Module PEB2- Applications

1. Fondamentaux

1.1 Energie électrique

Le *facteur de charge* d'une centrale électrique est le rapport entre l'énergie électrique effectivement produite sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait produit si elle avait fonctionné à sa puissance nominale durant la même période.

Le facteur de charge est souvent calculé sur une ou plusieurs années, mais rien n'empêche de le calculer sur des périodes différentes.

Il est généralement exprimé en pourcent, mais peut l'être en nombre d'heure équivalent pleine puissance en multipliant la valeur précédemment obtenue par la durée de la période (en heures).

Il peut aussi être exprimé en watt (et ses multiples) en multipliant la valeur en pourcent par la puissance nominale de l'installation.

Plus la valeur du facteur de charge est élevée, plus l'installation considérée s'approche de sa capacité de production maximale. Théoriquement, le facteur de charge peut prendre toutes les valeurs de 0 à 100 %; en pratique, il ne sera jamais de 100 %, ni de 0 % (la centrale n'aurait alors rien produit durant toute la période de calcul).

Le facteur de charge varie fortement selon le type d'énergie primaire, selon la conception de l'installation et selon l'usage que l'on en fait. La longueur de la période de temps prise en compte pour le calcul influence également la valeur du facteur de charge. Ceci est notamment vrai pour les énergies intermittentes (énergie éolienne ou énergie solaire photovoltaïque par exemple).

Puissance électrique installée et production électrique en France (année

Secteur	Puiss	ance	Produ	uction	Facteur de charge		
	(GW) %		(TWh) %		%	(h)	
Nucléaire							
Thermique à flamme							
Hydraulique							
Eolien							
Photovoltaïque							
Bioénergie							

Analysez la production électrique selon les sources,

Calculez les facteurs de charge de chaque source,

Discuter les causes de variation du facteur de charge selon les sources,

Pour remplacer un réacteur nucléaire de nouvelle génération (puissance 1600 MW) évaluer :

- le nombre d'éoliennes (2 MW) nécessaires
- la surface de panneaux photovoltaïques (150Wc/m2)

1.2 Chauffage d'une villa

Une villa de plain-pied de 10x12 m² (hsp 2,5m) est chauffée par chauffage central au fioul, avec une ancienne chaudière (*rendement sur PCI : 75%*). Avec les tarifs actuels, est-il intéressant de substituer à ce type de chauffage :

- le chauffage gaz avec chaudière à condensation (coût 3 000 €) (rendement sur PCS : 95%)
- le chauffage électrique par effet Joule (coût 1 000 €) (rendement : 100%)
- le chauffage électrique par PAC air/eau (coût 6 000 €) (rendement ou COP saisonnier = 4)

La villa est définie thermiquement par les caractéristiques de son enveloppe ; les déperditions par les ponts thermiques sont estimées à 10% des transmissions surfaciques. Le débit moyen de renouvellement d'air est supposé constant de 0,5 vol/heure, par la VMC simple flux.

 \mathbf{Q}_{v}

Parois	U (W.m ⁻² .K ⁻¹)	S (m²)	U.S ()	
Sol	0,4	120		
Mur	0,5			
Plafond	0,25	120		
Portes	2	4		
Fenêtres Sud Est Ouest Nord	3	12 3 3 2		

Coefficient de déperdition du Bâtiment

 $H (W/K) = U_{bat}. S_{env} + 0.34 Q_{v} (1-\epsilon)$

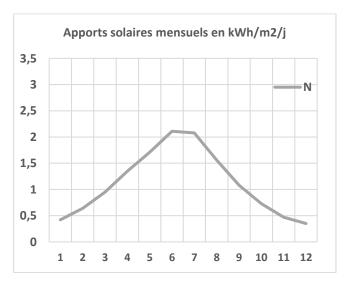
La villa est située à Clermont-Ferrand, et sont définis mois par mois par (CALSOL) :

- la température extérieure moyenne,
- les apports solaires journaliers moyens, par m² de vitrage 4/6/4 vertical, selon les orientations.

