

Analyse de l'enveloppe du bâtiment

Tout d'abord, une définition de la valeur U est nécessaire pour comprendre les calculs qui vont suivre :

La chaleur se transmet du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid. La valeur U (appelée aussi "facteur U" ou "coefficient U") indique la capacité des éléments de construction (mur, plancher, toit, fenêtre, etc.) et des matériaux isolants à résister à ce transfert de chaleur. Son unité est le $W/m^2 \cdot K$. Plus la valeur U est faible, plus le matériau est isolant. Une valeur U de 1, par exemple, signifie que la perte de chaleur est de 1 watt par mètre carré et par degré Kelvin de différence. Ainsi, lorsque la température est de $-5^{\circ}C$ à l'extérieur et de $20^{\circ}C$ à l'intérieur, un mur de $10 m^2$ dont la valeur U vaut 1 provoque une perte de chaleur équivalant à : $1 (W/m^2 \cdot K) \times 10 (m^2) \times 25 (K) = 250 W$. (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2015).

La valeur U donne une information sur la performance d'isolation d'un élément de construction (mur, toit, plancher, porte, fenêtre...). Elle indique la quantité de chaleur qui passe en une seconde à travers une surface de $1 m^2$ lorsqu'il y a une différence de température de $1^{\circ}C$ entre l'intérieur et l'extérieur. (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2015).

En d'autres termes et selon les cours de M. Michel Bonvin, la valeur U d'un matériau s'obtient, dans un premier temps, en déterminant sa résistance totale (R_{tot}). Pour cela, il faut tenir compte de la résistance intérieure (R_i) qui s'élève à $0.125 m^2K/W$ ainsi que de son équivalent extérieur (R_e) de $0.05 m^2K/W$. Puis, la résistance du matériau se calcule en divisant son épaisseur respective (d) par son coefficient de conductivité thermique λ (conductivité de chaleur). Enfin, il suffit d'additionner les résistances entre elles afin d'obtenir le calcul suivant représentant la résistance totale de l'élément analysé : $R_{tot} = R_i + R_m + R_e$. Pour terminer, la valeur U se détermine en divisant 1 par la résistance totale trouvée précédemment. Le résultat aura comme unité W/m^2K (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 30).

Lionel Briguet

Cette valeur est précieuse pour déterminer les déperditions de chaleur d'un toit, d'un mur ou d'une fenêtre. Les standards actuels Minergie en matière de valeur U pour un toit ou un mur se situent autour de $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Minergie, 2015).

Pour les fenêtres, le calcul de la valeur U est plus complexe. En effet, il faut considérer une valeur U_g pour la vitre et une valeur U_f pour le cadre de la fenêtre. En outre, il est nécessaire d'estimer le pourcentage de vitre respectivement du cadre composant la fenêtre. L'addition de ces deux valeurs donne la valeur U_w correspondant à la performance d'isolation de la fenêtre entière. Actuellement, au niveau du standard Minergie, la valeur U_w se situe à $1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Au niveau du vitrage, sa valeur U_g correspond à $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Minergie, 2015).

Concernant le Complexe sportif et selon les recommandations de M. Stéphane Genoud, professeur à la HES-SO Valais, les déperditions thermiques par les murs, le toit et les fenêtres ont été analysées. Les plans d'architecte fournis par le bureau d'architecture Michel Carron SA à Riddes ainsi que les différentes interviews réalisées auprès de M. Michel Carron, architecte responsable du bureau, ont permis de relever les différents matériaux composant l'enveloppe dans le but d'identifier la valeur U de chaque élément. Ensuite, les calculs ont été exécutés grâce aux cours donnés par M. Michel Bonvin.

Pour faire suite à ces calculs, une comparaison sera faite avec les normes Minergie afin d'observer où le bâtiment se situe d'un point de vue de l'efficacité énergétique. Puis, des recommandations seront données en vue d'améliorer l'enveloppe thermique.

4.1.1 Façades

Les façades sont composées de béton armé d'une épaisseur de 25 centimètres (cm), d'une isolation en laine de verre (6 cm), d'une lame d'air (8 cm), d'un panneau Novopan standard en fibre de bois (3.6 cm) et de moquette (0.7 cm) (M. Carron, architecte, communication personnelle, 8 mai 2015). Le tableau 15 présente les différents matériaux composant la paroi, leurs valeurs lambda respectives ainsi que les calculs de la résistance totale et de la valeur U.

