2.2 |

17.10 ANNEXE 10 : STRATÉGIES DE MAINTENANCE



17.11 ANNEXE 11 : RÉCAPITULATIF DES COÛTS – PRODUCTION DE CHALEUR

RÉCAPITULATIF DES COÛTS – STRATÉGIE 1

| Chaudière à pellet | |
|--|--------------------|
| <i>Modèle</i> | ECO-PK 200 |
| <i>Rendement moyen</i> | 93% |
| <i>Plage de puissance</i> | 30 - 100 % |
| <i>Quantité de pellets [kg]</i> | 83900 |
| Chaudière à gaz à condensation | |
| <i>Modèle</i> | Vitrocrossal 100 |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | 98% |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | 184 |
| <i>Conso gaz [m3/an]</i> | 74200 |
| Parts énergétiques (nettes) | |
| <i>Energie de chauffage [kWh]</i> | 1123890 |
| <i>Energie des pellets [kWh]</i> | 374630 |
| <i>Energie appoint gaz [kWh]</i> | 749260 |
| Données de combustibles | |
| <i>Pouvoir calorifique pellet [kWh/kg]</i> | 4.8 |
| <i>Prix pellet [CHF/t]</i> | 350 |
| <i>Pouvoir calorifique supérieur gaz [kWh/m3]</i> | 10.3 |
| <i>Prix gaz [ct/kWh]</i> | 10 |
| Facturation | |
| <i>Facture (part gaz naturel) [CHF]</i> | CHF 76 000 |
| <i>Facture (part pellet) [CHF]</i> | CHF 27 000 |
| Facture totale [CHF] | CHF 103 000 |
| Facture énergétique (référence) [CHF] | CHF 132 000 |
| Différence | CHF -29 000 |
| Démontage des chauffages | |
| <i>Démontage des installations existantes</i> | CHF 10 000 |
| Travaux de maçonnerie | |
| <i>Silo de pellet enterré, main-d'œuvre, etc</i> | CHF 210 000 |
| Production de chaleur | |
| <i>Chaudière à pellet avec installations de raccords, armatures, main-d'œuvre, etc</i> | CHF 210 000 |
| <i>Chaudière d'appoint au gaz</i> | CHF 250 000 |
| Montant (HT) | CHF 680 000 |
| TVA 8% | CHF 54 400 |
| MONTANT TOTAL TTC | CHF 734 400 |
| Amortissement de l'installation [année] | 25.3 |
| Gains annuels sur la durée de vie (20 ans) | -CHF 7 720 |

RÉCAPITULATIF DES COÛTS – STRATÉGIE 2

| Chaudière à gaz à condensation | |
|---|-------------------------|
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | <i>98%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>184</i> |
| <i>Conso gaz totale [m3/an]</i> | <i>74228</i> |
| <i>Unité</i> | <i>2</i> |
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | <i>98%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>220</i> |
| <i>Conso gaz totale [m3/an]</i> | <i>37114</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| Parts énergétiques (nettes) | |
| <i>Energie de chauffage [kWh]</i> | <i>1123890</i> |
| <i>Energie chaudière à gaz principale [kWh]</i> | <i>749260</i> |
| <i>Energie chaudière à gaz secondaire [kWh]</i> | <i>374630</i> |
| Données de combustibles | |
| <i>Pouvoir calorifique inférieur gaz [kWh/m3]</i> | <i>10.3</i> |
| <i>Prix gaz [ct/kWh]</i> | <i>10</i> |
| Facturation | |
| <i>Facture (part gaz naturel) [CHF]</i> | <i>CHF 115 000</i> |
| Facture totale [CHF] | CHF 115 000 |
| Facture énergétique (référence) [CHF] | CHF 132 000 |
| Différence | CHF -17 000 |
| Démontage du chauffage | |
| <i>Démontage des installations existantes</i> | <i>CHF 10 000</i> |
| Production de chaleur | |
| <i>Chaudières d'appoint au gaz</i> | <i>CHF 390 000</i> |
| Montant (HT) | CHF 400 000 |
| TVA 8% | CHF 32 000 |
| MONTANT TOTAL TTC | CHF 432 000 |
| Amortissement de l'installation [année] | 25.4 |
| Gains annuels sur la durée de vie (20 ans) | -CHF 4 600 |

RÉCAPITULATIF DES COÛTS – STRATÉGIE 3

| Chaudière à pellet | |
|--|--------------------|
| <i>Modèle</i> | ECO-PK 150 |
| <i>Rendement moyen</i> | 93% |
| <i>Plage de puissance</i> | 30 - 100 % |
| <i>Quantité de pellets [kg]</i> | 61681 |
| <i>Unité</i> | 1 |
| Chaudière à gaz à condensation | |
| <i>Modèle</i> | Vitrocrossal 100 |
| <i>Rendement moyen</i> | 95% |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | 291 |
| <i>Conso gaz [m3/an]</i> | 55358 |
| <i>Unité</i> | 1 |
| Parts énergétiques (nettes) | |
| <i>Energie de chauffage [kWh]</i> | 817024 |
| <i>Energie des pellets [kWh]</i> | 275343 |
| <i>Energie appoint gaz [kWh]</i> | 541681 |
| Données de combustibles | |
| <i>Pouvoir calorifique pellet [kWh/kg]</i> | 4.8 |
| <i>Prix pellet [CHF/t]</i> | 350 |
| <i>Pouvoir calorifique inférieur gaz [kWh/m3]</i> | 10.3 |
| <i>Prix gaz [ct/kWh]</i> | 10 |
| Facturation | |
| <i>Facture (part gaz naturel) [CHF]</i> | CHF 57 000 |
| <i>Facture (part pellet) [CHF]</i> | CHF 20 000 |
| Facture totale [CHF] | CHF 77 000 |
| Facture énergétique (référence) [CHF] | CHF 132 000 |
| Différence | CHF -55 000 |
| Démontage du chauffage | |
| <i>Démontage des installations existantes</i> | CHF 10 000 |
| Travaux de maçonnerie | |
| <i>Silo de pellet enterré, main-d'œuvre, etc</i> | CHF 150 000 |
| Production de chaleur | |
| <i>Chaudière à pellet avec installations de raccords, armatures, main-d'œuvre, etc</i> | CHF 150 000 |
| <i>Chaudière d'appoint au gaz</i> | CHF 190 000 |
| Montant (HT) | CHF 500 000 |
| TVA 8% | CHF 40 000 |
| MONTANT TOTAL TTC | CHF 540 000 |
| Amortissement de l'installation [année] | 9.8 |
| Gains annuels sur la durée de vie (20 ans) | CHF 28 000 |

RÉCAPITULATIF DES COÛTS – STRATÉGIE 4

| Chaudière à gaz à condensation | |
|---|-------------------------|
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | <i>95%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>291</i> |
| <i>Conso gaz totale [m3/an]</i> | <i>55358</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | <i>95%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>146</i> |
| <i>Conso gaz totale [m3/an]</i> | <i>28139</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| Parts énergétiques (nettes) | |
| <i>Energie de chauffage [kWh]</i> | <i>817024</i> |
| <i>Energie chaudière à gaz principale [kWh]</i> | <i>541681</i> |
| <i>Energie chaudière à gaz secondaire [kWh]</i> | <i>275343</i> |
| Données de combustibles | |
| <i>Pouvoir calorifique inférieur gaz [kWh/m3]</i> | <i>10.3</i> |
| <i>Prix gaz [ct/kWh]</i> | <i>10</i> |
| Facturation | |
| <i>Facture (part gaz naturel) [CHF]</i> | <i>CHF 86 000</i> |
| Facture totale [CHF] | CHF 86 000 |
| Facture énergétique (référence) [CHF] | CHF 132 000 |
| Différence | CHF -46 000 |
| Démontage du chauffage | |
| <i>Démontage des installations existantes</i> | <i>CHF 10 000</i> |
| Production de chaleur | |
| <i>Chaudières d'appoint au gaz</i> | <i>CHF 290 000</i> |
| Montant (HT) | CHF 300 000 |
| TVA 8% | CHF 24 000 |
| MONTANT TOTAL TTC | CHF 324 000 |
| Amortissement de l'installation [année] | 7.0 |
| Gains annuels sur la durée de vie (20 ans) | CHF 29 800 |

