

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 Ψ_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 Ψ_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 ²)	13,09
A _{s est} (m ²)	7,85

- Totaux

A (m ²)	4,62
A _{s ouest} (m ²)	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)	γ_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)	γ_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)	γ_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

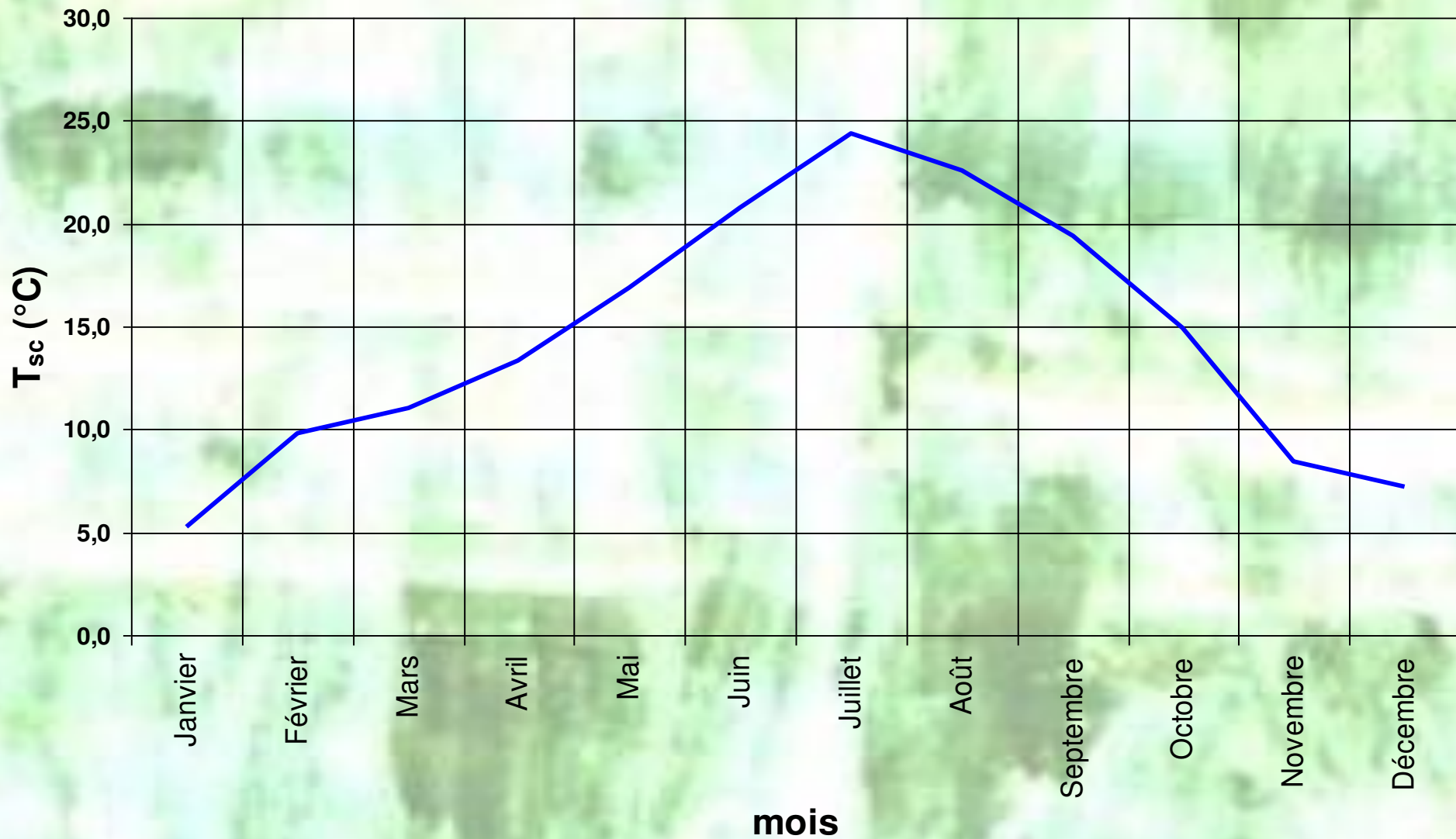
7 719,39	4 381,54	12 100,94	28 443,95	9 706,91	38 150,86
----------	----------	-----------	-----------	----------	-----------

TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE

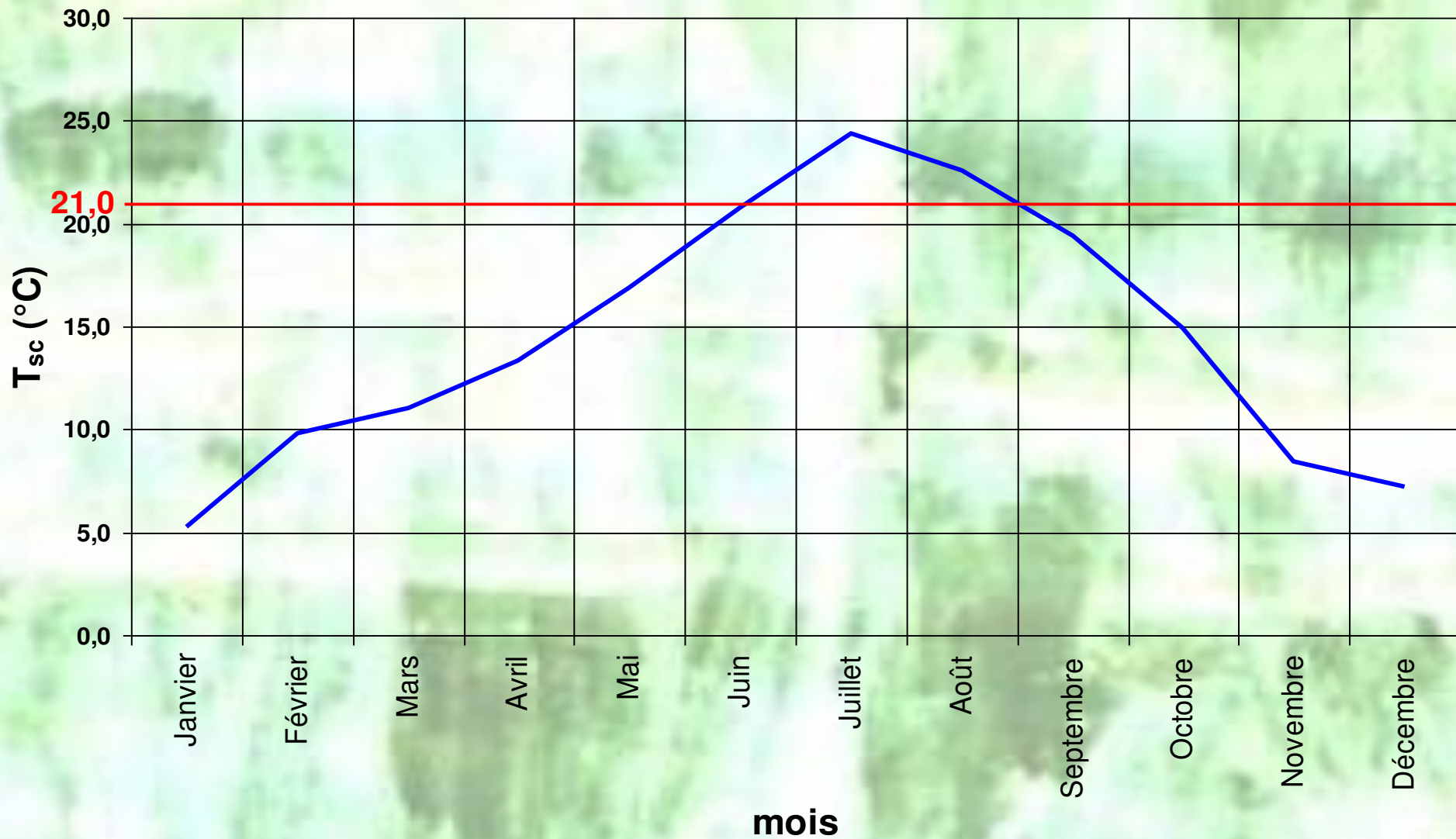