Tableau 15- Calcul valeur U des façades

Type de matériaux	Épaisseur (m)	Valeur λ (W/mK)	Résistances (m^2K/W)
Béton	0.25 ^a	1.8 ^b	0.125 ^f
Laine de verre	0.06 ^a	0.04 ^b	0.05 ^f
Lame d'air	0.08 ^a	0.18 ^c	
Novopan	0.036 ^a	0.15 ^d	
Moquette	0.007 ^a	0.09 ^e	

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (M. Carron, architecte, communication personnelle, 8 mai 2015)
- b. (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 30)
- c. (Marti, 2002, p. 14)
- d. (Isoltop, 2015)
- e. (Tyco Thermal Controls, 2004)
- f. (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 30)

Résistance totale	2.58 ^a	m^2K/W
Valeur U	0.39 ^a	W/m^2K

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 30)

La valeur U pour les murs est deux fois et demie plus élevée que les standards Minergie qui se situent aux alentours des 0.15 W/m^2K (Minergie, 2015). Le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique demeure donc intéressant.

Le tableau 16 montre l'évolution de la valeur U au fil des années. Il a été constaté que la valeur U calculée pour le Centre sportif, construit en 1987, correspond à celle de l'année 1985 (M. Bonvin, docteur et professeur HES-SO, communication personnelle, 4 mai 2015).

Tableau 16- Comparaison des valeurs U des murs à travers les années

Année	Épaisseur isolation (m)	Épaisseur béton (m)	Valeur λ isolation	Valeur λ béton	Résistance totale	Valeur U
1955	0 ^a	0.25 ^b	0.04	1.8	0.314	3.18
1965	0.04 ^a	0.25 ^b			1.314	0.76
1975	0.06 ^a	0.25 ^b			1.814	0.55
1985	0.08 ^a	0.25 ^b			2.314	0.43
1995	0.13 ^a	0.25 ^b			3.564	0.28
2005	0.2 ^a	0.25 ^b			5.314	0.18
2015	0.25 ^a	0.25 ^b			6.564	0.15

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015)
- b. (M. Carron, CP, 8 mai 2015)

La solution envisagée afin de remédier à ce problème d'isolation serait une augmentation de celle-ci depuis l'extérieur plutôt que depuis l'intérieur. Effectivement, cette méthode d'isolation comporte plusieurs avantages : elle permet d'isoler toute la façade et ainsi garder le bâtiment au chaud l'hiver et au frais l'été. Cela permet de réduire la consommation de chauffage l'hiver et de la climatisation en été. Elle épargne également les problèmes de condensation d'humidité dans le matériau isolant et dans les murs ainsi que la perte de chaleur par les ponts thermiques. Ces ponts thermiques sont les parties extérieures de l'habitat qu'une isolation intérieure ne parvient pas à couvrir comme les extrémités des dalles prises dans la façade, les paliers de porte ou les embrasures des fenêtres (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2015). De plus, une isolation intérieure réduit considérablement la surface des pièces.

À l'heure actuelle, les normes concernant l'isolation préconisent une épaisseur de 25 cm de laine de verre avec un coefficient lambda de 0.04 (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015). Les façades nécessiteraient une isolation en laine de verre supplémentaire de 20 cm. Ainsi un ajout d'une telle isolation permettrait d'obtenir une valeur U de 0.13 W/m²K.

Tableau 17- Calcul valeur U des façades après amélioration

Type matériaux	Épaisseur	Valeur λ (W/mK)	Résistances (m ² K/W)
Laine de verre	0.26 ^a	0.04 ^b	0.125
Béton	0.25	1.8	0.05
Lame d'air	0.08	0.18	
Novopan	0.036	0.15	
Moquette	0.007	0.09	

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015)

Résistance totale	7.58	m ² K/W
Valeur U	0.13	W/m ² K

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

4.1.2 Toit de la salle de gymnastique

Ce toit est composé d'une lambourde de 5 cm, d'un lambris de 1 cm et d'une isolation en laine de verre de 10 cm (M. Carron, CP, 8 mai 2015).

Tableau 18- Calcul valeur U du toit de la salle de gymnastique

Type de matériaux	Épaisseur (m)	Valeur λ (W/mK)	Résistances (m ² K/W)
Lambourde	0.05 ^a	0.14 ^b	0.125
Lambris	0.01 ^a	0.14 ^b	0.05
Isolation (Isover Luro)	0.1 ^a	0.04 ^b	

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. Plans d'architecte fournis par le bureau d'architecture Michel Carron SA à Riddes
- b. (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 30)

Résistance totale	3.10	m ² K/W
Valeur U	0.32	W/m ² K

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

À nouveau, le constat de la valeur U du toit est semblable à celui des murs. L'isolation n'est pas suffisante, cela se traduit par une valeur U deux fois plus élevée que les standards Minergie en vigueur (Minergie, 2015). Cependant, cette valeur reste moins élevée que celle concernant la façade. Selon M. Michel Bonvin, il est fréquent que l'isolation du toit soit plus conséquente étant donné que la chaleur a tendance à s'évacuer par le haut (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015).

