

# Etude de la réhabilitation énergétique d'une maison individuelle

Amandine BROSSE  
Blandine CHAUVIN  
Emilie MORDACQUE

ENTPE  
Energétique du bâtiment  
23 mai 2005



**CONTEXTE**

# ZONE CLIMATIQUE

## BREST

- Zone été : Ea
- Zone hiver : **H2**



# EVALUATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DE LA MAISON

# CALCUL DE $U_{bat}$

# CALCUL DE $U_{bat}$

Éléments de l'enveloppe i	Type	$b_i$	$U_i$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\Psi_k$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	$U_{i\ ref}$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\Psi_{i\ ref}$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	garde-fou $1,3 U_{i\ ref}$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $1,3 \Psi_{i\ ref}$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	$A_i$ ( $m^2$ ) ou $l_k$ (m)	$b_i A_i U_i$ ou $l_k \Psi_k$ ( $W.K^{-1}$ )	$A_i \cdot U_{i\ ref}$ ou $l_k \cdot \Psi_{k\ ref}$ ( $W.K^{-1}$ )
---------------------------	------	-------	---	---	--	------------------------------------	---	---

Murs verticaux rez-de-chaussée extérieurs	paroi verticale opaque	1	1,46	0,40	0,52	49,99	72,73	19,99
Murs verticaux rez-de-chaussée sur garage		0,6	1,97	0,40	0,52	15,37	18,13	6,15
Murs verticaux étage		1	1,06	0,40	0,52	75,27	79,75	30,11
Plafond sous combles ventilés	plancher sous combles	0,8	0,67	0,23	0,30	67,15	35,98	15,44
Plancher sur garage	plancher bas	0,6	2,13	0,30	0,39	8,24	10,54	2,47
Plancher sur vide sanitaire ventilé		0,5	1,81	0,30	0,39	57,81	52,24	17,34
Baies vitrées	fenêtre avec fermeture	1	3,45	2,00	2,60	17,71	61,10	35,42
Porte d'entrée	porte opaque	1	3,50	1,50	1,95	2,86	10,01	4,29
Porte d'accès au garage		0,6	2,00	1,50	1,95	1,76	2,11	2,64
Liaison mur/plancher	liaison plancher bas/mur	-	0,50	0,50	0,65	32,50	16,25	16,25
Liaison mur/étage	liaison plancher	-	0,70	0,70	0,91	32,50	22,75	22,75
Liaison mur/plafond	autre/mur	-	0,70	0,70	0,91	32,88	23,02	23,02

296,15	404,61	195,87
$A_t$ ( $m^2$ )	$H_t$ ( $W.K^{-1}$ )	$H_{t\ ref}$ ( $W.K^{-1}$ )

# CALCUL DE $U_{bat}$

Éléments de l'enveloppe i	Type	$b_i$	$U_i$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\Psi_k$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	$U_{i\ ref}$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\Psi_{i\ ref}$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	garde-fou $1,3 U_{i\ ref}$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $1,3 \Psi_{i\ ref}$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	$A_i$ ( $m^2$ ) ou $l_k$ (m)	$b_i A_i U_i$ ou $l_k \Psi_k$ ( $W.K^{-1}$ )	$A_i \cdot U_{i\ ref}$ ou $l_k \cdot \Psi_{k\ ref}$ ( $W.K^{-1}$ )
---------------------------	------	-------	---	---	--	------------------------------------	---	---

Murs verticaux rez-de-chaussée extérieurs	paroi verticale opaque	1	1,46	0,40	0,52	49,99	72,73	19,99
Murs verticaux rez-de-chaussée sur garage		0,6	1,97	0,40	0,52	15,37	18,13	6,15
Murs verticaux étage		1	1,06	0,40	0,52	75,27	79,75	30,11
Plafond sous combles ventilés	plancher sous combles	0,8	0,67	0,23	0,30	67,15	35,98	15,44
Plancher sur garage	plancher bas	0,6	2,13	0,30	0,39	8,24	10,54	2,47
Plancher sur vide sanitaire ventilé		0,5	1,81	0,30	0,39	57,81	52,24	17,34
Baies vitrées	fenêtre avec fermeture	1	3,45	2,00	2,60	17,71	61,10	35,42
Porte d'entrée	porte opaque	1	3,50	1,50	1,95	2,86	10,01	4,29
Porte d'accès au garage		0,6	2,00	1,50	1,95	1,76	2,11	2,64
Liaison mur/plancher	liaison plancher bas/mur	-	0,50	0,50	0,65	32,50	16,25	16,25
Liaison mur/étage	liaison plancher	-	0,70	0,70	0,91	32,50	22,75	22,75
Liaison mur/plafond	autre/mur	-	0,70	0,70	0,91	32,88	23,02	23,02

$$U_{bat} = 1,37 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

$$U_{bat\ ref} = 0,66 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

296,15	404,61	195,87
$A_t$ ( $m^2$ )	$H_t$ ( $W.K^{-1}$ )	$H_{t\ ref}$ ( $W.K^{-1}$ )