RÉCAPITULATIF DES COÛTS – STRATÉGIE 5

| Chaudière à pellet | |
|--|-------------------------|
| <i>Modèle</i> | <i>ECO-PK 70</i> |
| <i>Rendement moyen</i> | <i>93%</i> |
| <i>Plage de puissance</i> | <i>30 - 100 %</i> |
| <i>Quantité de pellets [kg]</i> | <i>24764</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| Chaudière à gaz à condensation | |
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen</i> | <i>95%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>146</i> |
| <i>Conso gaz [m3/an]</i> | <i>25322</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| Parts énergétiques (nettes) | |
| <i>Energie de chauffage [kWh]</i> | <i>1123890</i> |
| <i>Energie des pellets [kWh]</i> | <i>110547</i> |
| <i>Energie appoint gaz [kWh]</i> | <i>271829</i> |
| Données de combustibles | |
| <i>Pouvoir calorifique pellet [kWh/kg]</i> | <i>4.8</i> |
| <i>Prix pellet [CHF/t]</i> | <i>350</i> |
| <i>Pouvoir calorifique supérieur gaz [kWh/m3]</i> | <i>11.3</i> |
| <i>Prix gaz [ct/kWh]</i> | <i>10</i> |
| Facturation | |
| <i>Facture (part gaz naturel) [CHF]</i> | <i>CHF 29 000</i> |
| <i>Facture (part pellet) [CHF]</i> | <i>CHF 8 000</i> |
| Facture totale [CHF] | CHF 37 000 |
| Facture énergétique (référence) [CHF] | CHF 132 000 |
| Différence | CHF -95 000 |
| Démontage du chauffage | |
| <i>Démontage des installations existantes</i> | <i>CHF 10 000</i> |
| Travaux de maçonnerie | |
| <i>Silo de pellet enterré, main-d'œuvre, etc</i> | <i>CHF 70 000</i> |
| Production de chaleur | |
| <i>Chaudière à pellet avec installations de raccords, armatures, main-d'œuvre, etc</i> | <i>CHF 70 000</i> |
| <i>Chaudière d'appoint au gaz</i> | <i>CHF 100 000</i> |
| Montant (HT) | CHF 250 000 |
| TVA 8% | <i>CHF 20 000</i> |
| MONTANT TOTAL TTC | CHF 270 000 |
| Amortissement de l'installation [année] | 2.8 |
| Gains annuels sur la durée de vie (20 ans) | CHF 81 500 |

RÉCAPITULATIF DES COÛTS – STRATÉGIE 6

| Chaudière à gaz à condensation | |
|---|-------------------------|
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | <i>98%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>146</i> |
| <i>Conso gaz totale [m3/an]</i> | <i>26930</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| <i>Modèle</i> | <i>Vitrocrossal 100</i> |
| <i>Rendement moyen (PCI)</i> | <i>98%</i> |
| <i>Puissance nominale 80/60°C [kW]</i> | <i>74</i> |
| <i>Conso gaz totale [m3/an]</i> | <i>10952</i> |
| <i>Unité</i> | <i>1</i> |
| Parts énergétiques (nettes) | |
| <i>Energie de chauffage [kWh]</i> | <i>382376</i> |
| <i>Energie chaudière à gaz principale [kWh]</i> | <i>271829</i> |
| <i>Energie chaudière à gaz secondaire [kWh]</i> | <i>110547</i> |
| Données de combustibles | |
| <i>Pouvoir calorifique inférieur gaz [kWh/m3]</i> | <i>10.3</i> |
| <i>Prix gaz [ct/kWh]</i> | <i>10</i> |
| Facturation | |
| <i>Facture (part gaz naturel) [CHF]</i> | <i>CHF 39 000</i> |
| Facture totale [CHF] | CHF 39 000 |
| Facture énergétique (référence) [CHF] | CHF 132 000 |
| Différence | CHF -93 000 |
| Démontage du chauffage | |
| <i>Démontage des installations existantes</i> | <i>CHF 10 000</i> |
| Production de chaleur | |
| <i>Chaudières d'appoint au gaz</i> | <i>CHF 150 000</i> |
| Montant (HT) | CHF 160 000 |
| TVA 8% | CHF 12 800 |
| MONTANT TOTAL TTC | CHF 172 800 |
| Amortissement de l'installation [année] | 1.9 |
| Gains annuels sur la durée de vie (20 ans) | CHF 84 360 |

17.12 ANNEXE 12 : RÉCAPITULATIF DES PLANS ET COÛTS DE RÉNOVATIONS

PLAN DES RÉNOVATIONS (PARTIELLES ET MAJEURS)

| | Caissons de stores | Façades (plaque alvéolaire) | Plancher (sol) | Toiture | Façades | Vitrages |
|------------|--------------------|-----------------------------|----------------|---------|---------|----------|
| Bâtiment A | 1 | n.a | 1 | 2 | 2 | |
| Bâtiment B | 1 | n.a | 1 et 2 | | 2 | |
| Bâtiment C | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | |
| Bâtiment D | 1 | 1 | 1 et 2 | | 2 | |
| Bâtiment E | n.a | n.a | 1 | 2 | 2 | |

1 : rénovation n°1 (éléments ciblés)

2 : rénovation n°2 (complète)

ESTIMATION DES COÛTS – TRAVAUX PARTIELS

| <i>Estimations des coûts à l'aide de ECC-Bât</i> | | | |
|---|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| <i>Eléments</i> | <i>Surface [m2]</i> | <i>Valeur référentielle [CHF/m2]</i> | <i>Coûts (arrondis)</i> |
| B - Travaux préparatoires | | | |
| <i>Echafaudage de façades</i> | 1413 | 31 | CHF 40 000 |
| E - Revêtements de façades et de murs contre terre | | | |
| <i>Revêtement de façade</i> | 1280 | 129 | CHF 170 000 |
| <i>Fenêtres</i> | 0 | 912 | CHF - |
| <i>Portes</i> | 0 | 3778 | CHF - |
| <i>Stores à lamelles (caissons de stores)</i> | 132 | 129 | CHF 20 000 |
| F - Toitures | | | |
| <i>Toiture inclinée</i> | 770 | 445 | CHF 340 000 |
| G - Aménagements intérieurs | | | |
| <i>Revêtements de sol</i> | 3555 | 129 | CHF 460 000 |
| Autres (hors ECC-Bât) | | | |
| <i>Plaque alvéolaire</i> | 154 | 85 | CHF 10 000 |
| Etude de projet et honoraires | CHF 1 040 000 | 20.0% | CHF 210 000 |
| Provision | CHF 1 040 000 | 10.0% | CHF 100 000 |
| Taxe sur la valeur ajoutée | CHF 1 250 000 | 8.0% | CHF 100 000 |
| Coûts d'investissement | | | CHF 1 450 000 |

ESTIMATION DES COÛTS – TRAVAUX MAJEURS

| <i>Estimations des coûts à l'aide de ECC-Bât</i> | | | |
|---|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| <i>Eléments</i> | <i>Surface [m2]</i> | <i>Valeur référentielle [CHF/m2]</i> | <i>Coûts (arrondis)</i> |
| B - Travaux préparatoires | | | |
| <i>Echafaudage de façades</i> | 4610 | 31 | CHF 140 000 |
| E - Revêtements de façades et de murs contre terre | | | |
| <i>Revêtement de façade</i> | 4478 | 129 | CHF 580 000 |
| <i>Fenêtres</i> | 0 | 912 | CHF - |
| <i>Portes</i> | 0 | 3778 | CHF - |
| <i>Stores à lamelles (caissons de stores)</i> | 132 | 129 | CHF 20 000 |
| F - Toitures | | | |
| <i>Toiture inclinée</i> | 2209 | 445 | CHF 980 000 |
| G - Aménagements intérieurs | | | |
| <i>Revêtements de sol</i> | 3679 | 129 | CHF 470 000 |
| Autres (hors ECC-Bât) | | | |
| <i>Plaque alvéolaire</i> | 154 | 85 | CHF 10 000 |
| Etude de projet et honoraires | CHF 2 200 000 | 20.0% | CHF 440 000 |
| Provision | CHF 2 200 000 | 10.0% | CHF 220 000 |
| Taxe sur la valeur ajoutée | CHF 2 640 000 | 8.0% | CHF 210 000 |
| Coûts d'investissement | | | CHF 3 070 000 |