Clermont-Ferrand	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	Total
T air moyenne (°C)	3,5	4,0	7,2	9,5	13,3	16,6	20,1	19,2	16,9	12,7	7,1	4,6	
Nombre de jours de chauffage													
$DJU_{18} = Nbj*(18-T_{ext})$													
Global total (kWh/m2/j) Sud	1,43	1,75	2,2	2,21	2,01	2,16	2,35	2,39	2,58	2,14	1,73	1,31	
Apports mensuels -Sud													
Global total (kWh/m2/j) Est/Ouest	0,73	1,11	1,74	2,28	2,41	2,87	3,13	2,7	2,22	1,38	0,9	0,63	
Apports mensuels - E/0													
Global total (kWh/m2/j) Nord	0,42	0,64	0,95	1,35	1,71	2,11	2,08	1,56	1,08	0,73	0,47	0,35	
Apports mensuels - Nord													
Apports globaux (kWh)													

Tracés des apports solaires mensuels selon les orientations

Analyse...



Combustible	Emissions de CO2 g/kWh(EF)	Unité de comptage	PCS (kWh pcs/u)	PCI (kWh pci/u)	Prix* (€/u)
Fioul domestique	300	1litre	10,6	10	1,35
Gaz naturel	234	1kWh PCS	1	0,9	0,104***
Gaz propane ou butane	274	1kg	13,8	12,7	1,67
Charbon	384	1kg	9,2	8,9	
Bois	13**	1 stère	1865	1680	70
Réseau de chaleur	20 à 373	1 tonne	697	697	
Electricité (chauffage)	180	1 kWh	1	1	0,206
Electricité (eau chaude sanitaire et climatisation)	40	1 kWh	1	1	0,206

^{*} Prix mars 2023

1/ Sur la durée conventionnelle de chauffage, calculer les consommations (on considèrera en première approximation 70% des apports solaires mensuels en déduction dans le calcul des besoins mensuels), coûts de chauffage, temps de retour sur investissement, émissions de C0₂ dans chacun des cas.

<u>Déperditions du bâtiment</u> : $D_{Bât} =$

Besoin de chauffage (à fournir) : $B_{CH} = D$ éperdition – Part des Apports gratuits à retrancher

 $\underline{Energie \ finale \ consomm\acute{e}}: \ C(EF)_{CH} = B_{CH} / \ Rendement \ de \ l'installation \ de \ chauffage$

Type d'installation de chauffage	Rdt ou COP	Conso (kWh/an)	Prix energie (€/kWhEF)	Coût (€/an)	investissement (€)	Temps de retour (an)	Emission CO2 g/kWh(EF)	Total CO2 émis (Tonne/an)
FUEL								
GAZ Condensation								
Radiateurs Electriques								
PAC Air/eau COP 4								

- 2/ Les faibles résistances thermiques de l'isolation en plafond sous toiture et des vitrages peuvent laisser penser à une rénovation complémentaire :
 - la pose de 20 cm de laine minérale supplémentaire (coût : 15€/m2)
 - le remplacement des 20 m2 de vitrage pour des vitrages plus performants, peu émissifs avec argon (U=1,2 W/m2,K), dont le coût est évalué à 12 000 €

Analyser l'intérêt financier de telles rénovations et le temps de retour sur investissement.

	Coût(€)	R ₁	R ₂	U ₁	U ₂	Δ Qutile (kWh)	Δ Qutile (%)	Econ. (€)	Tps Retour
Rénovation Isolation sous-									
toiture									
Rénovation									
fenêtres									

Fuel Gaz Fuel Gaz

^{**} Le bois est une énergie verte, le CO_2 émis par la combustion du bois est recyclé par la biomasse en croissance (photosynthèse). L'émission de CO_2 est de 355g/kWh sans replantation.

^{***} Tarif Bi du gaz si consommation > 6000kWh/an : 0,104€/kWh ; abonnement = 250€/an Tarif B0 du gaz si consommation < 6000kWh/an : 0,128€/kWh ; abonnement = 102€/an

Inertie thermique quotidienne.