Donc dans cette bâtisse, il est recommandé d'ajouter au moins 15 cm de laine de verre de façon à augmenter l'efficacité énergétique et ainsi rejoindre les standards actuels en matière d'isolation (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015). Dès lors, la valeur U serait de 0.15 W/m²K.

Tableau 19- Calcul de la valeur U du toit de la salle polyvalente après amélioration

Type matériaux	Épaisseur	Valeur λ (W/mK)	Résistances (m ² K/W)
Lambourde	0.05	0.14	0.125
Lambris	0.01	0.14	0.05
Isolation (Isover Luro)	0.25 ^a	0.04	

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015).

Résistance totale	6.85	m ² K/W
Valeur U	0.15	W/m ² K

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

4.1.3 Toit du hall d'entrée

Les composants de ce toit sont 3 cm de laine de verre ainsi que 8 cm de liège (M. Carron, architecte, communication personnelle, 13 mai 2015). La surface totale du toit s'élève à 490 m² (mesuré grâce à Google earth). Cependant pour les déperditions thermiques, une valeur de 328 m² a été définie étant donné que les avant-toits n'ont pas été pris en considération dans le calcul (mesuré sur place).

Tableau 20- Calcul valeur U du toit du hall d'entrée

Type de matériaux	Épaisseur	Valeur λ (W/mK)	Résistances (m ² K/W)
Isolation (Isover Luro)	0.03 ^a	0.04	0.125
Panneau de liège	0.08 ^a	0.04 ^b	0.05

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (M. Carron, CP, 13 mai 2015)

b. (Tout le liège, 2015)

Résistance totale	2.93	m ² K/W
Valeur U	0.34	W/m ² K

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

La toiture du hall d'entrée ne comporte certes pas les mêmes matériaux que celle de la salle de gymnastique, mais sa valeur U est quasi similaire. L'analyse faite précédemment peut être appliquée dans ce cas. Dans le but de réduire les pertes de chaleur, un ajout d'isolation

de 17 cm est indispensable (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015). Ce faisant, la valeur U atteindra environ 0.14 W/m²K.

Tableau 21- Calcul de la valeur U du toit du hall d'entrée après amélioration

Type matériaux	Épaisseur	Valeur λ (W/mK)	Résistances (m ² K/W)
Isolation (Isover Luro)	0.20 ^a	0.04	0.125
Panneau de liège	0.08	0.04	0.05

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015)

Résistance totale	7.175	m ² K/W
Valeur U	0.14	W/m ² K

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

4.1.4 Fenêtres

Enfin, les fenêtres ont nécessité plusieurs calculs, car l'établissement est muni de trois types de fenêtres différents. Cela représente donc trois calculs de valeur U_w . En premier lieu, il y a les fenêtres de la salle de gymnastique, de la bibliothèque, de la ludothèque et les fenêtres du côté sud qui possèdent le même type de vitrage et de cadre. Selon les renseignements fournis par M. Michel Carron, la valeur U_g du vitrage est de 1.6 W/m²K et la valeur U_f du châssis métallique de 3 W/m²K (M. Carron, CP, 8 mai 2015). Cette dernière valeur a été donnée par M. Pierre-André Crausaz, représentant de Flachglas pour la Suisse romande (P.A. Crausaz, représentant de Flachglas pour la Suisse romande, communication personnelle, 7 mai 2015). En effet, les vitres ont été fabriquées par l'entreprise Flachglas (Schweiz) AG. Le double vitrage se compose de deux verres de 4 mm chacun et d'un intercalaire de 16 mm rempli de lame d'air (P.A. Crausaz, CP, 7 mai 2015). Contrairement aux murs et au toit, la valeur U_w de la fenêtre se calcule différemment étant donné qu'il faut prendre en considération le pourcentage de vitre et celui du cadre. Pour tous les calculs U_w de ce chapitre, la proportion d'un cadre d'une fenêtre normalisée a été choisie soit 25% (Glas Trösch GmbH, 2012, p. 224).

Tableau 22- Calcul valeur U_w

Type de matériaux	Valeur U_g	Valeur U_f
Double vitrage standard	1.6 ^a	
Cadre métallique		3 ^b

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (M. Carron, CP, 8 mai 2015)
- b. (P.A. Crausaz, CP, 7 mai 2015)

Valeur U_w fenêtre	1.95 ^a	W/m ² K
--	-------------------	--------------------

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (M. Bonvin, CP, 4 mai 2015)

La valeur U_w calculée ci-dessus est presque deux fois plus élevée que les normes Minergie (1 W/m²K) (Minergie, 2015). Le vitrage possède une valeur U_g quatre fois plus élevée que la valeur actuelle pour des verres isolants triples (coefficient U_g de 0.4 W/m²K) (Glas Trösch GmbH, 2012, p. 221). Ce vitrage est également moins isolant qu'un double vitrage performant actuel (valeur U_g 1 W/m²K) (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2013). Il est intéressant de savoir qu'une réduction du coefficient U_g de 0.1 W/m²K permet une économie de 1.1 litre de mazout par m² et par période de chauffage (GINDRAUX FENÊTRES SA, 2015). Le remplacement des fenêtres actuelles par des triples vitrages de dernière génération (valeur U_g 0.5) engendrerait une économie de 12.1 litres de mazout par m² (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2013).