17.13 ANNEXE 13 : COMPARAISON DES STRATÉGIES

| Critères | Poids | Production complémentaire (sans rénovation) | | Production gaz (sans rénovation) | | Production complémentaire (avec rénovations partielles) | | Production gaz (avec rénovations partielles) | | Production complémentaire (avec rénovations majeures) | | Production gaz (avec rénovation majeur) | |
|-------------------------------------|-------|---|-------------|----------------------------------|-------------|---|---------------|--|---------------|---|----------------|---|----------------|
| | | Note | Note finale | Note | Note finale | Note | Note finale | Note | Note finale | Note | Note finale | Note | Note finale |
| Couverture des besoins | | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 |
| Etat technique | 0.4 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 |
| Flexibilité | | 3 | 1.2 | 4 | 1.6 | 3 | 1.2 | 4 | 1.6 | 3 | 1.2 | 4 | 1.6 |
| Contrôle et maintenance | | 3 | 1.2 | 4 | 1.6 | 3 | 1.2 | 4 | 1.6 | 3 | 1.2 | 4 | 1.6 |
| Efficacité | | | 6.4 | | 7.2 | | 6.4 | | 7.2 | | 6.4 | | 7.2 |
| Dispositifs et infrastructure | | 2 | 0.6 | 3 | 0.9 | 2 | 0.6 | 4 | 1.2 | 4 | 1.2 | 5 | 1.5 |
| Durée du processus | 0.3 | 4 | 1.2 | 5 | 1.5 | 3 | 0.9 | 3 | 0.9 | 2 | 0.6 | 2 | 0.6 |
| Contraintes techniques et pratiques | | 5 | 1.5 | 4 | 1.2 | 3 | 0.9 | 2 | 0.6 | 1 | 0.3 | 0 | 0 |
| Faisabilité | | | 3.3 | | 3.6 | | 2.4 | | 2.7 | | 2.1 | | 2.1 |
| Caractère renouvelable | | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 |
| Pollution et énergie grise | 0.2 | 2 | 0.4 | 1 | 0.2 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 4 | 0.8 | 3 | 0.6 |
| Bruit | | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 |
| Environnement | | | 1.8 | | 1.4 | | 2 | | 1.6 | | 2.2 | | 1.8 |
| Impact sur les usagers | 0.1 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 |
| Impact architectural | | 1 | 0.1 | 1 | 0.1 | 2 | 0.2 | 2 | 0.2 | 3 | 0.3 | 3 | 0.3 |
| Spécificité du site | | | 0.5 | | 0.5 | | 0.6 | | 0.6 | | 0.7 | | 0.7 |
| Total (note max.) | | | 12 | | 12.7 | | 11.4 | | 12.1 | | 11.4 | | 11.8 |
| Coûts : rénovation | | | CHF 0 | | CHF 0 | | CHF 1 450 000 | | CHF 1 450 000 | | CHF 3 100 000 | | CHF 3 100 000 |
| Coûts : production de chaleur | | | CHF 150 000 | | CHF 92 000 | | -CHF 560 000 | | -CHF 600 000 | | -CHF 1 600 000 | | -CHF 1 700 000 |
| Coûts : rénovation | | | CHF 150 000 | | CHF 92 000 | | CHF 890 000 | | CHF 850 000 | | CHF 1 500 000 | | CHF 1 400 000 |

17.14 ANNEXE 14 : PRÉ-ÉVALUATION SWISSOLAR

ENERGIE PRODUITE SELON LES BÂTIMENTS ET LES SURFACES

| | Toit Nord | Toit Est | Toit Sud | Toit Ouest | Toit plat |
|---------------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Energie produite [kWh/an] | | | | |
| Bâtiment A | 14 000 | 12 500 | 16 000 | 25 800 | - |
| Bâtiment B | 16 000 | 17 600 | 24 800 | 23 700 | - |
| Bâtiment C | 23 900 | 6 100 | 31 300 | 7 300 | 13 500 |
| Bâtiment D | - | - | - | - | 30 000 |
| Bâtiment E | 8 400 | 1 600 | 10 200 | 2 200 | 29 000 |
| Total | 62 300 | 37 800 | 82 300 | 59 000 | 72 500 |
| Total (bât. A exclu) | 48 300 | 25 300 | 66 300 | 33 200 | 72 500 |

PUISSANCE TOTALE SELON LES BÂTIMENTS ET LES SURFACES

| | Toit Nord | Toit Est | Toit Sud | Toit Ouest | Toit plat |
|---------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | Puissance installée [kW] | | | | |
| Bâtiment A | 24 | 18 | 14 | 24 | 0 |
| Bâtiment B | 22 | 22 | 22 | 22 | 0 |
| Bâtiment C | 29 | 7 | 29 | 7 | 14 |
| Bâtiment D | | | | | 31 |
| Bâtiment E | 12 | 2 | 9 | 2 | 30 |
| Total | 87 | 49 | 74 | 55 | 75 |
| Total (bât. A exclu) | 60 | 30 | 60 | 30 | 80 |

COÛTS AFFILIÉS SELON LES BÂTIMENTS ET LES SURFACES

| | Toit Nord | Toit Est | Toit Sud | Toit Ouest | Toit plat |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Coûts [CHF] | | | | |
| Bâtiment A | 50 400 | 39 600 | 32 400 | 50 400 | - |
| Bâtiment B | 46 800 | 46 800 | 46 800 | 46 800 | - |
| Bâtiment C | 59 400 | 19 800 | 59 400 | 19 800 | 32 400 |
| Bâtiment D | - | - | - | - | 62 800 |
| Bâtiment E | 28 800 | 10 800 | 23 400 | 10 800 | 61 200 |
| Total | 185 400 | 117 000 | 162 000 | 127 800 | 156 400 |
| Total (bât. A exclu) | 81 000 | 46 440 | 77 760 | 46 440 | 93 840 |

**17.15 ANNEXE 15 : RÉSULTATS DE SIMULATION PV-SYST
 VARIANTE 1**

| | | | | |
|---|---|---|-------------------------|--------------------------------------|
| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | | 03/08/18 | Page 1/5 |
| Système couplé au réseau: Paramètres de simulation | | | | |
| Projet : ProjetGravelone | | | | |
| Site géographique | SION | | Pays | Suisse |
| Situation | Latitude | 46.22° N | Longitude | 7.33° E |
| Temps défini comme | Temps légal | Fus. horaire TU+1 | Altitude | 482 m |
| | Albédo | 0.20 | | |
| Données météo: | SION | MeteoNorm 7.2 station - Synthétique | | |
| Variante de simulation : SimulationSudetOuest | | | | |
| | Date de la simulation | 03/08/18 à 08h10 | | |
| Paramètres de simulation | Type de système | No 3D scene defined | | |
| 6 orientations | inclin./azimuths | 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54° | | |
| Modèles utilisés | Transposition | Perez | Diffus | Perez, Meteonorm |
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° | | |
| Ombres proches | Sans ombres | | | |
| Caractéristiques des champs de capteurs (6 type de champs définis) | | | | |
| Module PV | Si-poly | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp | |
| Original PVsyst database | | Fabricant | Solarwatt | |
| Sous-champ "BatB_S" | | Orientation | #1 | Inclinaison/Azimut 25°/-36° |
| Nombre de modules PV | | En série | 20 modules | En parallèle 4 chaînes |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 80 | Puissance unitaire 270 Wc |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 21.60 kWc | Aux cond. de fonct. 19.37 kWc (50°C) |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 556 V | I mpp 35 A |
| Sous-champ "BatC_S" | | Orientation | #2 | Inclinaison/Azimut 15°/-36° |
| Nombre de modules PV | | En série | 20 modules | En parallèle 5 chaînes |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 100 | Puissance unitaire 270 Wc |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 27.00 kWc | Aux cond. de fonct. 24.21 kWc (50°C) |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 556 V | I mpp 44 A |
| Sous-champ "BatE_S" | | Orientation | #3 | Inclinaison/Azimut 28°/-36° |
| Nombre de modules PV | | En série | 15 modules | En parallèle 2 chaînes |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 30 | Puissance unitaire 270 Wc |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 8.10 kWc | Aux cond. de fonct. 7.26 kWc (50°C) |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 417 V | I mpp 17 A |
| Sous-champ "BatB_O" | | Orientation | #4 | Inclinaison/Azimut 25°/54° |
| Nombre de modules PV | | En série | 19 modules | En parallèle 4 chaînes |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 76 | Puissance unitaire 270 Wc |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 20.52 kWc | Aux cond. de fonct. 18.40 kWc (50°C) |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 528 V | I mpp 35 A |
| Sous-champ "BatC_O" | | Orientation | #5 | Inclinaison/Azimut 15°/54° |
| Nombre de modules PV | | En série | 8 modules | En parallèle 3 chaînes |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 24 | Puissance unitaire 270 Wc |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 6.48 kWc | Aux cond. de fonct. 5.81 kWc (50°C) |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 222 V | I mpp 26 A |
| Sous-champ "BatE_O" | | Orientation | #6 | Inclinaison/Azimut 28°/54° |
| Nombre de modules PV | | En série | 10 modules | En parallèle 1 chaînes |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 10 | Puissance unitaire 270 Wc |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 2700 Wc | Aux cond. de fonct. 2421 Wc (50°C) |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 278 V | I mpp 8.7 A |
| Total | Puissance globale champs | Nominale (STC) | 86 kWc | Total 320 modules |
| | | Surface modules | 532 m² | |