L'inertie thermique caractérise la capacité qu'a le bâtiment à absorber et restituer l'énergie thermique. L'inertie thermique peut être divisée en cing classes :

Classe d'inertie	Cm (Wh/K)
Très légère	(80 / 3,6) x A _{Bât}
Légère	(110 / 3,6) x A _{Bât}
Moyenne	(165 / 3,6) x A _{Bât}
Lourde	(260 / 3,6) x A _{Bât}
Très lourde	(370 / 3,6) x A _{Bât}

Cette inertie quotidienne permet de définir la capacité thermique quotidienne (Cm) du bâtiment qui est ensuite utilisée pour la récupération des apports.

ABât est la surface habitable du logement.

La classe d'inertie est définie par niveau de bâtiment, et c'est la classe d'inertie la plus faible (niveau le plus défavorable souvent représenté par le dernier) qui doit être utilisée pour les calculs.

Pour définir la classe d'inertie du bâtiment, utiliser le tableau ci-dessous en fonction des définitions des parois :

Classe d'inertie	Plancher bas	Plancher haut	Paroi verticale
Très lourde	lourd	lourd	lourde
Lourde	lourd	lourd	-
Lourde	-	lourd	Lourde
Lourde	lourd	-	Lourde
Moyenne	lourd	-	-
Moyenne	-	lourd	-
Légère	-	-	lourde
Très légère	-	-	-

Définitions:

Plancher haut lourd;

- plancher sous toiture, béton plein avec une épaisseur minimale de 8 cm, **isolation par** l'extérieur
- sous face de plancher intermédiaire, béton plein avec une épaisseur minimale de 15 cm sans isolant et sans faux plafond.

Plancher bas lourd;

- face de plancher intermédiaire sans revêtement à effet thermique (grosse moquette de plus de 6 mm, parquet bois). Béton plein avec une épaisseur minimale de 15 cm sans isolant, chape ou dalle de béton sur entrevous lourds (parpaings, terre cuite), sur béton cellulaire armé.
- plancher bas avec isolant en sous face et sans revêtement à effet thermique. Béton plein avec une épaisseur minimale de 10 cm, chape ou dalle de béton sur entrevous lourds (parpaings, terre cuite), sur béton cellulaire armé, dalle de béton avec une épaisseur minimale de 5 cm sur entrevous en matériau isolant

Paroi verticale lourde;

Une niveau de bâtiment possède une paroi verticale lourde si elle remplit l'une ou l'autre des conditions suivantes :

- 1) lorsque la surface du mur est au moins égale à 0,9 fois la surface du plancher, murs de façade et pignons **isolés par l'extérieur** avec à l'intérieur :
- béton plein avec une épaisseur minimale de 7 cm,
- ou parpaings d'épaisseur minimale de 11 cm
- ou briques pleines ou perforées d'épaisseur minimale de 10,5 cm
- 2) murs extérieurs à isolation répartie d'une épaisseur minimale de 30 cm et cloisonnement intérieur autre que Placoplatre (Placostil).
- 3) lorsque la taille moyenne des locaux est inférieure à 30 m².
- 4) lorsque l'ensemble du doublage intérieur des murs extérieurs (contre cloison) et du cloisonnement est réalisé en brique enduite de plâtre ou en carreaux de plâtre.

Par défaut on considère que le bâtiment a une classe d'inertie moyenne.

Besoins en chauffage.

la formule pour obtenir les <u>besoins mensuels</u> en chauffage est la suivante :

 $B_{CH} = D_{B\hat{a}t} - n \times A_G$, avec $D_{B\hat{a}t} = H \times DJU \times 0,024$

DJU sont les degrés jours du mois considéré, en °C.j (ou K.j)

H est le coefficient de déperdition du logement, en W/K

0,024, en kh/j, est le nombre de millier d'heures par jour

D_{Bât} est la déperdition mensuelle de chauffage du bâtiment, en kWh

B_{CH} est le besoin mensuel en chauffage, en kWh

n est un facteur réducteur des apports de chaleur externes et internes afin de prendre en compte le comportement dynamique du bâtiment

 A_G sont les apports de chaleur externes (solaires [As]) et internes (occupants [AI], ECS [AECS_Rec], chauffage [ACH_Rec]) pour le mois considéré, en kWh :

$$A_G = A_S + A_I + A_{ECS_Rec} + A_{CH_Rec}$$

Méthode pour définir le coefficient n, mois par mois :