Dès lors, la recommandation serait de suppléer les fenêtres actuelles par des triples vitrages isolants (D. Crettenand, vitrier, communication personnelle, 1^{er} juin 2015). Pour ce faire, un devis a été proposé par l'entreprise Vitrierie miroiterie Dominique Crettenand à Ardon (voir annexe IX). Les fenêtres proposées possèdent un triple vitrage isolant d'une valeur U_g de 0.5 W/m²K muni d'un cadre en PVC d'une valeur U_f de 1 W/m²K. Ces dernières permettraient de diviser par trois la valeur U_w actuelle. Il faut également considérer la valeur « g » d'un vitrage. Celle-ci indique le pourcentage de soleil transféré directement à l'intérieur. Idéalement, ce pourcentage devrait être élevé en hiver de façon à agir comme un chauffage d'appoint et bas en été pour éviter une surchauffe des locaux (Fenêtres Ecoplus, 2015). Il faut donc privilégier une valeur « g » élevée (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2015). La valeur « g » des verres isolants triples proposés par Dominique Crettenand se monte à 47% (D. Crettenand, CP, 1^{er} juin 2015).

Tableau 23- Calcul valeur U_w après amélioration

Type matériaux	Valeur U_g	Valeur U_f
Triple vitrage	0.5 ^a	
Cadre PVC		1 ^a

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (D. Crettenand, CP, 1^{er} juin 2015)

Valeur U_w fenêtre	0.625	W/m ² K
--	-------	--------------------

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Ensuite, les fenêtres de l'appartement au premier étage situé côté sud comportent une valeur U_g de 1.9 W/m²K et une valeur U_f du cadre en bois de 1.8 W/m²K (M. Carron, CP, 8 mai 2015) (Suisse énergie, 2009). Une fois encore, l'isolation n'est pas optimale. Elle est presque deux fois moins performante que la norme Minergie. Cependant, les vitres de l'appartement sont un peu mieux isolées que le reste du bâtiment, car elles possèdent un châssis en bois avec une valeur U_f plus faible. Les pertes de chaleur au travers des fenêtres de l'appartement sont donc moins importantes.

Tableau 24- Calcul valeur U_w

Type de matériaux	Valeur U_g	Valeur U_f
Double vitrage standard	1.9 ^a	
Cadre bois		1.8 ^a

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (M. Carron, CP, 8 mai 2015)

Valeur U_w fenêtre	1.875	W/m ² K
--	-------	--------------------

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

De la même manière que précédemment, la solution pour réduire considérablement les déperditions thermiques serait de substituer les fenêtres existantes par des fenêtres triples vitrages isolants avec cadre en PVC. Ces fenêtres proposées par l'entreprise de vitrerie à Ardon permettent de réduire par trois la valeur U_w pour les fenêtres de l'appartement (D. Crettenand, CP, 1^{er} juin 2015)

Tableau 25- Calcul valeur U_w après amélioration

Type de matériaux	Valeur U_g	Valeur U_f
Triple vitrage	0.5	
Cadre bois		1

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Valeur U_w fenêtre	0.625	W/m ² K
--	-------	--------------------

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Enfin, l'entrée du Complexe sportif possède des vitres d'une valeur U_g de 1.1 munies d'un cadre en aluminium à rupture thermique d'une valeur U_f de 1.9 W/m²K (Y. Bender, entrepreneur construction métallique, communication personnelle, 12 juin 2015). Ce sont des doubles vitrages et elles ont été posées par l'entreprise Yvon Bender construction métallique Sàrl en 2007 (P. Bertuchoz, CP, 18 mai 2015). La valeur U_w de la fenêtre se rapproche de la norme Minergie de 1 W/m²K, mais elle reste toutefois légèrement au-dessus.

Tableau 26- Calcul valeur U_w

Type matériaux	Valeur U_g	Valeur U_f
Double vitrage	1.1 ^a	
Cadre métallique		1.9 ^a

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (Y. Bender, CP, 12 juin 2015)

Valeur U_w fenêtre	1.3	W/m ² K
--	-----	--------------------

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Malgré une bonne valeur U constatée avant les travaux de modification, si des vitres triples vitrages viennent à remplacer les doubles vitrages existants, la valeur U_w sera tout de même divisée par deux.