PVysst Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------|--------------------|-----------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | | 03/08/18 | Page 2/5 | | | | | | | | |
| Système couplé au réseau: Paramètres de simulation | | | | | | | | | | | | |
| Sous-champ "BatB_S" : Onduleur | | | | | | | | | | | | |
| Original PVsyst database | Modèle | GES2-10KTL | | | | | | | | | | |
| | Fabricant | GESolar | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement | 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | | | | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs | 4 * MPPT 50 % | Puissance totale | 20 kWac | | | | | | | | |
| | | | Rapport Pnom | 1.08 | | | | | | | | |
| Sous-champ "BatC_S" : Onduleur | | | | | | | | | | | | |
| Original PVsyst database | Modèle | GES2-10KTL | | | | | | | | | | |
| | Fabricant | GESolar | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement | 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | | | | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs | 5 * MPPT 50 % | Puissance totale | 25 kWac | | | | | | | | |
| | | | Rapport Pnom | 1.08 | | | | | | | | |
| Sous-champ "BatE_S" : Onduleur | | | | | | | | | | | | |
| Original PVsyst database | Modèle | GES2-10KTL | | | | | | | | | | |
| | Fabricant | GESolar | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement | 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | | | | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs | 2 * MPPT 50 % | Puissance totale | 10.0 kWac | | | | | | | | |
| | | | Rapport Pnom | 0.81 | | | | | | | | |
| Sous-champ "BatB_O" : Onduleur | | | | | | | | | | | | |
| Original PVsyst database | Modèle | GES2-10KTL | | | | | | | | | | |
| | Fabricant | GESolar | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement | 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | | | | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs | 4 * MPPT 50 % | Puissance totale | 20 kWac | | | | | | | | |
| | | | Rapport Pnom | 1.03 | | | | | | | | |
| Sous-champ "BatC_O" : Onduleur | | | | | | | | | | | | |
| Original PVsyst database | Modèle | GES2-5KTL | | | | | | | | | | |
| | Fabricant | GESolar | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement | 150-450 V | Puissance unitaire | 5.00 kWac | | | | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs | 3 * MPPT 50 % | Puissance totale | 7.5 kWac | | | | | | | | |
| | | | Rapport Pnom | 0.88 | | | | | | | | |
| Sous-champ "BatE_O" : Onduleur | | | | | | | | | | | | |
| Original PVsyst database | Modèle | GES-2K8 | | | | | | | | | | |
| | Fabricant | GESolar | | | | | | | | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement | 200-550 V | Puissance unitaire | 2.80 kWac | | | | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs | 1 unités | Puissance totale | 2.8 kWac | | | | | | | | |
| | | | Rapport Pnom | 0.96 | | | | | | | | |
| Total | Nbre d'onduleurs | 10 | Puissance totale | 85 kWac | | | | | | | | |
| Facteurs de perte du champ PV | | | | | | | | | | | | |
| Fact. de pertes thermiques | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (vent) | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | | | |
| Perte ohmique de câblage | Champ#1 | 269 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| | Champ#2 | 215 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| | Champ#3 | 404 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| | Champ#4 | 256 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| | Champ#5 | 143 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| | Champ#6 | 538 mOhm | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| | Global | | Frac. pertes | 1.5 % aux STC | | | | | | | | |
| Perte de qualité module | | | Frac. pertes | -0.5 % | | | | | | | | |
| Perte de "mismatch" modules | | | Frac. pertes | 1.0 % au MPP | | | | | | | | |
| Perte de "mismatch" strings | | | Frac. pertes | 0.10 % | | | | | | | | |
| Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE | IAM = | 1 - bo (1/cos i - 1) | Param. bo | 0.05 | | | | | | | | |
| Besoins de l'utilisateur : valeurs mensuelles | | | | | | | | | | | | |
| Jan. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Jui. | Août | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Année |
| 19978 | 19086 | 18194 | 18163 | 18132 | 13880 | 9599 | 11301 | 13013 | 15683 | 18354 | 19186 | 194519 |
| | | | | | | | | | | | | kWh/mth |

PVysst Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

Système couplé au réseau: Définition de l'horizon

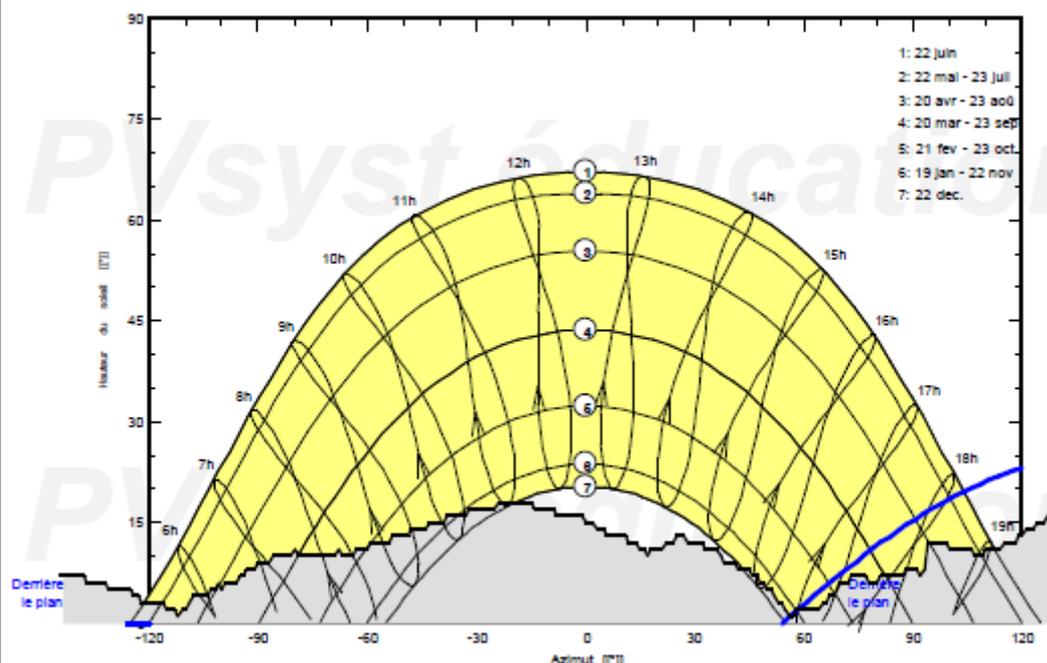
Projet : **ProjetGravelone**
 Variante de simulation : **SimulationSudetOuest**

| | | |
|--------------------------------------|--------------------|---|
| Principaux paramètres système | Type de système | No 3D scene defined |
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° |
| 6 orientations | Inclinaison/Azimut | 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54° |
| Modules PV | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp |
| Champ PV | Nombre de modules | 320 |
| Onduleur | Modèle | GES2-10KTL |
| Onduleur | Modèle | GES2-5KTL |
| Onduleur | Modèle | GES-2K8 |
| Batterie d'onduleurs | Nombre d'unités | 10.0 |
| Besoins de l'utilisateur | valeurs mensuelles | |
| | | Pnom total 86.4 kWc |
| | | Pnom 10.00 kW ac |
| | | Pnom 5.00 kW ac |
| | | Pnom 2800 W ac |
| | | Pnom total 85.3 kW ac |
| | | Global 195 MWh/an |

| | | | | |
|----------------|--------------------|-------|--------------------|------|
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° | Facteur sur diffus | 0.92 |
| | Facteur sur albédo | 100 % | Fraction d'albédo | 0.57 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hauteur [°] | 13.0 | 11.0 | 11.0 | 9.0 | 7.0 | 7.0 | 6.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 |
| Azimut [°] | -177 | -169 | -165 | -157 | -145 | -141 | -133 | -129 | -121 | -109 | -105 | -97 | -93 | -85 |
| Hauteur [°] | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 16.0 | 18.0 | 17.0 | 18.0 | 17.0 | 17.0 | 16.0 | 15.0 | 15.0 |
| Azimut [°] | -73 | -69 | -61 | -57 | -49 | -37 | -33 | -25 | -21 | -13 | -9 | -1 | 0 | 1 |
| Hauteur [°] | 15.0 | 13.0 | 12.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 8.0 | 6.0 | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 7.0 |
| Azimut [°] | 2 | 8 | 12 | 20 | 24 | 32 | 36 | 44 | 48 | 56 | 60 | 68 | 72 | 84 |
| Hauteur [°] | 7.0 | 12.0 | 11.0 | 10.0 | 13.0 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 18.0 | 15.0 | 12.0 | 13.0 | 13.0 | 14.0 |
| Azimut [°] | 92 | 96 | 104 | 108 | 120 | 128 | 132 | 140 | 144 | 156 | 164 | 168 | 176 | 180 |

Horizon file (source is not a PVsyst format!)