Performance énergétique

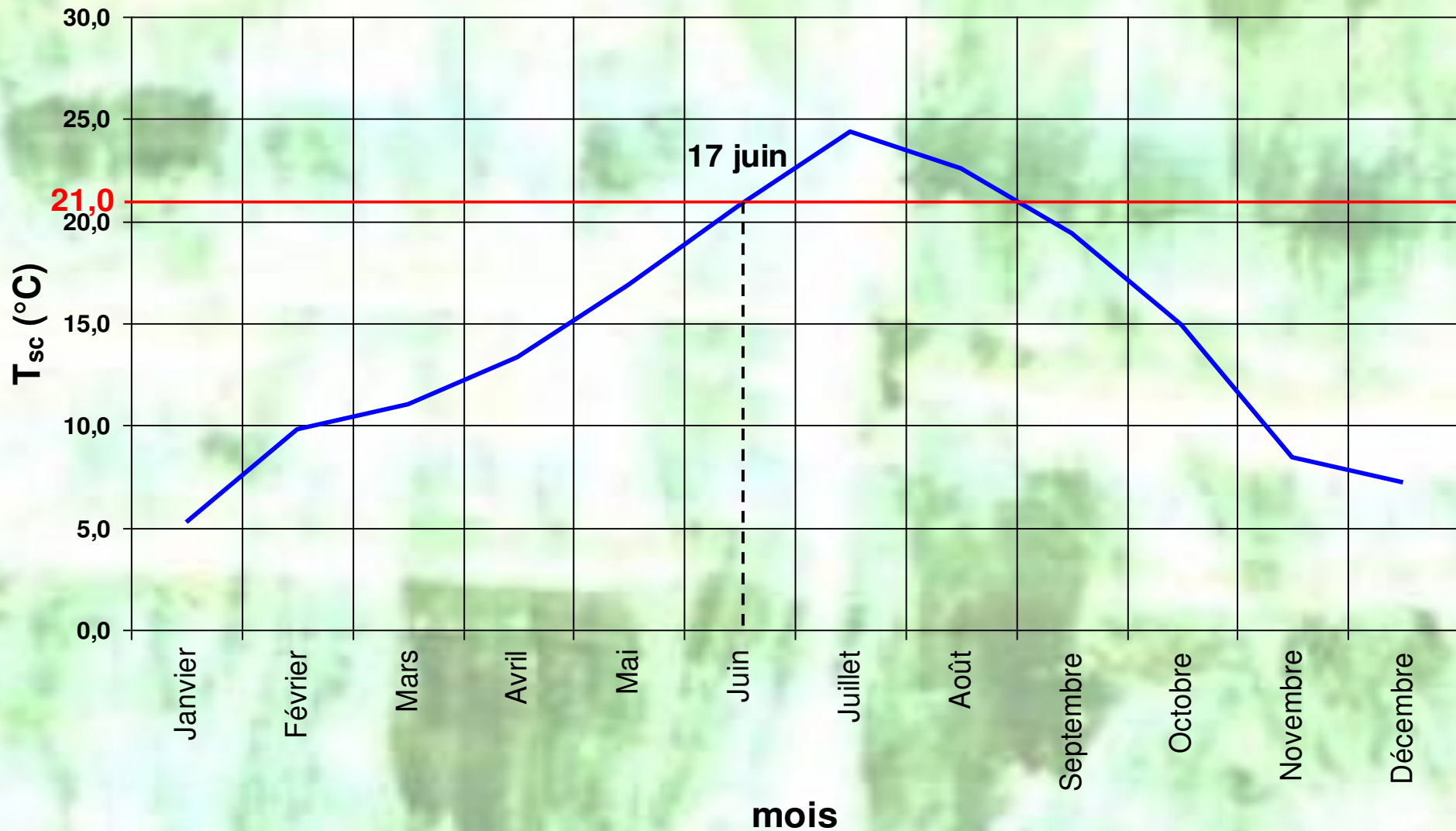
TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE



TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE



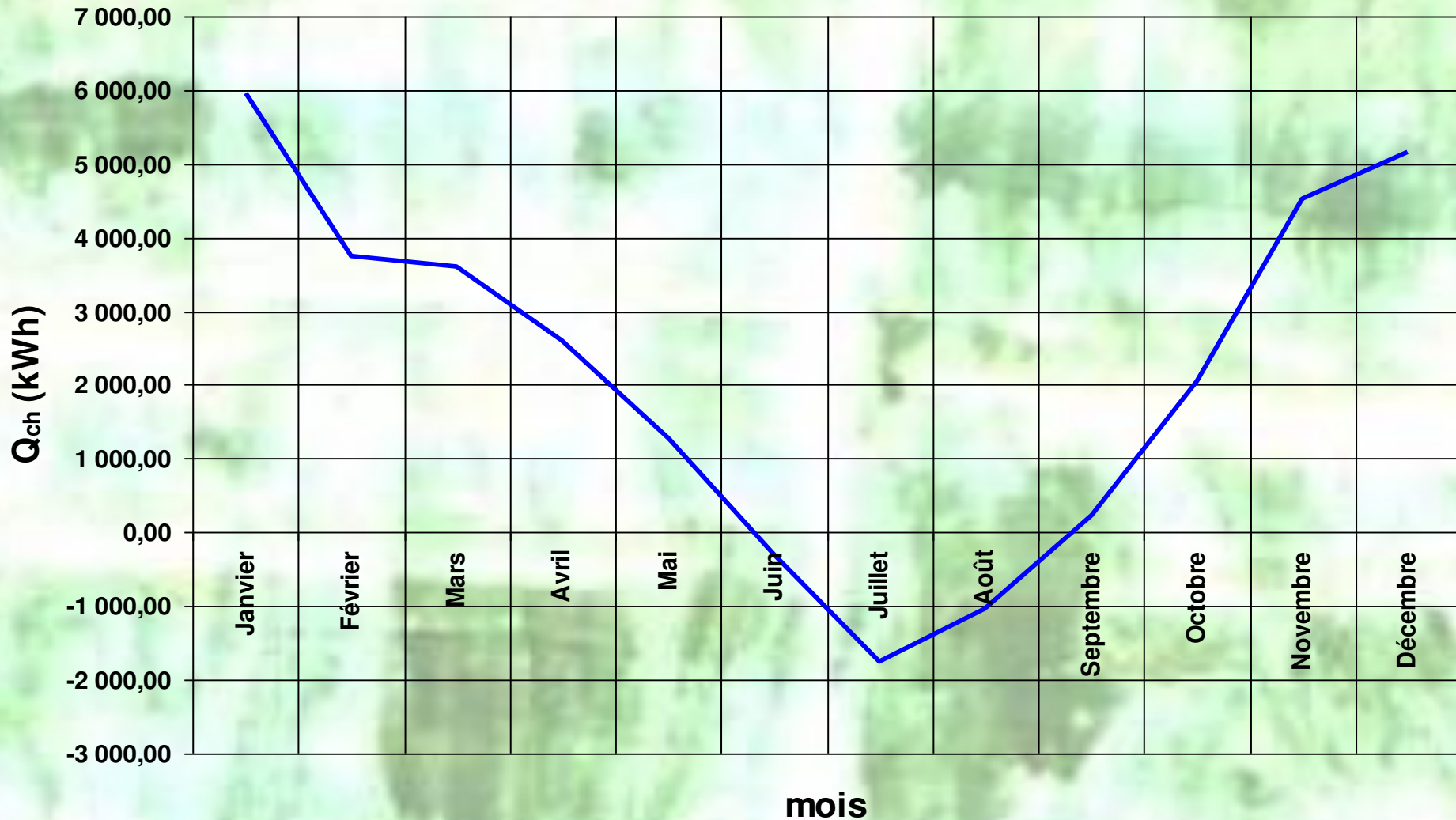
TEMPERATURE SANS CHAUFFAGE



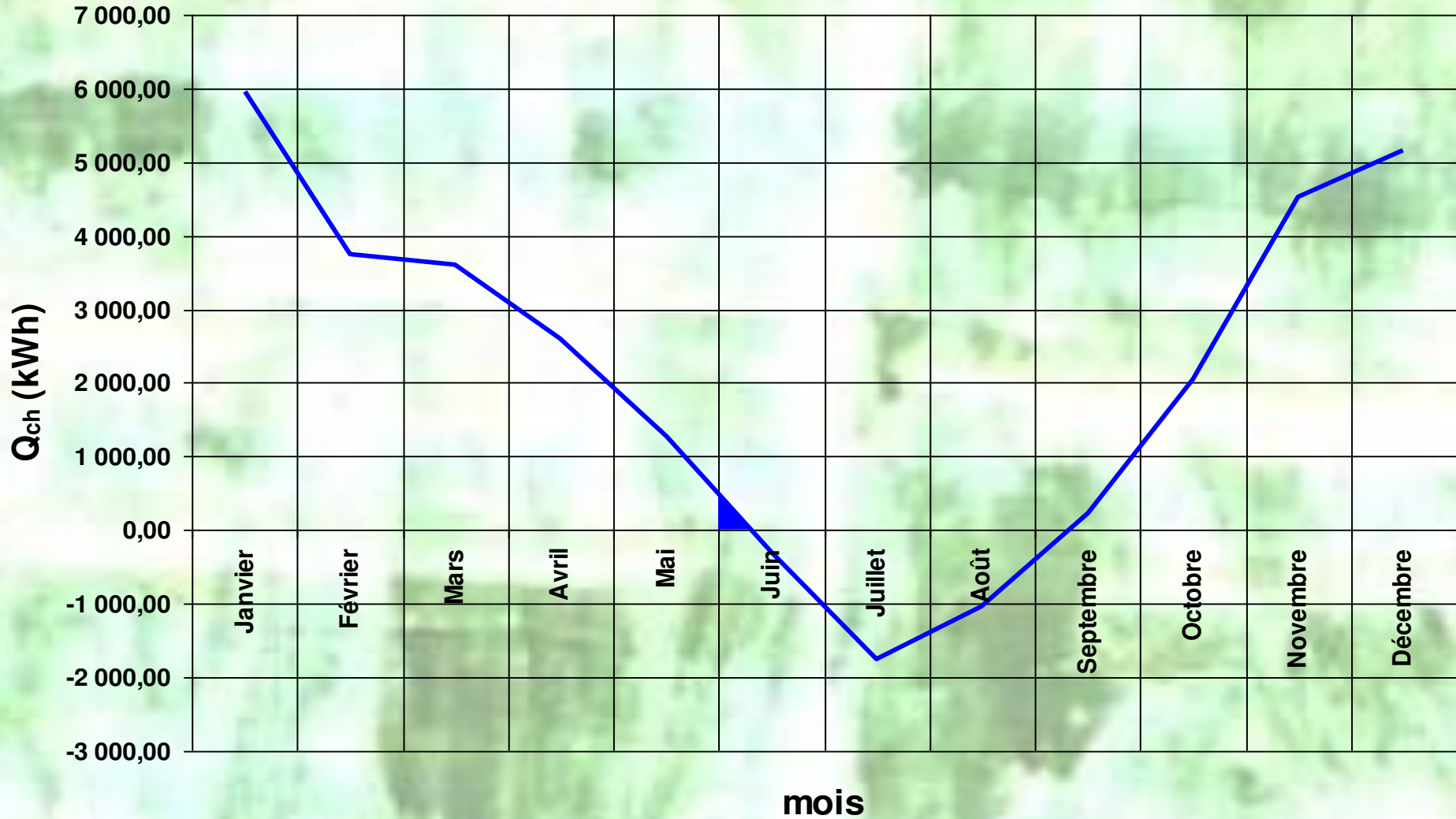
PERTES – GAINS

Performance énergétique

PERTES – GAINS



PERTES – GAINS



BESOINS EN CHAUFFAGE

Mois	γ_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)	λ_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
5bis. Isolation du plancher sur vide sanitaire	Polystyrène	0,100	0,025		24
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 ($\text{taux } ra = 0,5$)					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 ψ_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_i ($W.m^{-2}.K^{-1}$) ou ψ_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 ψ_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	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 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) ou ψ_k ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	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
$U_{bat\ ref}$ ($W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$)			0,66	0,66	0,67	0,67
U_{bat} ($W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$)			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**