Tableau 27- Calcul valeur U_w après amélioration

Type matériaux	Valeur U_g	Valeur U_f
Triple vitrage	0.5	
Cadre métallique		1

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Valeur U_w fenêtre	0.625	W/m ² K
--	-------	--------------------

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Lionel Briguet

4.1.4.1 Dérogation rafraîchissement pour la bibliothèque

Il est prévu durant l'année 2015 d'installer une climatisation dans cette salle (P. Bertuchoz, CP, 6 mai 2015). La bibliothèque est orientée à l'ouest. Par conséquent, les différentes visites ont permis de constater que dès le début de l'après-midi le soleil chauffe énormément ce local. Il est donc recommandé d'installer une protection solaire sous forme de store à l'extérieur dans le but de protéger au mieux de la chaleur et ainsi éviter une dépense d'énergie excessive de la part de la climatisation (S. Genoud, CP, 6 mai 2015). L'article 1.8 du modèle des prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) détermine les exigences et justifications concernant le confort thermique en été (voir annexe X) (Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie, 2014).

Figure 23- Bibliothèque du Centre sportif de Combremont



Source : Photo prise sur place par l'auteur.

4.2 Les déperditions thermiques

Après avoir répertorié toutes les valeurs U, les pertes de chaleur peuvent être chiffrées grâce au calcul suivant (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 25) :

$$Pertes = U * S * \Delta T$$

Le résultat obtenu sera en Watt et désignera la puissance que la chaudière devra déployer pour combler ces pertes de chaleur. Le « U » désigne la valeur U calculée, le « S » correspond à la surface en m² et le ΔT à la différence de température entre l'intérieur (T₁) et l'extérieur (T₂) de la bâtisse.

Les différentes surfaces (S) ont été mesurées à l'aide des plans d'architecte du bâtiment. Les surfaces de béton et de fenêtres pour chaque façade ont ainsi pu être déterminées. Les

Lionel Briguet

surfaces des toits ont été trouvées grâce à Google earth ainsi qu'aux mesures effectuées sur place (annexe XI).

Les températures mensuelles ont quant à elles été relevées grâce à la base de données climatique RETScreen (RETScreen International, 2015). Étant donné que les données climatiques de Riddes n'étaient pas répertoriées, celles de Sion ont été extraites. La colonne « différence de température (ΔT) » a été calculée en soustrayant la température moyenne à l'intérieur du bâtiment (T_1) à la température moyenne extérieure (T_2) (annexe XII).

Grâce à l'ensemble de ces données, les déperditions thermiques ont pu être estimées sur l'annexe XIII.

Le total des pertes thermiques liées à l'enveloppe s'élève à 172 kW par année. Cela signifie que le chauffage doit fournir une puissance de 172'000 W pour compenser les pertes totales (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 29). Pour les mois de juillet et août, il n'y a pas de pertes thermiques étant donné que le Centre sportif est fermé, le chauffage et l'ECS ne sont pas en fonction pendant cette période (P. Bertuchoz, concierge, communication personnelle, 12 juin 2015).

À présent, afin d'évaluer la consommation de chauffage perdue à travers l'enveloppe, les déperditions thermiques « W » doivent être converties en kilowattheure « kWh ». Pour ce faire, il faut estimer le nombre d'heures d'utilisation du chauffage par mois. Les consommations mensuelles effectives de chauffage relevées par le concierge ont alors été prises (P. Bertuchoz, CP, 9 avril 2015). Les relevés de deux mois ont été mis en annexes XV et XVI à titre d'exemple. Les consommations de janvier, février, mars et avril appartiennent à l'année 2015 étant donné qu'en 2014 le concierge n'avait pas encore commencé à relever les données de consommation pour ces mois-ci (P. Bertuchoz, CP, 12 juin 2015). En se basant sur les moyennes des températures mensuelles situées sur l'annexe XII, janvier est le mois le plus froid. Donc, l'hypothèse émise est que le chauffage est allumé 24 heures sur 24 pendant cette période. Dès lors, un ratio est effectué avec les consommations effectives de chaque mois en gardant la consommation du mois de janvier comme base de référence. Ce ratio s'applique ensuite aux heures totales de chaque mois en vue d'évaluer les heures mensuelles d'utilisation du chauffage.

Tableau 28- Nombre d'heures d'utilisation du chauffage par mois

Mois	Consommation effective (kWh) ^a	Part de chauffage	Heures totales mensuelles	Heures utilisation chauffage
Janvier	34'950 kWh	100%	744 h	744 h
Février	27'494 kWh	78.67%	672 h	528.7 h
Mars	19'436 kWh	55.61%	744 h	413.7 h
Avril	20'712 kWh	59%	720 h	426.7h
Mai	12'891 kWh	36.88%	744 h	274.4 h
Juin	7'355 kWh	21.04%	720 h	151.5 h
Juillet	-	-	-	-
Août	-	-	-	-
Septembre	9'267 kWh	26.52%	720 h	190.9 h
Octobre	12'363 kWh	35.37%	744 h	263.2 h
Novembre	18'765 kWh	53.69%	720 h	387 h
Décembre	25'200 kWh	72.10%	744 h	536 h

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. Relevés du concierge (P. Bertuchoz, CP, 9 avril 2015)

Lorsque ces heures ont été déterminées, elles peuvent être appliquées aux différentes pertes thermiques en « W ». La consommation de chauffage en « kWh » perdue pourra alors être détectée. Ce passage en « kWh » permet d'évaluer le pourcentage de la consommation de chauffage perdue à travers le bâtiment par rapport aux factures.