PVsyst Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

| | | | |
|--------------|---|----------|----------|
| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | 03/08/18 | Page 4/5 |
|--------------|---|----------|----------|

Système couplé au réseau: Résultats principaux

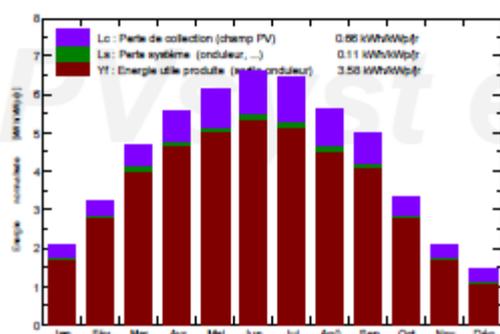
Projet : **ProjetGravelone**
 Variante de simulation : **SimulationSudetOuest**

| | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---|------------------------------|
| Principaux paramètres système | Type de système | No 3D scene defined | |
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° | |
| 6 orientations | Inclinaison/Azimut | 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54° | |
| Modules PV | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp | Pnom 270 Wc |
| Champ PV | Nombre de modules | 320 | Pnom total 86.4 kWc |
| Onduleur | Modèle | GES2-10KTL | Pnom 10.00 kW ac |
| Onduleur | Modèle | GES2-5KTL | Pnom 5.00 kW ac |
| Onduleur | Modèle | GES-2K8 | Pnom 2800 W ac |
| Batterie d'onduleurs | Nombre d'unités | 10.0 | Pnom total 85.3 kW ac |
| Besoins de l'utilisateur | valeurs mensuelles | Global | 195 MWh/an |

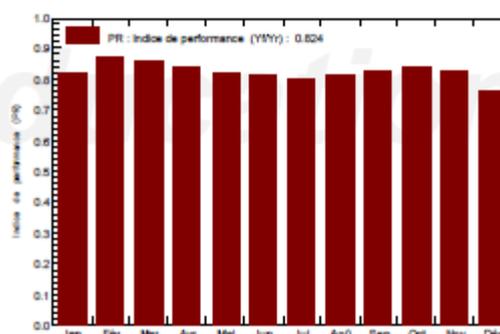
Principaux résultats de la simulation

| | | | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| Production du système | Energie produite | 113.0 MWh/an | Productible | 1308 kWh/kWc/an |
| | Indice de performance (PR) | 82.37 % | Fraction solaire (SF) | 32.80 % |

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 86.4 kWp



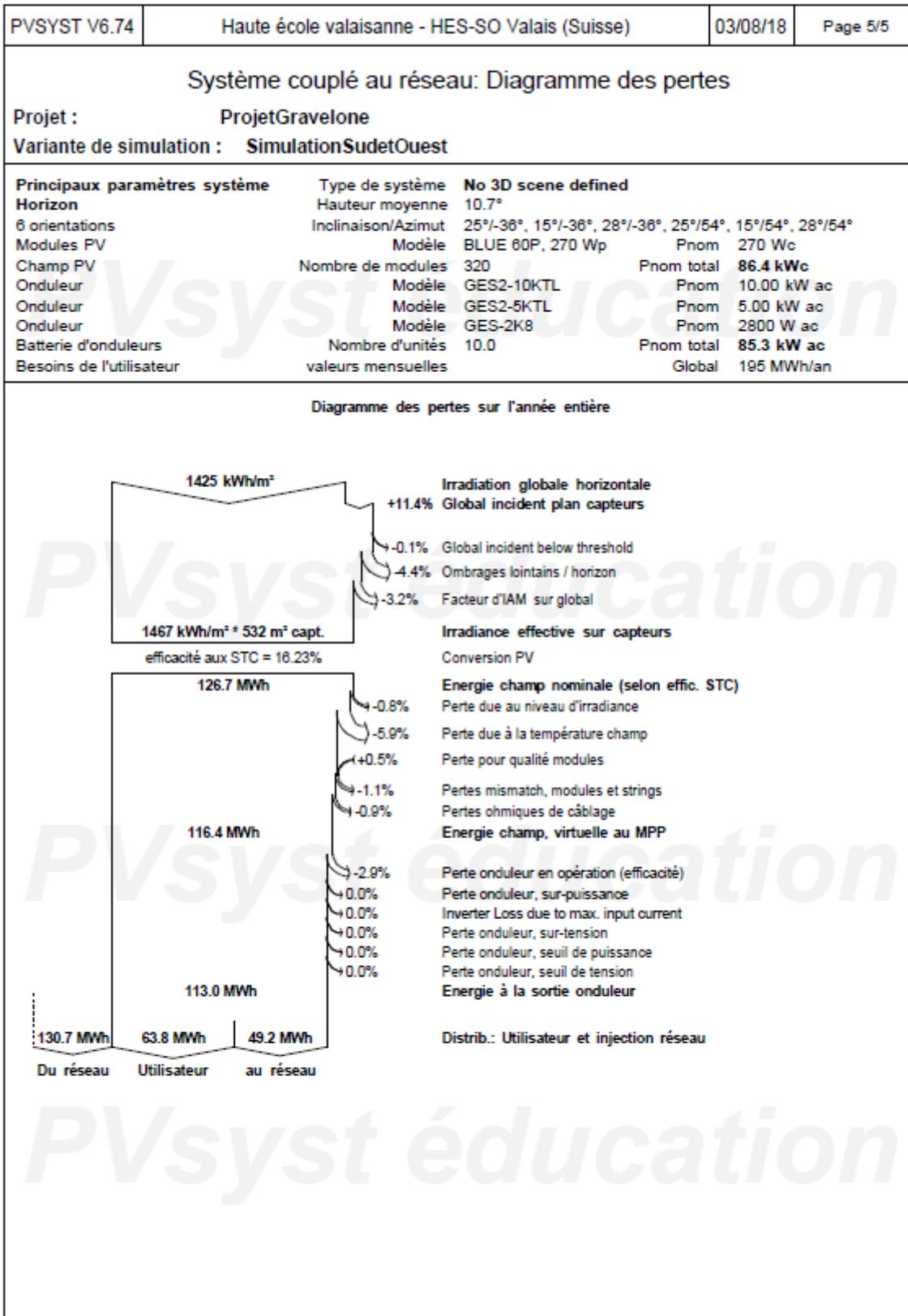
Indice de performance (PR)



SimulationSudetOuest Bilans et résultats principaux

| | GlobHor kWh/m² | DiffHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | E Load MWh | E User MWh | E_Grid MWh |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| Janvier | 45.4 | 20.10 | 0.00 | 64.3 | 54.9 | 19.98 | 3.613 | 0.941 |
| Février | 68.6 | 28.30 | 2.40 | 90.2 | 82.1 | 19.09 | 5.315 | 1.476 |
| Mars | 122.0 | 41.80 | 7.00 | 145.1 | 135.5 | 18.19 | 6.741 | 4.070 |
| Avril | 154.3 | 62.40 | 11.30 | 167.1 | 156.3 | 18.16 | 7.247 | 4.827 |
| Mai | 184.3 | 68.10 | 15.90 | 189.5 | 177.7 | 18.13 | 8.089 | 5.356 |
| Juin | 197.9 | 69.60 | 19.30 | 198.5 | 186.0 | 13.86 | 6.938 | 6.950 |
| Juillet | 196.9 | 69.50 | 20.50 | 199.2 | 187.0 | 9.59 | 4.901 | 8.887 |
| Août | 163.8 | 68.90 | 19.40 | 173.1 | 161.6 | 11.30 | 5.207 | 6.912 |
| Septembre | 128.9 | 37.90 | 15.30 | 149.3 | 140.1 | 13.01 | 4.917 | 5.718 |
| Octobre | 84.3 | 37.10 | 10.70 | 103.7 | 95.6 | 15.68 | 4.591 | 2.913 |
| Novembre | 46.3 | 23.50 | 4.70 | 62.4 | 54.4 | 18.35 | 3.621 | 0.815 |
| Décembre | 32.0 | 17.50 | 0.60 | 45.1 | 35.9 | 19.17 | 2.615 | 0.339 |
| Année | 1424.7 | 544.70 | 10.64 | 1587.7 | 1467.1 | 194.52 | 63.795 | 49.202 |

| | | | |
|-------------------|---------------------------------|---------|---|
| Légendes: GlobHor | Irradiation globale horizontale | GlobEff | Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages |
| DiffHor | Irradiation diffuse horizontale | E Load | Besoin d'énergie de l'utilisateur |
| T Amb | Température ambiante | E User | Energie fournie à l'utilisateur |
| GlobInc | Global incident plan capteurs | E_Grid | Energie injectée dans le réseau |