- calcul du rapport **q = apports / déperditions** défini comme suit :

$$q = A_G/D_{Bat} = A_G / (H \times DJU \times 0.024)$$

DJU = Nbre de jours du mois x DeltaT

DeltaT = différence de température entre la température moyenne extérieure du mois considéré et la température moyenne journalière de consigne obtenue de la façon suivante : $Ti = Ti_{nor} \times (t_{nor} / 24) + Ti_{nuit} \times (t_{nuit} / 24)$ ou $Ti = (Ti_{nor} \times t_{nor} + Ti_{nuit} \times t_{nuit}) / 24$

 Ti_{nor} est la température de consigne durant la période normale (d'occupation), en °C t_{nor} est la durée de la période normale, en heures (16h en bâtiment résidentiel) Ti_{nuit} est la température de consigne durant la période réduite, en °C t_{nuit} est la durée de la période réduite, en heures (8h en en bâtiment résidentiel)

- le taux d'utilisation n se calcule comme suit :

Si q différent de 1

$$n = (1 - q^a) / (1 - q^{a+1})$$

Si q égal à 1
 $n = a / (a + 1)$

où a est un paramètre qui dépend de la constante de temps t caractérisant l'inertie thermique : $\mathbf{t} = \mathbf{Cm} / \mathbf{H}$ (t en heure)

Avec

- Cm est la capacité thermique quotidienne définie précédemment
- Si la durée de t_{nor} est supérieure à 12 heures : $\mathbf{a} = \mathbf{1} + (\mathbf{t}/\mathbf{16})$ Sinon, a vaut 2,5

3/ Reprendre l'exercice précédent : évaluer la réduction des besoins de chauffage mois par mois, et donc globalement sur la durée conventionnelle de chauffage.

Clermont-Ferrand	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
T air moy (°C)	3,5	4,0	7,2	9,5	13,3	16,6	20,1	19,2	16,9	12,7	7,1	4,6
Nbre de jours de chauffage												
$DJU_{18} = nbj(18-Te)$												
Apports gratuits A _G (kWh)												
Déperdition D _{Bât} (kWh)												
$q = A_G / D_{B\hat{a}t}$												
$n = (1 - q^a) / (1 - q^{a+1})$												
n. A _G												
Gain Thermique ΔT (K ou °C)												

1/ Calcul des valeurs de n, mois par mois

La part \mathbf{n} des apports solaires à considérer se calcule, mois par mois, à partir de la constante de temps $\mathbf{t} = \text{Cm/H}$ du bâtiment et du rapport $\mathbf{q} = \text{A}_G/\text{D}_{B\hat{a}t}$ des apports gratuits sur les déperditions du bâtiment : $\mathbf{n} = (\mathbf{1} - \mathbf{q}^a) / (\mathbf{1} - \mathbf{q}^{a+1})$ avec $\mathbf{a} = \mathbf{1} + (\mathbf{t}/\mathbf{16})$

Par défaut, on considère que le bâtiment a une classe d'inertie moyenne (M)

$Cm = 165/3,6 \times A_{bat}$	
t = Cm/H	
a = 1 + (t/16)	

En déduire le n_{moyen} , part moyenne des apports solaires à prendre en compte sur la durée de chauffage. La comparer avec la valeur prise initialement à 70%.

2/ Calcul des valeurs de ΔT , mois par mois

Le gain thermique est défini par le rapport de la puissance gratuite absorbée par le coefficient de déperdition du bâtiment H :

$$\Delta T(K) = \frac{P_G(W)}{H_T(\frac{W}{K})}$$

Exprimer le gain thermique mensuel ΔT (K ou °C) à partir des valeurs de n, A_G, D_{Bât}, et les DJU du mois considéré, puis compléter le tableau ci-dessus.

Evaluation du gain thermique moyen sur la durée de chauffage.