Tableau 29- Pertes thermiques et consommations mensuelles perdues de chauffage

	Pertes thermiques (W) ^a	Consommation perdue (kWh)
Janvier	29'331.67 W	21'823 kWh
Février	26'704.96 W	14'117 kWh
Mars	19'700.38 W	8'151 kWh
Avril	14'592.87 W	6'227 kWh
Mai	7'588.29 W	2'082 kWh
Juin	1'945.72 W	295 kWh
Juillet	-	-
Août	-	-
Septembre	7004.58 W	1'337 kWh
Octobre	14'009.16 W	3'687 kWh
Novembre	23'056.74 W	8'913 kWh
Décembre	28'310.17 W	15'187 kWh
Total	172'244.54 W	81'819 kWh

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, pp. 25, 26)

Dès lors, il a été remarqué que les pertes thermiques étaient assez élevées. En effet, la consommation effective de chauffage pour les mois de janvier à mi-avril 2014 s'est élevée à 108'901 kWh selon l'annexe XVII. D'après divers calculs, la consommation perdue lors de cette période s'élève à 47'205 kWh soit 43% du montant de la facture totale. Cela prouve que le bâtiment est très mal isolé c'est pourquoi un assainissement doit être opéré.

4.3 Économies annuelles réalisées

Selon les propositions d'amélioration de l'enveloppe vues plus haut, l'économie possible se monte à 51'742 kWh. Effectivement, les travaux d'amélioration de l'efficacité énergétique permettent de réduire considérablement les pertes thermiques. Les tableaux 30 et 31 présentent les résultats obtenus avant et après travaux. Les tableaux complets des déperditions thermiques se situent sur les annexes XIII et XIV.

Tableau 30- Tableau récapitulatif des déperditions thermiques avant travaux

	Perte avant travaux (W)^a	Consommation perdue (kWh)
Janvier	29'331.67 W	21'823 kWh
Février	26'704.96 W	14'117 kWh
Mars	19'700.38 W	8'151 kWh
Avril	14'592.87 W	6'227 kWh
Mai	7'588.29 W	2'082 kWh
Juin	1'945.72 W	295 kWh
Juillet	-	-
Août	-	-
Septembre	7'004.58 W	1'337 kWh
Octobre	14'009.16 W	3'687 kWh
Novembre	23'056.74 W	8'913 kWh
Décembre	28'310.17 W	15'187 kWh
Total	172'244.54 W	81'819 kWh

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. (Bonvin, Vuilleumier, & Line, Energy Management, Techniques énergétiques, 2012, p. 25), détail sur l'annexe XIII

Tableau 31- Tableau récapitulatif des déperditions thermiques après travaux

	Perte après travaux (W) ^a	Consommation perdue (kWh)
Janvier	10'782.25 W	8'022 kWh
Février	9'816.68 W	5'189 kWh
Mars	7'241.81 W	2'996 kWh
Avril	5'364.30 W	2'289 kWh
Mai	2'789.44 W	765 kWh
Juin	715.24 W	108 kWh
Juillet	-	-
Août	-	-
Septembre	2'574.87 W	492 kWh
Octobre	5'149.73 W	1'355 kWh
Novembre	8'475.60 W	3'276 kWh
Décembre	10'406.75 W	5'583 kWh
Total	63'316.67 W	30'076 kWh

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

a. Détail des déperditions après travaux sur l'annexe XIV

Différence de perte (économie)	51'742 kWh
---------------------------------------	-------------------

Le contrôle des économies pourra être réalisé grâce à des mesures faites après travaux. L'outil utilisé à cet effet est le protocole IPMVP. La méthode D du site entier sera utilisée pour l'enveloppe. En effet, elle mesure tous les effets d'une amélioration dans le bâtiment et permet de gérer l'utilisation totale de l'énergie. L'option est choisie en fonction de la disponibilité des données. S'il n'y a pas de compteur pour la période de référence, l'option D est privilégiée à la C. (Efficiency Valuation Organization (EVO), 2015).

4.4 Montant des modifications

Pour améliorer l'isolation et ainsi éviter les déperditions thermiques, il faudrait ajouter une isolation par l'extérieur de 20 centimètres pour les murs, 15 à 17 cm pour les toitures et changer toutes les fenêtres munies de doubles vitrages par des triples vitrages.