PVsys Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

VARIANTE 2

| | | | | |
|---|---|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | | 03/08/18 | Page 1/6 |
| Système couplé au réseau: Paramètres de simulation | | | | |
| Projet : ProjetGravelone | | | | |
| Site géographique | | SION | Pays | Suisse |
| Situation | | Latitude 46.22° N | Longitude | 7.33° E |
| Temps défini comme | | Temps légal Fus. horaire TU+1 | Altitude | 482 m |
| | | Albédo 0.20 | | |
| Données météo: | | SION | MeteoNorm 7.2 station - Synthétique | |
| Variante de simulation : SimulationSudetOuetetplat | | | | |
| Date de la simulation 03/08/18 à 14h56 | | | | |
| Paramètres de simulation | | | | |
| | | Type de système | No 3D scene defined | |
| 7 orientations | | inclin./azimuths 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54°, 10°/-36° | | |
| Modèles utilisés | | Transposition | Perez | Diffus Perez, Meteonorm |
| Horizon | | Hauteur moyenne 10.7° | | |
| Ombrages proches | | Sans ombrages | | |
| Caractéristiques des champs de capteurs (8 type de champs définis) | | | | |
| Module PV | | Si-poly | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp |
| Original PVsyst database | | Fabricant Solarwatt | | |
| Sous-champ "BatB_S" | | Orientation #1 | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 20 modules | Inclinaison/Azimet 25°/-36° |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 80 | En parallèle 4 chaînes |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 21.60 kWc | Puissance unitaire 270 Wc |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 556 V | Aux cond. de fonct. 19.37 kWc (50°C) |
| | | | | I mpp 35 A |
| Sous-champ "BatC_S" | | Orientation #2 | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 20 modules | Inclinaison/Azimet 15°/-36° |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 100 | En parallèle 5 chaînes |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 27.00 kWc | Puissance unitaire 270 Wc |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 556 V | Aux cond. de fonct. 24.21 kWc (50°C) |
| | | | | I mpp 44 A |
| Sous-champ "BatE_S" | | Orientation #3 | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 15 modules | Inclinaison/Azimet 28°/-36° |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 30 | En parallèle 2 chaînes |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 8.10 kWc | Puissance unitaire 270 Wc |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 417 V | Aux cond. de fonct. 7.26 kWc (50°C) |
| | | | | I mpp 17 A |
| Sous-champ "BatB_O" | | Orientation #4 | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 19 modules | Inclinaison/Azimet 25°/54° |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 76 | En parallèle 4 chaînes |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 20.52 kWc | Puissance unitaire 270 Wc |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 528 V | Aux cond. de fonct. 18.40 kWc (50°C) |
| | | | | I mpp 35 A |
| Sous-champ "BatC_O" | | Orientation #5 | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 8 modules | Inclinaison/Azimet 15°/54° |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 24 | En parallèle 3 chaînes |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 6.48 kWc | Puissance unitaire 270 Wc |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 222 V | Aux cond. de fonct. 5.81 kWc (50°C) |
| | | | | I mpp 26 A |
| Sous-champ "BatE_O" | | Orientation #6 | | |
| Nombre de modules PV | | En série | 10 modules | Inclinaison/Azimet 28°/54° |
| Nombre total de modules PV | | Nbre modules | 10 | En parallèle 1 chaînes |
| Puissance globale du champ | | Nominale (STC) | 2700 Wc | Puissance unitaire 270 Wc |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | | U mpp | 278 V | Aux cond. de fonct. 2421 Wc (50°C) |
| | | | | I mpp 8.7 A |

PVsyst Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | | 03/08/18 | Page 2/6 |
|---|--|---------------------|------------------|----------|
| Système couplé au réseau: Paramètres de simulation | | | | |
| Sous-champ "BatCetD_plat" | | | | |
| Orientation | #7 | Inclinaison/Azimut | 10°/-36° | |
| Nombre de modules PV | En série 20 modules | En parallèle | 5 chaînes | |
| Nombre total de modules PV | Nbre modules 100 | Puissance unitaire | 270 Wc | |
| Puissance globale du champ | Nominale (STC) 27.00 kWc | Aux cond. de fonct. | 24.21 kWc (50°C) | |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | U mpp 556 V | I mpp | 44 A | |
| Sous-champ "BatE_plat" | | | | |
| Orientation | #7 | Inclinaison/Azimut | 10°/-36° | |
| Nombre de modules PV | En série 20 modules | En parallèle | 5 chaînes | |
| Nombre total de modules PV | Nbre modules 100 | Puissance unitaire | 270 Wc | |
| Puissance globale du champ | Nominale (STC) 27.00 kWc | Aux cond. de fonct. | 24.21 kWc (50°C) | |
| Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) | U mpp 556 V | I mpp | 44 A | |
| Total | Puissance globale champs Nominale (STC) 140 kWc | Total | 520 modules | |
| | Surface modules 865 m² | | | |
| Sous-champ "BatB_S" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-10KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 4 * MPPT 50 % | Puissance totale | 20 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 1.08 | |
| Sous-champ "BatC_S" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-10KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 5 * MPPT 50 % | Puissance totale | 25 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 1.08 | |
| Sous-champ "BatE_S" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-10KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 2 * MPPT 50 % | Puissance totale | 10.0 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 0.81 | |
| Sous-champ "BatB_O" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-10KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 4 * MPPT 50 % | Puissance totale | 20 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 1.03 | |
| Sous-champ "BatC_O" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-5KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 150-450 V | Puissance unitaire | 5.00 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 3 * MPPT 50 % | Puissance totale | 7.5 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 0.86 | |
| Sous-champ "BatE_O" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES-2K8 | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 200-550 V | Puissance unitaire | 2.80 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 1 unités | Puissance totale | 2.8 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 0.96 | |
| Sous-champ "BatCetD_plat" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-10KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 5 * MPPT 50 % | Puissance totale | 25 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 1.08 | |
| Sous-champ "BatE_plat" : Onduleur | | | | |
| Modèle | GES2-10KTL | | | |
| Original PVsyst database | Fabricant GESolar | | | |
| Caractéristiques | Tension de fonctionnement 350-850 V | Puissance unitaire | 10.0 kWac | |
| Batterie d'onduleurs | Nbre d'onduleurs 5 * MPPT 50 % | Puissance totale | 25 kWac | |
| | | Rapport Pnom | 1.08 | |
| Total | Nbre d'onduleurs 15 | Puissance totale | 135 kWac | |

PVysst Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------------|----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | 03/08/18 | Page 3/6 | | | | | | | | | | |
| Système couplé au réseau: Paramètres de simulation | | | | | | | | | | | | | |
| Facteurs de perte du champ PV | | | | | | | | | | | | | |
| Fact. de pertes thermiques | Uc (const) 20.0 W/m²K | Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | | | | | | |
| Perte ohmique de câblage | Champ#1 289 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#2 215 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#3 404 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#4 256 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#5 143 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#6 538 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#7 215 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Champ#8 215 mOhm | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| | Global | Frac. pertes 1.5 % aux STC | | | | | | | | | | | |
| Perte de qualité module | | Frac. pertes -0.5 % | | | | | | | | | | | |
| Perte de "mismatch" modules | | Frac. pertes 1.0 % au MPP | | | | | | | | | | | |
| Perte de "mismatch" strings | | Frac. pertes 0.10 % | | | | | | | | | | | |
| Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE | IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) | Param. bo 0.05 | | | | | | | | | | | |
| Besoins de l'utilisateur : valeurs mensuelles | | | | | | | | | | | | | |
| Jan. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Jui. | Août | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Année | |
| 19978 | 19086 | 18194 | 18163 | 18132 | 13660 | 9589 | 11301 | 13013 | 15683 | 18354 | 19166 | 194519 | kWh/mth |