3/ Analyse de la variation du gain thermique moyen avec l'inertie du bâtiment

=	7 Tillaryse de la var	<u> </u>	ann then	que moyem a
	Classe d'Inertie	TLg	М	TL
	Cm			
	n _{moyen}			
	ΔT_{moyen}			

MAITRISE de l'ENERGIE

2. Bilan Energétique d'un Panneau Solaire thermique

Rendement η d'un capteur solaire thermique soumis à un rayonnement incident E (W/m^2) .

$$\eta = \eta_0 - \frac{K}{E} \left(T_{cap} - T_{ext} \right)$$

$$\eta = \beta - \frac{a_1}{E} \left(T_{cap} - T_{ext} \right) - \frac{a_2}{E} \left(T_{cap} - T_{ext} \right)^2$$

τ, le coefficient de transmission du rayonnement solaire par le vitrage, (-) α, le facteur d'absorption de l'absorbeur, (-)

 $(\beta = \eta_0 = \tau \cdot \alpha \text{ est appelé} \cdot \alpha \text{ facteur optique} \cdot \alpha \text{ du capteur})$

K, le coefficient de déperdition du capteur (en W.m⁻².K⁻¹),

a₁, a₂; coefficients de déperdition du capteur (en W.m⁻².K⁻¹, et en W.m⁻².K⁻²)

S, la surface du capteur (en m²),

 T_{ext} , la température extérieure (°C)

Tcap, la température moyenne du capteur (moyenne des températures entrée et sortie d'eau)

E: Irradiation solaire du capteur solaire, (en W.m⁻²)

Application numérique

 $\tau = 0.95$

 $\alpha = 0.9$

 $E = 500 \text{ W/m}^2$

 $K = 3.5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ (capteur vitré)

 $T_{\text{ext}} = 0^{\circ} \text{C}$

2.1 Tracer l'évolution du rendement en fonction de la température du capteur

Même question pour un capteur sous vide ($\beta = 0.75$, $a_1=1.2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, $a_2=0.0094 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-2}$), puis un capteur non vitré (K = 20 W.m⁻².K⁻¹; τ = 1; α = 0,9)

2.2 Seuil de démarrage du capteur solaire

Pour le capteur vitré précédent, évaluer le seuil d'irradiation E permettant au capteur de fournir de l'énergie au ballon supposé à la température de 40°C.

Même question avec le capteur sous vide.

Température de stagnation du capteur

La température de stagnation est la température atteinte par le capteur en l'absence de circulation du fluide caloporteur.

Calculer la température de stagnation de chacun des 3 capteurs dans les conditions extérieures précédentes.

3. Exemple de capteur solaire thermique

Une maison de campagne est dotée d'un capteur solaire thermique pour chauffer l'eau. L'eau chaude est à une température de $Tc = 55^{\circ}C$ et l'eau froide est prise à $Tf = 15^{\circ}C$. La consommation d'eau chaude est estimée par jour à V=300L.

3.1 Déterminer l'énergie nécessaire par jour pour élever la température des 300L d'eau.

L'énergie solaire qui arrive au capteur n'est pas entièrement transmise à l'eau. Le rendement est de 40%.

- 3.2 Quelle énergie solaire doit recevoir le capteur pour chauffer l'eau?
- **3.3** L'ensoleillement journalier moyen par unité de surface dépend de la période de l'année :

Emoy = 6 kWh/m^2 .j pendant les mois ensoleillés

Emoy = 3 kWh/m^2 .j pendant les mois moins ensoleillés

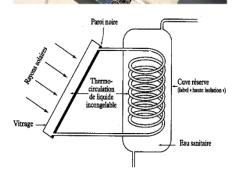
- a) Quelle est la surface de capteur nécessaire pendant les mois ensoleillés, pour chauffer l'eau ?
- b) Le capteur a une dimension de 8 m². Avec une telle installation quelle est la température de l'eau obtenue pendant les mois ensoleillés ?

4. Etude d'un chauffe-eau solaire

Le principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire est schématisé ci-contre. Le capteur de rayonnement est constitué d'une boîte fermée par une plaque de verre, sa surface est de 2 m². Placé sur le toit, ce capteur permet de fournir l'eau chaude d'une maison individuelle, dans une région bien ensoleillée.