# CALCUL DES DEPERDITIONS THERMIQUES

- Par transmission

$$Q_{t m} = 24 n_m H_t (T_{ai} - T_{ae m})$$

- Par renouvellement d'air

$$Q_{ra m} = 24 n_m \frac{\rho_{air} C_{p air}}{3600} Q_v (T_{ai} - T_{ae m})$$

$$\frac{\rho_{air} C_{p air}}{3600} = 0,34 \text{ Wh.K}^{-1} .m^{-3}$$

- Totales

$$Q_{tp m} = 1,3 Q_{t chauffé} + Q_{ra m} \text{ h}^{-1}$$

$$V_{chauffé} = 312,40 \text{ m}^3$$

# CALCUL DES GAINS THERMIQUES

- Apports internes

$$Q_i = 24 n_m A_{hab} I_i$$

- Gains solaires,  $A_{hab} = 124,96 \text{ m}^2$

$$Q_{s,m} = 24 n_m (I_{ouest,m} A_{s,ouest} + I_{est,m} A_{s,est})$$

A (m <sup>2</sup> )	13,09
A <sub>s est</sub> (m <sup>2</sup> )	7,85

- Totaux

A (m <sup>2</sup> )	4,62
A <sub>s ouest</sub> (m <sup>2</sup> )	2,77

$$S = 0,6 \text{ et } F = 1$$

# RESULTATS

Performance énergétique

# RESULTATS

Mois	$T_{ae\ m}$ (°C)	$Q_{s\ m}$ (kWh)	$Q_{i\ m}$ (kWh)	$Q_{g\ m}$ (kWh)	$Q_{t\ m}$ (kWh)	$Q_{ra\ m}$ (kWh)	$Q_{p\ m}$ (kWh)	$\gamma_m$	$T_{sc\ m}$ (°C)	$Q_{ch\ m\ ini}$ (kWh)
Janvier	3,6	294,16	371,88	666,04	4 936,89	1 684,79	6 621,68	0,10	5,2	5 955,64
Février	7,8	409,12	338,89	748,00	3 346,78	1 142,14	4 488,91	0,17	9,8	3 740,91
Mars	8,6	623,45	371,88	995,33	3 431,74	1 171,13	4 602,88	0,22	11,1	3 607,55
Avril	10,4	784,43	359,88	1 144,31	2 796,67	954,40	3 751,07	0,31	13,3	2 606,76
Mai	13,8	859,08	371,88	1 230,96	1 866,39	636,93	2 503,32	0,49	16,8	1 272,36
Juin	17,3	1 002,71	359,88	1 362,59	786,56	268,43	1 054,99	1,29	20,8	-307,60
Juillet	20,7	1 100,38	371,88	1 472,25	-210,72	-71,91	-282,63	-5,21	24,3	-1 754,89
Août	19,0	1 058,75	371,88	1 430,63	301,03	102,73	403,76	3,54	22,5	-1 026,87
Septembre	16,8	651,28	359,88	1 011,16	932,22	318,13	1 250,36	0,81	19,4	239,20
Octobre	13,0	410,00	371,88	781,88	2 107,21	719,12	2 826,33	0,28	14,9	2 044,45
Novembre	6,7	319,83	359,88	679,71	3 874,55	1 322,25	5 196,80	0,13	8,4	4 517,08
Décembre	5,8	206,20	371,88	578,08	4 274,63	1 458,78	5 733,41	0,10	7,2	5 155,33

**Total**

7 719,39	4 381,54	12 100,94	28 443,95	9 706,91	38 150,86
----------	----------	-----------	-----------	----------	-----------

# RESULTATS

Mois	$T_{ae\ m}$ (°C)	$Q_{s\ m}$ (kWh)	$Q_{i\ m}$ (kWh)	$Q_{g\ m}$ (kWh)	$Q_{t\ m}$ (kWh)	$Q_{ra\ m}$ (kWh)	$Q_{p\ m}$ (kWh)	$\gamma_m$	$T_{sc\ m}$ (°C)	$Q_{ch\ m\ ini}$ (kWh)
Janvier	3,6	294,16	371,88	666,04	4 936,89	1 684,79	6 621,68	0,10	5,2	5 955,64
Février	7,8	409,12	338,89	748,00	3 346,78	1 142,14	4 488,91	0,17	9,8	3 740,91
Mars	8,6	623,45	371,88	995,33	3 431,74	1 171,13	4 602,88	0,22	11,1	3 607,55
Avril	10,4	784,43	359,88	1 144,31	2 796,67	954,40	3 751,07	0,31	13,3	2 606,76
Mai	13,8	859,08	371,88	1 230,96	1 866,39	636,93	2 503,32	0,49	16,8	1 272,36
Juin	17,3	1 002,71	359,88	1 362,59	786,56	268,43	1 054,99	1,29	20,8	-307,60
Juillet	20,7	1 100,38	371,88	1 472,25	-210,72	-71,91	-282,63	-5,21	24,3	-1 754,89
Août	19,0	1 058,75	371,88	1 430,63	301,03	102,73	403,76	3,54	22,5	-1 026,87
Septembre	16,8	651,28	359,88	1 011,16	932,22	318,13	1 250,36	0,81	19,4	239,20
Octobre	13,0	410,00	371,88	781,88	2 107,21	719,12	2 826,33	0,28	14,9	2 044,45
Novembre	6,7	319,83	359,88	679,71	3 874,55	1 322,25	5 196,80	0,13	8,4	4 517,08
Décembre	5,8	206,20	371,88	578,08	4 274,63	1 458,78	5 733,41	0,10	7,2	5 155,33

**Total**

7 719,39	4 381,54	12 100,94	28 443,95	9 706,91	38 150,86
----------	----------	-----------	-----------	----------	-----------