PVsys Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

Système couplé au réseau: Définition de l'horizon

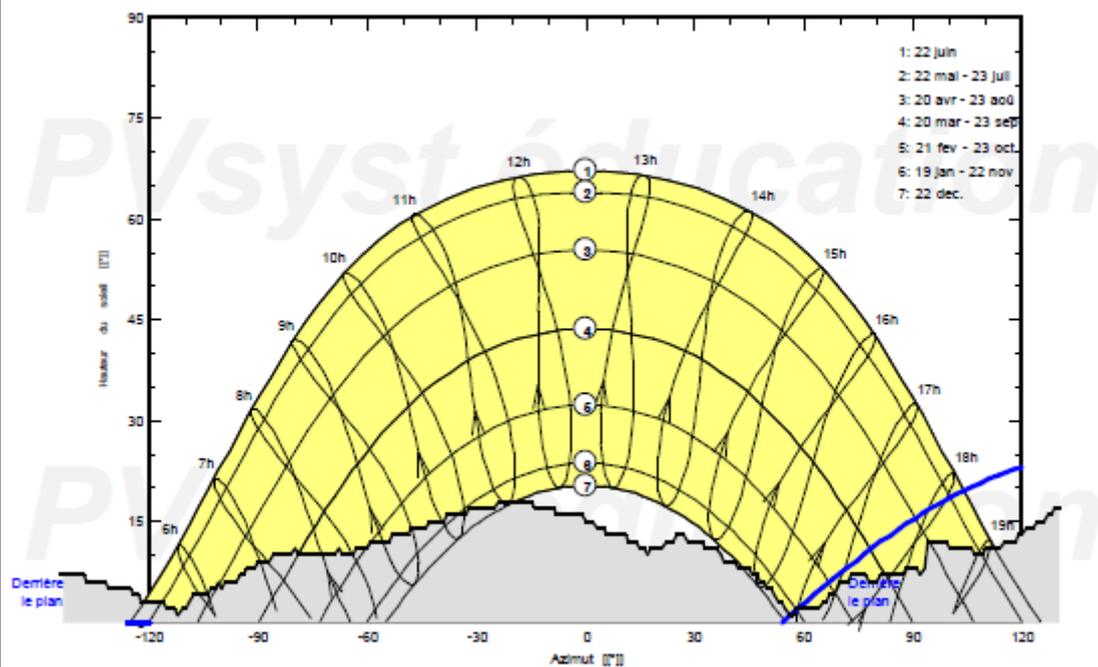
Projet : **ProjetGravelone**
 Variante de simulation : **SimulationSudetOuetstetplat**

| | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---|-----------------------------|
| Principaux paramètres système | Type de système | No 3D scene defined | |
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° | |
| 7 orientations | Inclinaison/Azimet | 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54°, 10°/-36° | |
| Modules PV | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp | Pnom 270 Wc |
| Champ PV | Nombre de modules | 520 | Pnom total 140 kWc |
| Onduleur | Modèle | GES2-10KTL | Pnom 10.00 kW ac |
| Onduleur | Modèle | GES2-5KTL | Pnom 5.00 kW ac |
| Onduleur | Modèle | GES-2K8 | Pnom 2800 W ac |
| Batterie d'onduleurs | Nombre d'unités | 15.0 | Pnom total 135 kW ac |
| Besoins de l'utilisateur | valeurs mensuelles | | Global 195 MWh/an |

| | | | | |
|----------------|--------------------|-------|--------------------|------|
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° | Facteur sur diffus | 0.95 |
| | Facteur sur albédo | 100 % | Fraction d'albédo | 0.32 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hauteur [°] | 13.0 | 11.0 | 11.0 | 9.0 | 7.0 | 7.0 | 6.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 |
| Azimet [°] | -177 | -169 | -165 | -157 | -145 | -141 | -133 | -129 | -121 | -109 | -105 | -97 | -93 | -85 |
| Hauteur [°] | 10.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 16.0 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 17.0 | 17.0 | 16.0 | 15.0 | 15.0 |
| Azimet [°] | -73 | -69 | -61 | -57 | -49 | -37 | -33 | -25 | -21 | -13 | -9 | -1 | 0 | 1 |
| Hauteur [°] | 15.0 | 13.0 | 12.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 8.0 | 6.0 | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 6.0 | 7.0 |
| Azimet [°] | 2 | 8 | 12 | 20 | 24 | 32 | 36 | 44 | 48 | 56 | 60 | 68 | 72 | 84 |
| Hauteur [°] | 7.0 | 12.0 | 11.0 | 10.0 | 13.0 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 18.0 | 15.0 | 12.0 | 13.0 | 13.0 | 14.0 |
| Azimet [°] | 92 | 96 | 104 | 108 | 120 | 128 | 132 | 140 | 144 | 156 | 164 | 168 | 176 | 180 |

Horizon file (source is not a PVsyst format!)



PVsynt Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

| | | | | | | | | |
|---|---|---|-------------------------------|---------|---------|---|--------|--------|
| PVSYST V6.74 | Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse) | 03/08/18 | Page 5/6 | | | | | |
| Système couplé au réseau: Résultats principaux | | | | | | | | |
| Projet : ProjetGravelone | | | | | | | | |
| Variante de simulation : SimulationSudetOuestetplat | | | | | | | | |
| Principaux paramètres système | | Type de système | No 3D scene defined | | | | | |
| Horizon | | Hauteur moyenne 10.7° | | | | | | |
| 7 orientations | Inclinaison/Azimut | 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54°, 10°/-36° | | | | | | |
| Modules PV | | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp | | | | | |
| Champ PV | | Nombre de modules | 520 | | | | | |
| Onduleur | | Modèle | GES2-10KTL | | | | | |
| Onduleur | | Modèle | GES2-5KTL | | | | | |
| Onduleur | | Modèle | GES-2K8 | | | | | |
| Batterie d'onduleurs | | Nombre d'unités | 15.0 | | | | | |
| Besoins de l'utilisateur | | valeurs mensuelles | | | | | | |
| | | Pnom | 270 Wc | | | | | |
| | | Pnom total | 140 kWc | | | | | |
| | | Pnom | 10.00 kW ac | | | | | |
| | | Pnom | 5.00 kW ac | | | | | |
| | | Pnom | 2800 W ac | | | | | |
| | | Pnom total | 135 kW ac | | | | | |
| | | Global | 195 MWh/an | | | | | |
| Principaux résultats de la simulation | | | | | | | | |
| Production du système | Energie produite | 182.4 MWh/an | Productible 1299 kWh/kWc/an | | | | | |
| | Indice de performance (PR) | 82.91 % | Fraction solaire (SF) 36.24 % | | | | | |
| <p>Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 140 kWp</p> <p>Indice de performance (PR)</p> | | | | | | | | |
| SimulationSudetOuestetplat | | | | | | | | |
| Bilans et résultats principaux | | | | | | | | |
| | GlobHor | DiffHor | T Amb | GlobInc | GlobEff | E Load | E User | E_Grid |
| | kWh/m² | kWh/m² | °C | kWh/m² | kWh/m² | MWh | MWh | MWh |
| Janvier | 45.4 | 20.10 | 0.00 | 61.0 | 52.0 | 19.98 | 4.246 | 2.77 |
| Février | 68.6 | 28.30 | 2.40 | 85.7 | 78.9 | 19.09 | 5.976 | 4.66 |
| Mars | 122.0 | 41.80 | 7.00 | 141.6 | 132.4 | 18.19 | 7.274 | 9.97 |
| Avril | 154.3 | 62.40 | 11.30 | 165.6 | 155.5 | 18.16 | 7.976 | 11.63 |
| Mai | 184.3 | 68.10 | 15.90 | 190.1 | 179.1 | 18.13 | 8.896 | 13.19 |
| Juin | 197.9 | 69.60 | 19.30 | 199.9 | 188.4 | 13.86 | 7.461 | 15.46 |
| Juillet | 196.9 | 69.50 | 20.50 | 199.9 | 188.6 | 9.59 | 5.131 | 17.54 |
| Août | 163.8 | 68.90 | 19.40 | 172.2 | 161.5 | 11.30 | 5.537 | 14.22 |
| Septembre | 128.9 | 37.90 | 15.30 | 146.5 | 137.7 | 13.01 | 5.291 | 11.78 |
| Octobre | 84.3 | 37.10 | 10.70 | 100.6 | 92.8 | 15.68 | 5.128 | 6.77 |
| Novembre | 46.3 | 23.50 | 4.70 | 59.5 | 51.9 | 18.35 | 4.315 | 2.58 |
| Décembre | 32.0 | 17.50 | 0.60 | 42.9 | 34.1 | 19.17 | 3.270 | 1.30 |
| Année | 1424.7 | 544.70 | 10.64 | 1566.5 | 1453.0 | 194.52 | 70.502 | 111.85 |
| Légendes: GlobHor | | Irradiation globale horizontale | | GlobEff | | Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages | | |
| DiffHor | | Irradiation diffuse horizontale | | E Load | | Besoin d'énergie de l'utilisateur | | |
| T Amb | | Température ambiante | | E User | | Energie fournie à l'utilisateur | | |
| GlobInc | | Global incident plan capteurs | | E_Grid | | Energie injectée dans le réseau | | |