Un essai d'utilisation de cet appareil, pendant une période ensoleillée (puissance solaire estimée à 800 W.m⁻², a donné les résultats suivants :

- débit de l'eau circulant dans le capteur : $D = 20 \text{ L.h}^{-1}$.
- température d'entrée de l'eau : θ 1= 15 °C.
- température de sortie de l'eau : θ 2= 40 °C.
- 4.1 Identifier le mode de transfert de l'énergie du soleil au panneau solaire.
- 4.2 Calculer la quantité de chaleur absorbée par l'eau circulant dans le capteur pendant une heure.
- 4.3 Calculer la puissance thermique du chauffe-eau lors de l'essai.
- 4.4 Définir le rendement du chauffe-eau. Calculer ce rendement.



5. Analyses d'un capteur solaire thermique

Positionné à Nîmes, orienté sud, le panneau solaire ($\beta = 0.75$ et K = 3.5 W.m⁻².K⁻¹) a les valeurs mensuelles d'Irradiation Globale sur le plan incliné, exprimées en kWh/m² :

Inclinaison	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
0	54	75	119	157	180	212	238	187	139	91	59	43	1553
10	66	86	130	164	183	214	241	194	150	102	70	52	1652
20	76	96	139	168	182	210	239	196	158	111	80	60	1716
30	84	103	144	169	178	203	232	195	162	118	88	66	1742
40	90	108	146	165	170	192	219	189	163	122	94	71	1731
50	95	111	145	159	159	177	203	179	160	124	98	74	1683
60	96	111	141	149	146	158	182	166	153	122	99	76	1599
70	96	108	134	136	129	138	158	149	143	118	98	75	1482
80	93	103	123	120	111	116	132	129	130	111	95	73	1337
90	88	95	111	103	92	93	105	108	114	102	89	70	1168

- **5.1** Analysez l'impact de l'inclinaison du capteur sur son irradiation solaire.
- **5.2** On installe 2 m² de ce capteur solaire à Nîmes, orienté au Sud et incliné à 40° par rapport à l'horizontale. La consommation journalière d'ECS est supposée de 150 litres d'eau chaude à 50°C.

Evaluez par mois les besoins énergétiques, le taux de couverture solaire des besoins par le CESI, la température moyenne du capteur.

Nîmes	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Nb de jours	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
IGP (kWh/m²)	90	108	146	165	170	192	219	189	163	122	94	71	1731
Durée du jour (h)	9,1	10,3	11,7	13,2	14,6	15,3	15	13,7	12,2	10,7	9,4	8,7	12
T air (°C)	6	7,3	9,6	12,5	16,4	20,4	23,5	22,7	19,5	14,9	9,6	6,6	14,1
T eau (°C)	9	9	10	13	15	17	18	18	17	15	13	10	13,7
Apports (kWh)	76	91	124	138	144	165	194	168	143	105	78	59	1463
Besoins (kWh)													
Couverture (%)													
T moy du capteur													

5.3 Analyse financière

Le coût du matériel est de 4400 € (30% de crédit d'impôt)

Le coût de la pose est de 1600 €

Le Conseil Régional accorde une prime pour les chauffe-eau solaires de 700 € (chèque énergie renouvelable)

Avec un chauffage gaz de ville par chaudière instantanée, calculer le temps de retour sur investissement du CESI.



Module PEB2- Applications

6. Constante de temps d'une villa selon son isolation

6.1 Capacité thermique d'une couche de mur

Un mur, de surface A, constitué de 2 couches « en série » de caractéristiques données (e, ρ , c, λ) est traversé (en régime permanent) par une densité de flux de chaleur $\phi = \frac{\Delta \theta}{R} = \frac{\theta_1 - \theta_e}{R_T}$, avec $R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + R_{si}$, sous les conditions de températures intérieure et extérieure θ_i et θ_e .