Le coût total de cet investissement brut s'élèverait à 442'575 CHF soit 372'156 CHF pour l'isolation des murs et du toit et 70'419 CHF pour le changement des triples vitrages (D. Crettenand, CP, 1^{er} juin 2015). Le coût de la pose de l'isolation s'élève à 200 CHF/m² pour les murs et de 180 CHF/m² pour le toit (V. Bonvin, collaborateur chez Claude Bonvin & Fils SA, communication personnelle, 17 juin 2015). Notons également que l'État du Valais accorde une subvention en cas de rénovation à hauteur de 30 CHF par m² pour les murs le toit et les fenêtres via le Programme Bâtiments (Canton du Valais, 2012). Ce programme est mis en

Lionel Briguet

place dans toute la Suisse. En effet, il accorde des subventions à tous propriétaires désirant améliorer l'efficacité énergétique de l'enveloppe thermique de son établissement existant, chauffé et construit avant l'an 2000 (OFEV, 2015). Il s'agit de remplacement de fenêtres ou de l'isolation thermique des murs, du toit et du plancher (Office fédéral de l'environnement [OFEV], 2015). Ainsi, depuis 2014, le Programme Bâtiments détient une somme globale de 320 à 360 millions (OFEV, 2015). Grâce à cette aide étatique, les dépenses nettes se montent à 370'192 CHF.

Tableau 32- Surface en m²

Béton	Vitres	Toit
537.6 m ²	405 m ²	1470.2 m ²

Source : Élaboré par l'auteur sur la base des plans d'architecte.

Tableau 33- Prix des travaux d'amélioration

Investissement brut	442'575 CHF ^a
Subventions	72'383 CHF ^b
Investissement net	370'192 CHF

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. (V. Bonvin, CP, 17 juin 2015) (D. Crettenand, CP, 1er juin 2015)
- b. (Canton du Valais, 2012)

4.5 Calculs économiques

En ce qui concerne ces travaux d'amélioration, le tableau 34 présente les différentes données nécessaires en vue d'effectuer ces calculs. Le prix de 0.24 CHF/kWh, calculé d'après l'annexe XVII, est le tarif de la chaleur fournie par le chauffage à distance à Riddes en prenant en compte également la taxe sur la puissance (C. Reuse, collaboratrice administrative, communication personnelle, 27 avril 2015).

Tableau 34- Données nécessaires aux calculs financiers

Gain de consommation (après travaux d'amélioration)	51'742 kWh ^a
Prix kWh	0.24 CHF/kWh ^b
Taux	1.75% ^c
Durée de vie	40 ans ^d
Investissement net	370'192 CHF

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

- a. Voir tableaux 30 et 31, différence consommation avant et après travaux
- b. (C. Reuse, CP, 27 avril 2015)
- c. (Homegate, 2015)
- d. (S. Genoud, CP, 12 juin 2015)

À l'aide des données du tableau 34, le flux de liquidité peut être calculé. Il s'élève à 12'418 CHF (51'742 kWh * 0.24 CHF/kWh). Puis, ce cash-flow devra être actualisé de façon à définir la VAN et le TRI. Enfin, le rapport entre l'investissement net et le flux de liquidité renseignera sur la rentabilité de l'apport.

Tableau 35- Calculs financiers

Cash-flow	12'418 CHF
VAN	-14'849.21 CHF
TRI	1.52%
ROI	30 ans

Source : Tableau de l'auteur provenant de sources multiples.

Malgré un temps de retour inférieur à la durée de vie, cet investissement n'est pas rentable. Il ferait perdre près de 15'000 CHF. Cela est causé par un TRI inférieur au taux hypothécaire actuel variable de référence. Quant au ROI, il se ferait après 30 ans. Malgré ces indicateurs financiers, il est recommandé d'investir dans ces modifications, car le bâtiment possède une longue durée de vie. Ainsi, d'une fois que le retour sur investissement aura lieu, l'établissement continuera de bénéficier de plus faibles pertes thermiques ce qui aura comme conséquence directe, l'allègement de ses factures annuelles d'électricité.