# RESULTATS

Mois	$T_{ae\ m}$ (°C)	$Q_{s\ m}$ (kWh)	$Q_{i\ m}$ (kWh)	$Q_{g\ m}$ (kWh)	$Q_{t\ m}$ (kWh)	$Q_{ra\ m}$ (kWh)	$Q_{p\ m}$ (kWh)	$\gamma_m$	$T_{sc\ m}$ (°C)	$Q_{ch\ m\ ini}$ (kWh)
Janvier	3,6	294,16	371,88	666,04	4 936,89	1 684,79	6 621,68	0,10	5,2	5 955,64
Février	7,8	409,12	338,89	748,00	3 346,78	1 142,14	4 488,91	0,17	9,8	3 740,91
Mars	8,6	623,45	371,88	995,33	3 431,74	1 171,13	4 602,88	0,22	11,1	3 607,55
Avril	10,4	784,43	359,88	1 144,31	2 796,67	954,40	3 751,07	0,31	13,3	2 606,76
Mai	13,8	859,08	371,88	1 230,96	1 866,39	636,93	2 503,32	0,49	16,8	1 272,36
Juin	17,3	1 002,71	359,88	1 362,59	786,56	268,43	1 054,99	1,29	20,8	-307,60
Juillet	20,7	1 100,38	371,88	1 472,25	-210,72	-71,91	-282,63	-5,21	24,3	-1 754,89
Août	19,0	1 058,75	371,88	1 430,63	301,03	102,73	403,76	3,54	22,5	-1 026,87
Septembre	16,8	651,28	359,88	1 011,16	932,22	318,13	1 250,36	0,81	19,4	239,20
Octobre	13,0	410,00	371,88	781,88	2 107,21	719,12	2 826,33	0,28	14,9	2 044,45
Novembre	6,7	319,83	359,88	679,71	3 874,55	1 322,25	5 196,80	0,13	8,4	4 517,08
Décembre	5,8	206,20	371,88	578,08	4 274,63	1 458,78	5 733,41	0,10	7,2	5 155,33

**Total**

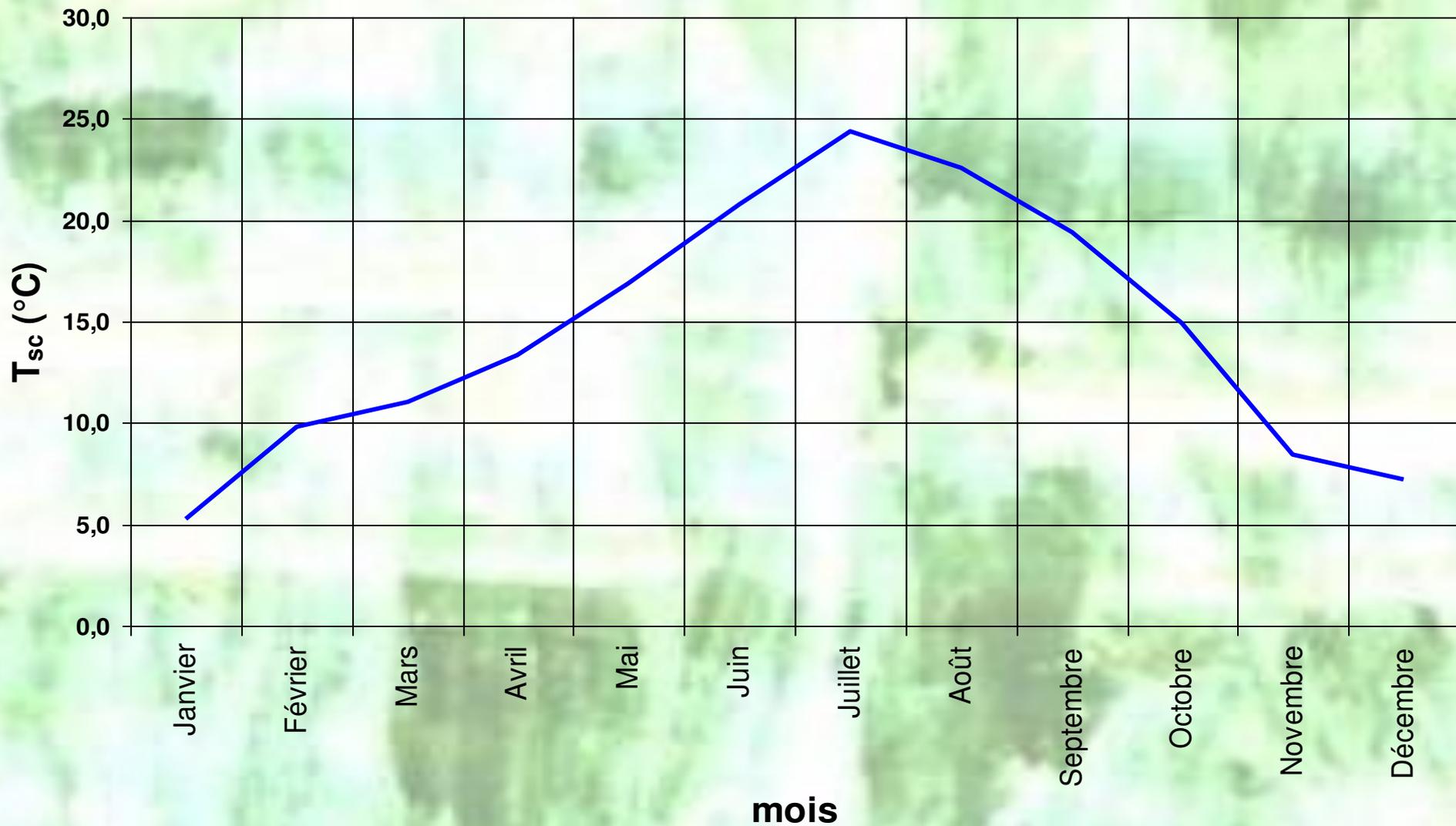
7 719,39	4 381,54	12 100,94	28 443,95	9 706,91	38 150,86
----------	----------	-----------	-----------	----------	-----------

# TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE

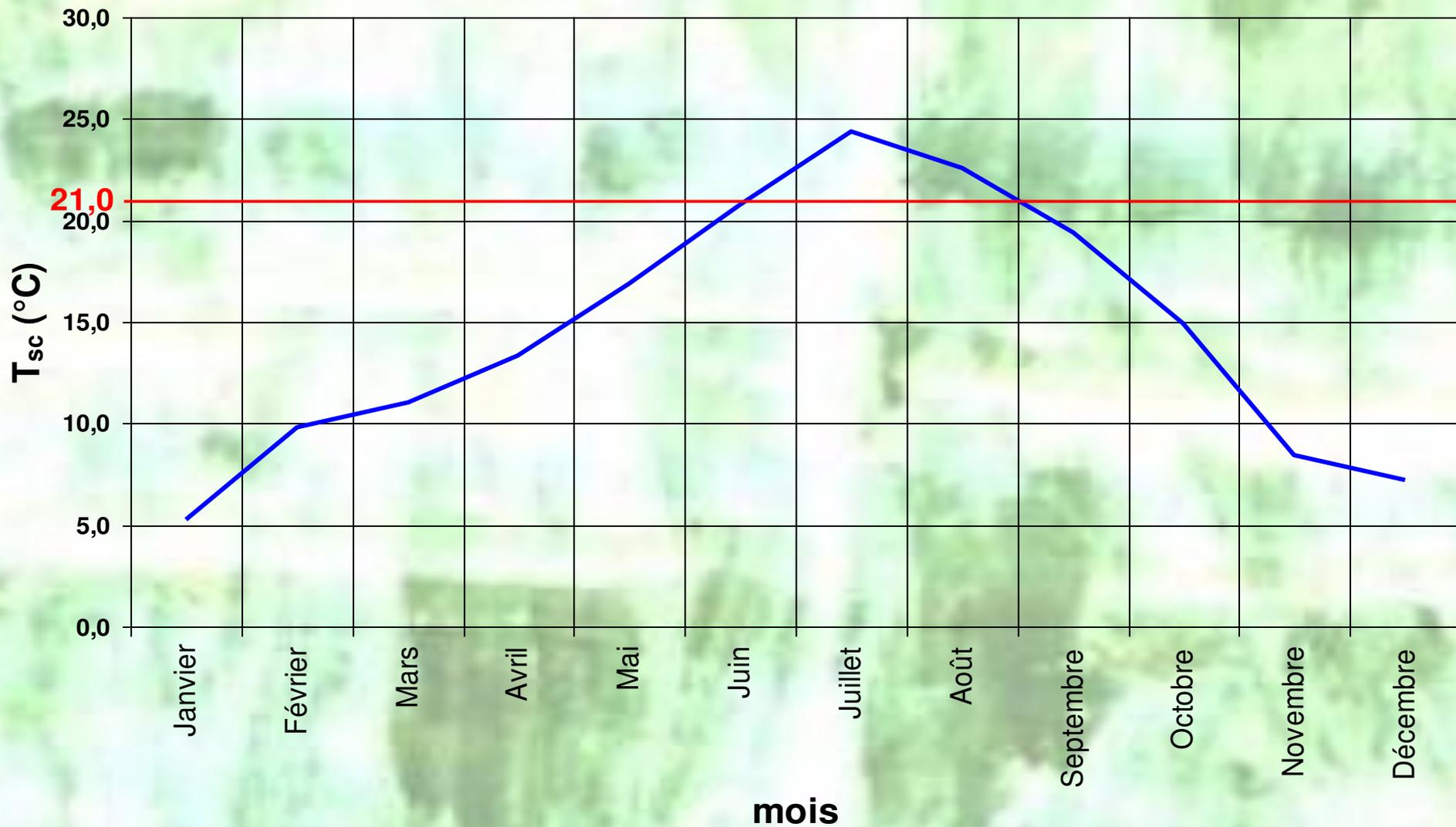


Performance énergétique

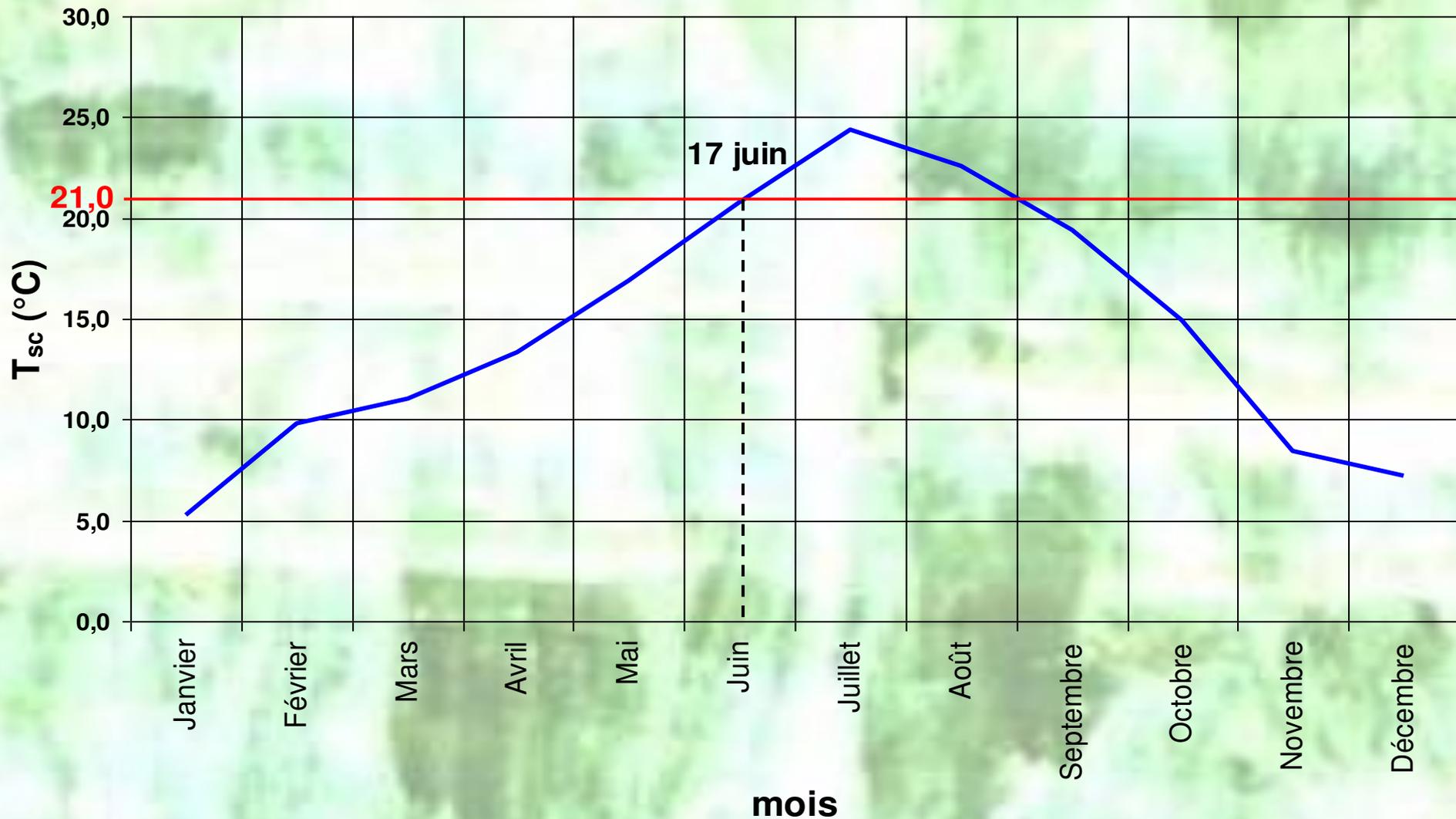
# TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE



# TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE



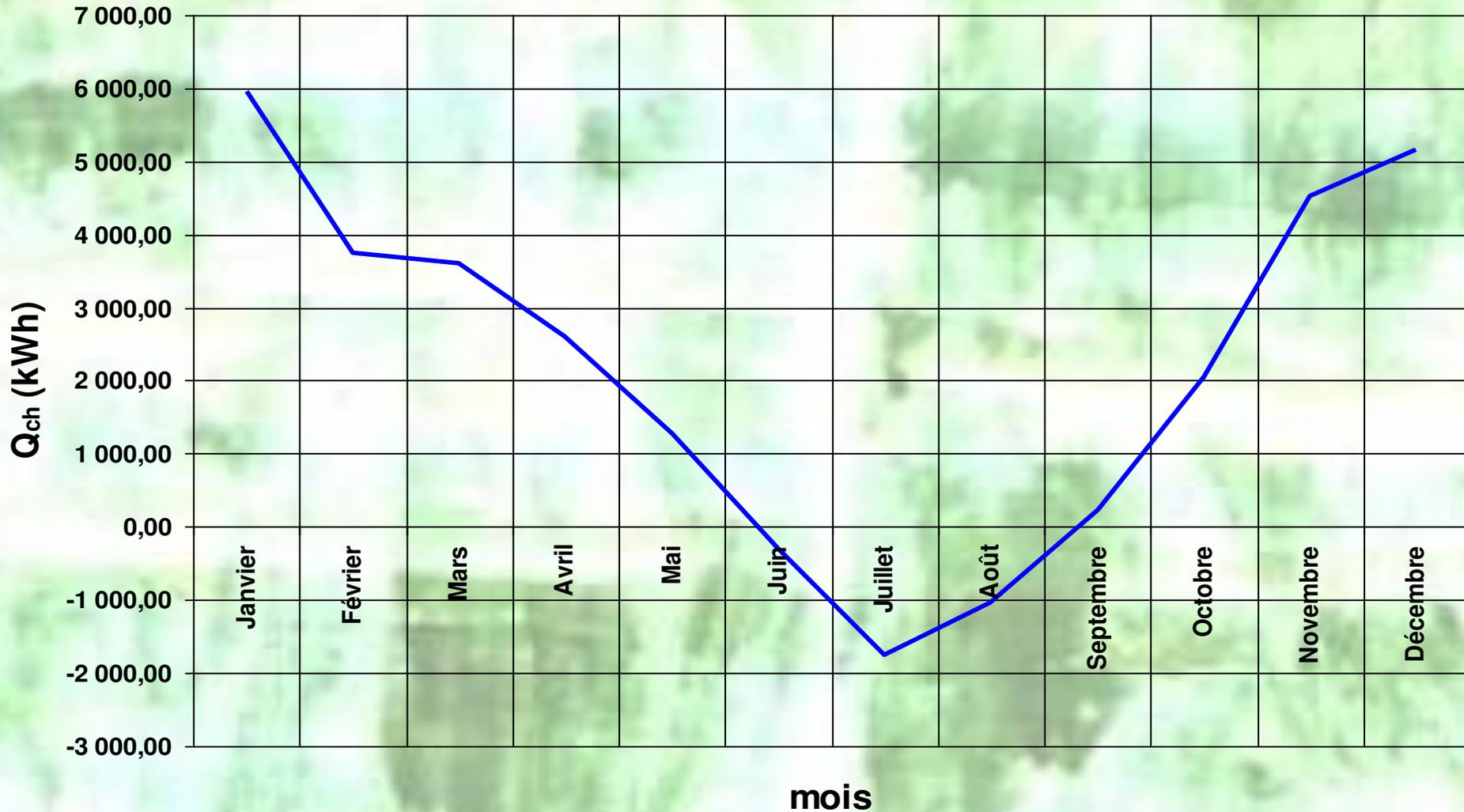
# TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE



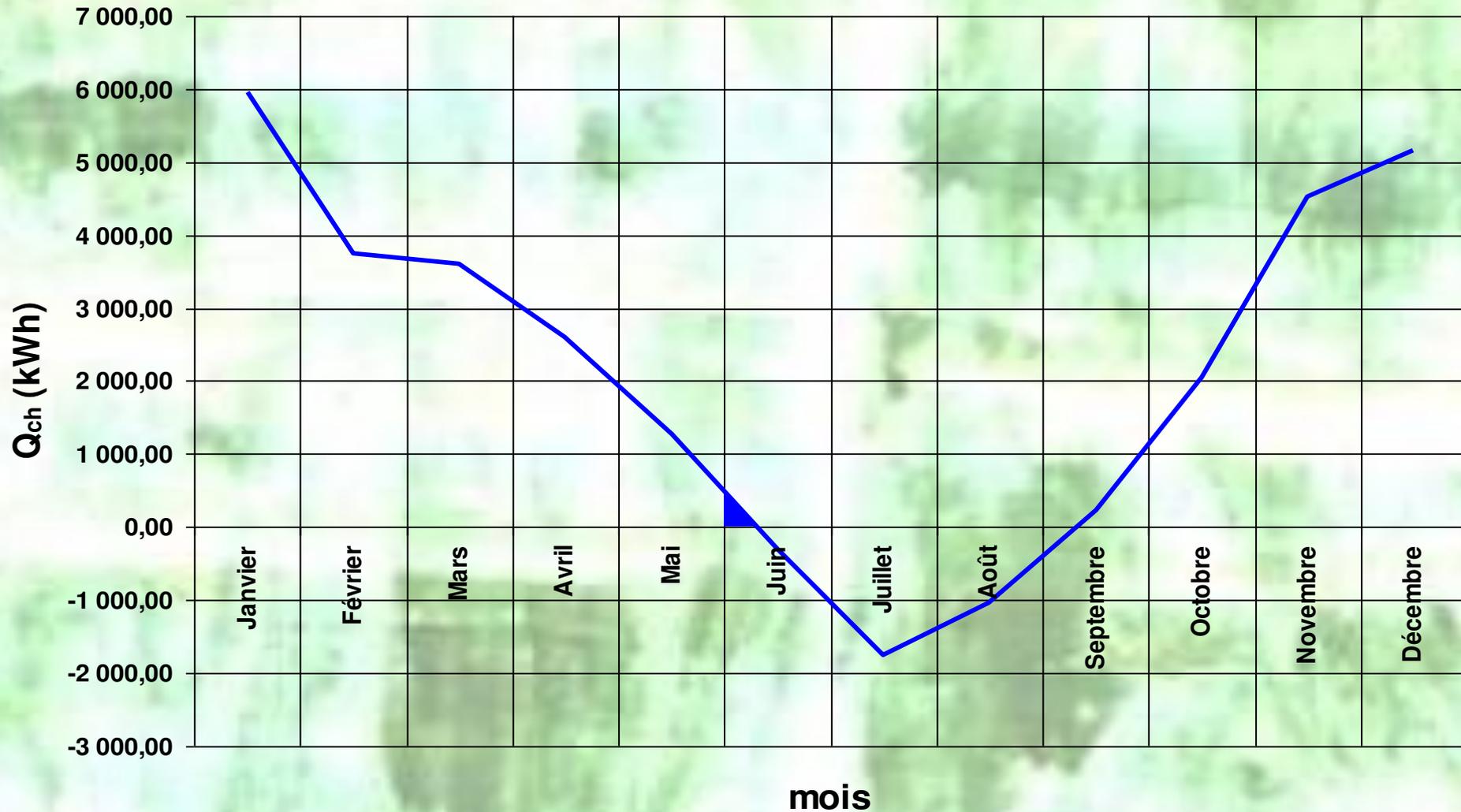
# PERTES – GAINS

Performance énergétique

# PERTES – GAINS



# PERTES – GAINS



# BESOINS EN CHAUFFAGE

Mois	$\gamma_m$	$T_{sc\ m} (^{\circ}C)$	$Q_{ch\ m\ ini}$ (kWh)	Période de chauffe	$n_{chauffe\ m}$	$Q_{ch\ m\ final}$ (kWh)
Janvier	0,10	5,2	5 955,64	du 1 au 31	31	5 955,64
Février	0,17	9,8	3 740,91	du 1 au 28,25	28,25	3 740,91
Mars	0,22	11,1	3 607,55	du 1 au 31	31	3 607,55
Avril	0,31	13,3	2 606,76	du 1 au 30	30	2 606,76
Mai	0,49	16,8	1 272,36	du 1 au 31	31	1 272,36
Juin	1,29	20,8	-307,60	du 1 au 17	17	153,00
Juillet	-5,21	24,3	-1 754,89	pas de chauffage	0	0,00
Août	3,54	22,5	-1 026,87	pas de chauffage	0	0,00
Septembre	0,81	19,4	239,20	du 1 au 30	30	239,20
Octobre	0,28	14,9	2 044,45	du 1 au 31	31	2 044,45
Novembre	0,13	8,4	4 517,08	du 1 au 30	30	4 517,08
Décembre	0,10	7,2	5 155,33	du 1 au 31	31	5 155,33