L'énergie (surfacique) stockée par une couche peut s'exprimer par Q/A = C.(θ_i - θ_e). Justifiez que la capacité thermique surfacique C_1 de la première couche (coté extérieur) se définit (en J.m⁻².K⁻¹) par : $C_1 = (\rho_1. \, c_1. \, e_1). \frac{R_{se} + \frac{R_1}{2}}{R_T}$

Et celle de la seconde couche par : $C_2 = (\rho_2, c_2, e_2) \cdot \frac{R_{se} + R_1 + \frac{R_2}{2}}{R_T}$

6.2 Equation différentielle...

1) On considère un bâtiment, caractérisé par sa capacité thermique Cm (en Wh/K) et son coefficient de déperdition H (en W/K), dans les conditions initiales de température intérieure $\theta_i(t=0)=\theta_0$, et soumis à une puissance (constante) de chauffe P (en W) sous les conditions extérieures (constantes) de température θ_e .

Exprimez, par le bilan thermique du bâtiment entre 2 instants t et t+dt, l'équation différentielle que vérifie la température intérieure $\theta_i(t)$.

2) Montrez que la fonction U(t) vérifiant l'équation différentielle suivante :

$$\tau \cdot \frac{dU}{dt} = U_{\infty} - U$$
, avec $U(t = 0) = U_0$,

admet pour solution : $U(t) = U_{\infty} + (U_0 - U_{\infty}). \, e^{-t/\tau}$

3) En déduire les expressions littérales θ_{∞} et τ de la température intérieure à $t=\infty$ et de la constante de temps du bâtiment. Tracer l'évolution de la température intérieure avec le temps en supposant que $\frac{P}{H} > \theta_0 - \theta_e$, puis en supposant $\frac{P}{H} < \theta_0 - \theta_e$.

6.3 Bâtiment 1 (ITE) et Bâtiment 2 (ITI)

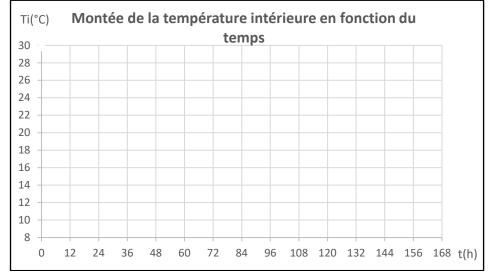
Données: VMC Simple flux, Taux de renouvellement d'air 0,5 vol/h.

Dimensions en m : 10 x 12 x 2,5 – Surface (Portes+vitres) = $20m^2$ (U_{jn} = 1,2 W.m⁻².K⁻¹)