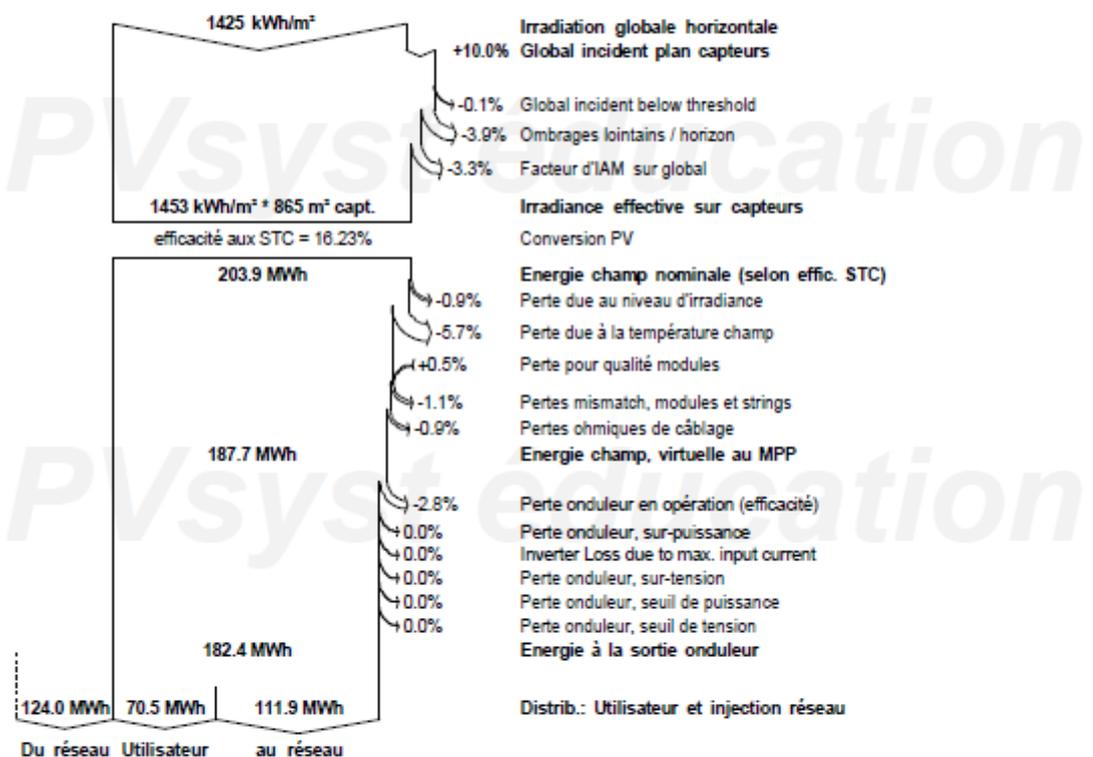
PV Syst Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

Système couplé au réseau: Diagramme des pertes

Projet : **ProjetGravelone**
 Variante de simulation : **SimulationSudetOuetetplat**

| | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---|-----------------------------|
| Principaux paramètres système | Type de système | No 3D scene defined | |
| Horizon | Hauteur moyenne | 10.7° | |
| 7 orientations Inclinaison/Azimet | | 25°/-36°, 15°/-36°, 28°/-36°, 25°/54°, 15°/54°, 28°/54°, 10°/-36° | |
| Modules PV | Modèle | BLUE 60P, 270 Wp | Pnom 270 Wc |
| Champ PV | Nombre de modules | 520 | Pnom total 140 kWc |
| Onduleur | Modèle | GES2-10KTL | Pnom 10.00 kW ac |
| Onduleur | Modèle | GES2-5KTL | Pnom 5.00 kW ac |
| Onduleur | Modèle | GES-2K8 | Pnom 2800 W ac |
| Batterie d'onduleurs | Nombre d'unités | 15.0 | Pnom total 135 kW ac |
| Besoins de l'utilisateur | valeurs mensuelles | | Global 195 MWh/an |

Diagramme des pertes sur l'année entière



PVsynt Education License, Haute école valaisanne - HES-SO Valais (Suisse)

17.16 ANNEXE 16 : RÉSULTATS ÉCONOMIQUES PV-SYST

VARIANTE 1

| Installation et investissement | |
|--|------------------------|
| <i>Puissance installée</i> | 86.4 [kWc] |
| <i>Durée de vie</i> | 25 années |
| <i>Surface de l'installation</i> | 532 m ² |
| <i>Prix PV</i> | 300 CHF/m ² |
| <i>Nombre onduleur</i> | 10 unité |
| <i>Prix onduleur</i> | 1 000 CHF/pièce |
| <i>Support et installation</i> | 0.5 CHF/kW |
| <i>Coûts d'exploitation, entretien</i> | 1 000 CHF/an |
| <i>Investissement brut</i> | 169 643 CHF |
| <i>Rétribution unique (PRU ou GRU)</i> | -30319 CHF |
| <i>TVA (7.7%)</i> | 13 063 CHF |
| <i>CAPEX</i> | 152387 CHF |
| Tarifification électricité (à l'injection) | |
| <i>Prix ESR - 2018 (vente)</i> | |
| <i>Octobre à mars</i> | 7.2 ct/kWh |
| <i>Avril à septembre</i> | 5.2 ct/kWh |
| <i>Prix ESR - 2018 (achat)</i> | |
| <i>Consommation HC hiver</i> | 9.28 ct/kWh |
| <i>Consommation HP hiver</i> | 12.64 ct/kWh |
| <i>Consommation HC été</i> | 7.68 ct/kWh |
| <i>Consommation HP été</i> | 10.54 ct/kWh |
| <i>Puissance</i> | 127.68 CHF/kW |
| <i>Facture annuelle ESR</i> | 35573 CHF |
| Indicateurs énergétiques | |
| <i>Taux de couverture RET</i> | 58% |
| <i>Taux d'autarcie</i> | 33% |
| <i>Taux d'autoconsommation</i> | 56% |
| Indicateurs économiques | |
| <i>Economies effectives (sur la vente)</i> | 2770 CHF |
| <i>Economies effectives (sur l'autoconsommation)</i> | 11021 CHF |
| <i>Temps ROI</i> | 11 ans |
| <i>VAN (taux 5%, 20ans)</i> | 27881 CHF |

VARIANTE 2

| Installation et investissement | |
|--|------------------------|
| <i>Puissance installée</i> | 140 [kWc] |
| <i>Durée de vie</i> | 25 années |
| <i>Surface de l'installation</i> | 865 m ² |
| <i>Prix PV</i> | 300 CHF/m ² |
| <i>Nombre onduleur</i> | 15 unité |
| <i>Prix onduleur</i> | 1 000 CHF/pièce |
| <i>Support et installation</i> | 0.5 CHF/kW |
| <i>Coûts d'exploitation, entretien</i> | 1 000 CHF/an |
| <i>Investissement brut</i> | 274 570 CHF |
| <i>Rétribution unique (PRU ou GRU)</i> | -46399 CHF |
| <i>TVA (7.7%)</i> | 21 142 CHF |
| <i>CAPEX</i> | 249313 CHF |
| Tarifification électricité (à l'injection) | |
| <i>Prix ESR - 2018 (vente)</i> | |
| <i>Octobre à mars</i> | 7.2 ct/kWh |
| <i>Avril à septembre</i> | 5.2 ct/kWh |
| <i>Prix ESR - 2018 (achat)</i> | |
| <i>Consommation HC hiver</i> | 9.28 ct/kWh |
| <i>Consommation HP hiver</i> | 12.64 ct/kWh |
| <i>Consommation HC été</i> | 7.68 ct/kWh |
| <i>Consommation HP été</i> | 10.54 ct/kWh |
| <i>Puissance</i> | 127.68 CHF/kW |
| <i>Facture annuelle ESR</i> | 35573 CHF |
| Indicateurs énergétiques | |
| <i>Taux de couverture RET</i> | 94% |
| <i>Taux d'autarcie</i> | 36% |
| <i>Taux d'autoconsommation</i> | 39% |
| Indicateurs économiques | |
| <i>Economies effectives (sur la vente)</i> | 6377 CHF |
| <i>Economies effectives (sur l'autoconsommation)</i> | 19572 CHF |
| <i>Temps ROI</i> | 10 ans |
| <i>VAN (taux 5%, 20ans)</i> | 102318 CHF |

17.17 ANNEXE 17 : IMAGES DIVERSES

BÂTIMENT A



Face Ouest et Face Sud



Face Est – bâtiment B (à gauche), bâtiment A (au centre) et entrée de la piscine (bâtiment E)

BÂTIMENT B



Face Sud et liaison des bâtiments B et C (à droite)



Face Ouest du bâtiment B (en haut) avec entrée principale du complexe (en bas) et bâtiment A (à gauche)

BÂTIMENT C



Face Sud et terrain de sport extérieur



Face Nord (à gauche), façade en plastique alvéolaire (au centre), et ascenseur intérieur (à droite)

BÂTIMENT D



Face Ouest



Face Est et liaison des bâtiments C et D (à droite)

BÂTIMENT E



Face Ouest



Face Sud de la piscine du bâtiment E (en haut)