**$Q_{ch\ final} = 29\ 292,28\ kWh$**

**Coût annuel : 2 343,38 € (0,08 €/kWh)**

**ELABORATION D'UN  
PROGRAMME DE  
REHABILITATION  
ENERGETIQUE DE LA  
MAISON**

# TYPES DE SOLUTIONS

Réhabilitation

# TYPES DE SOLUTIONS

Solutions techniques	Matériau j	$e_j$ (m)	$\lambda_j$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	$U_i$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ )	Coût ( $€.$ $m^{-2}$ ou $€$ )
1. Isolation des murs verticaux par doublage intérieur	Polystyrène	0,080	0,025		22
	Plâtre	0,010	0,350		
2. Isolation des murs verticaux par doublage intérieur	Polystyrène	0,150	0,025		30
	Plâtre	0,010	0,350		
3. Isolation extérieure des murs verticaux	Laine de verre	0,100	0,040		54
4. Isolation des murs du garage	Fibralith	0,100	0,100		20
5. Isolation du plancher sur garage	Polystyrène	0,100	0,025		24
<b>5bis. Isolation du plancher sur vide sanitaire</b>	<b>Polystyrène</b>	<b>0,100</b>	<b>0,025</b>		<b>24</b>
6. Isolation du plafond sous combles	Laine de verre	0,150	0,040		23
7. Rénovation d'une baie vitrée par double vitrage ( $S=0,57$ )				2,5	300
8. Reprise de l'étanchéité de la façade et installation d'une ventilation mécanique contrôlée (taux $ra = 0,5$ )					460
9. Installation d'un programmateur d'intermittence					77

# COMPARATIF DES SOLUTIONS SEULES



Réhabilitation

# COMPARATIF DES SOLUTIONS SEULES

		garde fou	EI	1	2	3	4	5	5bis	6	7	8	9
$U_i$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\psi_k$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	Murs verticaux rez-de-chaussée extérieurs	0,52	1,46	0,26	0,15	0,33	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
	Murs verticaux rez-de-chaussée sur garage	0,52	1,97	1,97	1,97	1,97	0,66	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
	Murs verticaux étage	0,52	1,06	0,24	0,14	0,31	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
	Plafond sous combles ventilés	0,30	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,19	0,67	0,67	0,67
	Plancher sur garage	0,39	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,22	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
	Plancher sur vide sanitaire ventilé	0,39	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	0,22	1,81	1,81	1,81	1,81
	Baies vitrées	2,60	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	2,50	3,45	3,45
	Porte d'entrée	1,95	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
	Porte d'accès au garage	1,95	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	Liaison mur/plancher	0,65	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Liaison mur/étage	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	Liaison mur/plafond	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

$U_{bat\ ref}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )	0,66	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
$U_{bat}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )	1,37	0,96	0,92	0,98	1,33	1,33	1,21	1,28	1,31	1,37	1,37	

$Q_{ch\ final}$ (kWh)	29 292,28	20 411,41	19 020,99	21 746,89	28 359,81	28 615,08	26 012,55	27 385,77	28 360,25	23 349,95	25 068,95
Coût en électricité annuel	2 343,38 €	1 632,91 €	1 521,68 €	1 739,75 €	2 268,78 €	2 289,21 €	2 081,00 €	2 190,86 €	2 268,82 €	1 868,00 €	2 005,52 €

Coût de la réhabilitation	-	2 686,31 €	3 589,65 €	6 763,77 €	297,30 €	197,81 €	1 387,50 €	1 544,36 €	5 313,00 €	460,00 €	77,00 €
---------------------------	---	------------	------------	------------	----------	----------	------------	------------	------------	----------	---------

Temps d'amortissement	-	3,78 ans	4,37 ans	11,21 ans	3,99 ans	3,65 ans	5,29 ans	10,13 ans	71,26 ans	0,97 ans	0,23 ans
-----------------------	---	----------	----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	----------	----------

Réhabilitation

# COMPARATIF DE SOLUTIONS HYBRIDES

Réhabilitation

# COMPARATIF DE SOLUTIONS HYBRIDES

garde fou	EI	8+9	4,5,5bis,8,9	1,8,9	1,5,8,9	1,4,5,6,8,9	1,5,5bis,8,9	1,4,5,5bis,8,9	1,4,5,5bis,6,8,9	2,4,5,5bis,6,7,8,9
-----------	----	-----	--------------	-------	---------	-------------	--------------	----------------	------------------	--------------------

$U_j$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\psi_k$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	Murs verticaux rez-de-chaussée extérieurs	0,52	1,46	1,46	1,46	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,15
	Murs verticaux rez-de-chaussée sur garage	0,52	1,97	1,97	0,66	1,97	1,97	0,66	1,97	0,66	0,66	0,66
	Murs verticaux étage	0,52	1,06	1,06	1,06	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,14
	Plafond sous combles ventilés	0,30	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,19	0,67	0,67	0,19	0,19
	Plancher sur garage	0,39	2,13	2,13	0,22	2,13	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	Plancher sur vide sanitaire ventilé	0,39	1,81	1,81	0,22	1,81	1,81	1,81	0,22	0,22	0,22	0,22
	Baies vitrées	2,60	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	2,50
	Porte d'entrée	1,95	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
	Porte d'accès au garage	1,95	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	Liaison mur/plancher	0,65	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Liaison mur/étage	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	Liaison mur/plafond	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

$U_{bat\ ref}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
$U_{bat}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )	1,37	1,37	1,12	0,96	0,93	0,79	0,78	0,72	0,63	0,54

$Q_{ch\ final}$ (kWh)	29 292,28	19 933,18	15 792,68	12 627,46	12 081,50	9 679,26	9 593,78	8 627,03	7 282,51	5 612,52
Coût en électricité annuel	2 343,38 €	1 594,65 €	1 263,41 €	1 010,20 €	966,52 €	774,34 €	767,50 €	690,16 €	582,60 €	449,00 €