5. Eau chaude sanitaire

Les diverses inspections au sein du Centre sportif ont démontré que la température de l'ECS était un peu basse. Effectivement, celle-ci se situe légèrement en dessous des 60 °C (P. Bertuchoz, CP, 12 juin 2015). Bien évidemment, la tendance serait de garder une température moindre afin de consommer moins d'énergie (une réduction d'un degré permet d'économiser environ 7% d'énergie) et d'éviter l'apparition de tartre (Finemedia, 2015). Cependant, il est indispensable d'élever la température au-dessus de 60 °C pour prévenir de la légionellose (Architecture et Climat Université catholique de Louvain, 2015). Selon l'Office fédéral de la santé publique [OFSP], il s'agit d'une grave infection des poumons causée par certaines bactéries du genre *Legionella*. Elles sont présentes dans quasi tous les milieux humides et se développent particulièrement bien dans les systèmes hydrauliques dans lesquels l'eau n'est pas régulièrement renouvelée et dont la température varie entre 25 °C et 45 °C (conduites d'eau sanitaire, robinets et pommeaux de douches...). L'infection se produit lors de l'inhalation des gouttelettes d'eau contaminées (Office fédéral de la santé publique [OFSP], 2013). Par conséquent, il faut veiller à ce que la température se situe entre 60 et 65 °C (Finemedia, 2015). Dès lors, la recommandation serait de laisser la température à 50 °C en été s'il y a assez d'ECS, et une fois par semaine, la remonter à 65 °C dans le but d'effectuer le cycle de la légionellose (S. Genoud, CP, 6 mai 2015). En effet, à 65 °C, la bactérie est détruite en deux minutes (Petit, 2009).

Figure 24- Température ECS



Source : Photo prise sur place par l'auteur.

Lionel Briguet

À présent, il serait intéressant de calculer le gain en énergie possible lorsque la température de l'eau s'abaisse de 65 °C à 50 °C. La formule suivante a été utilisée en vue de procéder au calcul de cette économie. (Bureau d'ingénierie, bureau d'études techniques, 2015) :

$$E = \frac{1.163 \times \Delta T \times M}{\% \text{ pertes thermiques}}$$

1.163 kWh représentent l'énergie nécessaire pour élever 1 m³ d'eau chaude de 1 °C. La différence de température entre l'eau du boiler et l'eau du réseau est exprimée par le ΔT . Le « M » symbolise la masse de l'eau chaude sanitaire. Enfin, le dénominateur désigne les pertes thermiques dues au réseau de distribution et à travers les parois de la chaudière (Bureau d'ingénierie, bureau d'études techniques, 2015).

Donc, il suffit de remplacer ces termes pour évaluer les gains en énergie possibles. En premier lieu, le calcul se fera avec une eau chaude sanitaire à 50 °C et une eau du réseau à 9 °C (D. Meizoz, technicien communal, communication personnelle, 15 juin 2015). Puis, le processus sera identique, mais avec une eau chaude à 65 °C. Si l'eau chaude sanitaire se monte à 55 °C, les pertes thermiques seront de 10% (Bureau d'ingénierie, bureau d'études techniques, 2015). Donc, à une température de 50 °C, elles s'élèveront à 8.5%. En effet, ces pertes sont directement proportionnelles à la différence de température entre l'eau chaude et la pièce où le boiler se trouve (par exemple 50 degrés dans le boiler et 20 degrés dans la pièce) (M. Bonvin, docteur et professeur HES-SO, communication personnelle, 27 juin 2015). Plus la différence de température est grande, plus les pertes thermiques seront importantes.

$$52.11 \text{ kWh} = \frac{1.163 \times (50 - 9) \times 1000}{0.915}$$

Ainsi, pour chauffer 1 m³ d'eau chaude, il faut dépenser une énergie de 52.11 kWh de façon à élever la température de 9 °C à 50°C. La même opération est réalisée avec de l'eau chaude à 65° en tenant compte d'une augmentation de la perte énergétique. Celle-ci s'élèvera à 12.85% en tenant compte d'une différence de température de 45 °C entre l'ECS contenue dans le boiler (65°C) et la pièce dans laquelle se trouve ce dernier (20 °C).

$$74.8 \text{ kWh} = \frac{1.163 \times (65 - 9) \times 1000}{0.871}$$

Le résultat obtenu est de 74.8 kWh. La différence entre les deux résultats correspond à l'énergie économisée lorsque la température est abaissée à 50 °C soit 22.69 kWh. D'après une évaluation des besoins en ECS, en moyenne dans un gymnase, 30 litres d'eau chaude par utilisateur sont consommés (Bureau d'ingénierie, bureau d'études techniques, 2015). Suite

Lionel Briguet

aux différentes visites, il a été constaté que pendant la journée, les écoliers ne prenaient pas la douche après leur cours de gymnastique. Par ailleurs, le soir, la plupart des adultes utilisent les sanitaires. En moyenne, 50 personnes fréquentent les lieux en soirée et il a été supposé que 80% des personnes se douchent (P. Bertuchoz, concierge, communication personnelle, 6 juillet 2015). Donc, 1200 litres d'eau chaude sanitaire sont utilisés quotidiennement et 7200 litres par semaine. Au total, en un mois, 28.8 m³ d'eau chaude sanitaire sont utilisés et en 10 mois 288 m³.

Dès lors, l'économie d'énergie annuelle en passant de 65 °C à 50 °C peut alors être calculée en multipliant ce volume d'eau par 22.69 kWh. L'économie d'énergie possible s'élève à 6'534.7 kWh par an.