Coût de la réhabilitation	-	537,00 €	2 406,00 €	3 223,31 €	3 408,85 €	5 161,01 €	4 739,20 €	5 014,32 €	6 491,36 €	12 596,79 €
---------------------------	---	----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

Temps d'amortissement	-	0,72 ans	2,23 ans	2,42 ans	2,48 ans	3,29 ans	3,01 ans	3,03 ans	3,69 ans	6,65 ans
-----------------------	---	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Réhabilitation

# COMPARATIF DE SOLUTIONS HYBRIDES

garde fou	EI	8+9	4,5,5bis,8,9	1,8,9	1,5,8,9	1,4,5,6,8,9	1,5,5bis,8,9	1,4,5,5bis,8,9	1,4,5,5bis,6,8,9	2,4,5,5bis,6,7,8,9
-----------	----	-----	--------------	-------	---------	-------------	--------------	----------------	------------------	--------------------

$U_i$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\psi_k$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	Murs verticaux rez-de-chaussée extérieurs	0,52	1,46	1,46	1,46	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,15
	Murs verticaux rez-de-chaussée sur garage	0,52	1,97	1,97	0,66	1,97	1,97	0,66	1,97	0,66	0,66	0,66
	Murs verticaux étage	0,52	1,06	1,06	1,06	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,14
	Plafond sous combles ventilés	0,30	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,19	0,67	0,67	0,19	0,19
	Plancher sur garage	0,39	2,13	2,13	0,22	2,13	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	Plancher sur vide sanitaire ventilé	0,39	1,81	1,81	0,22	1,81	1,81	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	Baies vitrées	2,60	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	2,50
	Porte d'entrée	1,95	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
	Porte d'accès au garage	1,95	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	Liaison mur/plancher	0,65	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Liaison mur/étage	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	Liaison mur/plafond	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

$U_{bat\ ref}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
$U_{bat}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )	1,37	1,37	1,12	0,96	0,93	0,79	0,78	0,72	0,63	0,54

$Q_{ch\ final}$ (kWh)	29 292,28	19 933,18	15 792,68	12 627,46	12 081,50	9 679,26	9 593,78	8 627,03	7 282,51	5 612,52
Coût en électricité annuel	2 343,38 €	1 594,65 €	1 263,41 €	1 010,20 €	966,52 €	774,34 €	767,50 €	690,16 €	582,60 €	449,00 €

Coût de la réhabilitation	-	537,00 €	2 406,00 €	3 223,31 €	3 408,85 €	5 161,01 €	4 739,20 €	5 014,32 €	6 491,36 €	12 596,79 €
---------------------------	---	----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------

Temps d'amortissement	-	0,72 ans	2,23 ans	2,42 ans	2,48 ans	3,29 ans	3,01 ans	3,03 ans	3,69 ans	6,65 ans
-----------------------	---	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Réhabilitation

# PROPOSITIONS DE REHABILITATION

# PROPOSITIONS DE REHABILITATION

		garde fou	EI	8+9	1,8,9	1,4,5,5bis,6,8,9
$U_i$ ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ) ou $\psi_k$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	Murs verticaux rez-de-chaussée extérieurs	0,52	1,46	1,46	0,26	0,26
	Murs verticaux rez-de-chaussée sur garage	0,52	1,97	1,97	1,97	0,66
	Murs verticaux étage	0,52	1,06	1,06	0,24	0,24
	Plafond sous combles ventilés	0,30	0,67	0,67	0,67	0,19
	Plancher sur garage	0,39	2,13	2,13	2,13	0,22
	Plancher sur vide sanitaire ventilé	0,39	1,81	1,81	1,81	0,22
	Baies vitrées	2,60	3,45	3,45	3,45	3,45
	Porte d'entrée	1,95	3,50	3,50	3,50	3,50
	Porte d'accès au garage	1,95	2,00	2,00	2,00	2,00
	Liaison mur/plancher	0,65	0,50	0,50	0,50	0,50
	Liaison mur/étage	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70
	Liaison mur/plafond	0,91	0,70	0,70	0,70	0,70
$U_{bat\ ref}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )			0,66	0,66	0,67	0,67
$U_{bat}$ ( $W.K^{-1}.m^{-2}$ )			1,37	1,37	0,96	0,63
$n_{chauffe}$ heures pleines (j)			290,25	273,25	243,25	228,25
$n_{chauffe}$ heures creuses (j)			290,25	212,25	203,25	151,25
$Q_{ch\ final}$ (kWh)			29 292,28	19 933,18	12 627,46	7 282,51
Coût en électricité annuel			2 343,38 €	1 594,65 €	1 010,20 €	582,60 €
Réduction			-	32,0%	56,9%	75,1%
Coût de la réhabilitation			-	537,00 €	3 223,31 €	6 491,36 €
Temps d'amortissement			-	0,72 ans	2,42 ans	3,69 ans

Réhabilitation

**CONCLUSION**

# CONCLUSION

- Réhabilitation petit budget

$$U_{\text{bat}} = 1,37 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

- 32,0 %

537 €

0,72 an

**LA SOLUTION MINIMALE :  
VMC + intermittence**

# CONCLUSION

- Réhabilitation budget intermédiaire

$$U_{\text{bat}} = 0,96 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

- 56,9 %

3223,31 €

2,42 an

**LA SOLUTION INTERMEDIAIRE :**

**VMC + intermittence + isolation des murs extérieurs**

# CONCLUSION

- Réhabilitation grand budget

$$U_{\text{bat}} = 0,63 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

- 75,1 %

6 491,36 €

3,69 an

**LA SOLUTION QUI RESPECTE LA RT2000 :**

**VMC + intermittence + isolation des murs extérieurs,  
des murs sur garage, des planchers sur garage et  
sur vide sanitaire et du plafond sous combles**