BAT1	ITE	kg.m ⁻³	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	m	m².K.W ⁻¹	m².K.W ⁻¹	J.m ⁻² .K ⁻¹	m²	Wh.K ⁻¹		Ponts t	hermiques :
b	Mur	ρ	C	λ	е	R	R _{cumul}	C _j	A _j	C _j .A _j			déperditions
1	couche sup ext.	P		,,		0,04	cumui	-,	- 7	-jj			aciques
	mortier	1900	850	1,2	0,015								
	isolant	34	1450	0,04	0,1								
	BBM	1250	1000	-	0,2	0,23							
	plâtre	825	1008	0,25	0,01	0,23							
	couche sup int.	023	1000	0,23	0,01	0,13					Up	Hp	
	coucife sup inc.				R _{tot}	0,13					O _p	Пр	
b	Plafond				1101		l						
0,9	couche sup ext.					0,1							
0,5	isolant	34	1450	0,04	0,3	0,1							
	plâtre	825	1008	0,25	0,013								
	couche sup int.	823	1008	0,23	0,013	0,1					Up	Hp	
	couche sup inc.				R _{tot}	0,1					Оp	Пр	
b	Plancher]			Ntot								
0,9	couche sup ext.					0.17							
0,9	i i	24	1/150	0.04	0.1	0,17							
	isolant béton	34	1450	0,04	0,1								
	-	2150	1000	1,6	0,12								
	Revêtement	1850	1000	1,6	0,008	0.17					11	,,	
	couche sup int.					0,17					Up	Hp	
					R _{tot}				C_{air}	∑C _j .A _j			Constante
									6			H _{tot}	de temps
									C _m =	(Wh	/K)	(W/K)	(h)
		1					1	1					
BAT2	1	kg.m ⁻³	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	m	m².K.W ⁻¹	m².K.W ⁻¹	J.m ⁻² .K ⁻¹	m²	Wh.K ⁻¹			hermiques :
b	Mur	ρ	С	λ	е	R	R _{cumul}	C _j	Aj	C _j .A _j			déperditions aciques
1	couche sup ext.					0,04						Suri	aciques
	mortier	1900	850	1,2	0,015								
	BBM	1250	1000	-	0,2	0,23							
	isolant	34	1000 1450	0,04	0,1	0,23							
	isolant plâtre		1000										
	isolant	34	1000 1450	0,04	0,1 0,01	0,23					Up	H _p	
	isolant plâtre couche sup int.	34	1000 1450	0,04	0,1						Up	Н _р	
b	isolant plâtre couche sup int. Plafond	34	1000 1450	0,04	0,1 0,01	0,13					Up	Нр	
b 0,9	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext.	34 825	1000 1450 1008	0,04	0,1 0,01 R _{tot}						Up	Н _р	
	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant	34 825 34	1000 1450 1008	0,04	0,1 0,01	0,13					Up	Нр	
	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre	34 825	1000 1450 1008	0,04	0,1 0,01 R _{tot}	0,13							
	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant	34 825 34	1000 1450 1008	0,04 0,25 0,04	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013	0,13					U _p	H _p	
	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int.	34 825 34	1000 1450 1008	0,04 0,25 0,04	0,1 0,01 R _{tot}	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre	34 825 34	1000 1450 1008	0,04 0,25 0,04	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013	0,13							
0,9	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int.	34 825 34	1000 1450 1008	0,04 0,25 0,04 0,25	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher	34 825 34	1000 1450 1008	0,04 0,25 0,04	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext.	34 825 34 825	1000 1450 1008 1450 1008	0,04 0,25 0,04 0,25	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext.	34 825 34 825 2150	1000 1450 1008 1450 1450 1008	0,04 0,25 0,04 0,25	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013 R _{tot}	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext. béton isolant	34 825 34 825 2150 34	1000 1450 1008 1450 1450 1008	0,04 0,25 0,04 0,25 1,6 0,04	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013 R _{tot}	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext. béton isolant béton	34 825 34 825 2150 34 2150	1000 1450 1008 1450 1008 1000 1450 1000	0,04 0,25 0,04 0,25 1,6 0,04 1,6	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013 R _{tot}	0,13							
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext. béton isolant béton Revêtement	34 825 34 825 2150 34 2150	1000 1450 1008 1450 1008 1000 1450 1000	0,04 0,25 0,04 0,25 1,6 0,04 1,6	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013 R _{tot} 0,08 0,1 0,04 0,008	0,13 0,1 0,1 0,17			Cair		Up	Нр	Constante
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext. béton isolant béton Revêtement	34 825 34 825 2150 34 2150	1000 1450 1008 1450 1008 1000 1450 1000	0,04 0,25 0,04 0,25 1,6 0,04 1,6	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013 R _{tot}	0,13 0,1 0,1 0,17			Cair	ΣC _j .A _j	U _p	Нр	Constante de temps
0,9 b	isolant plâtre couche sup int. Plafond couche sup ext. isolant plâtre couche sup int. Plancher couche sup ext. béton isolant béton Revêtement	34 825 34 825 2150 34 2150	1000 1450 1008 1450 1008 1000 1450 1000	0,04 0,25 0,04 0,25 1,6 0,04 1,6	0,1 0,01 R _{tot} 0,3 0,013 R _{tot} 0,08 0,1 0,04 0,008	0,13 0,1 0,1 0,17			C _{air}	ΣC _j .A _j	U _p	H _p	

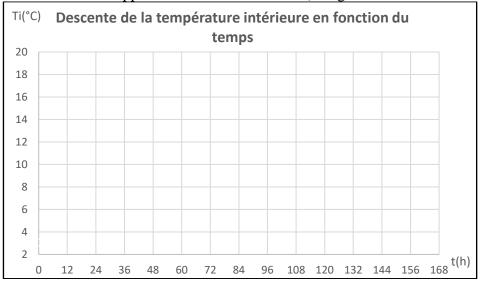
6.4 Evolutions des températures intérieures du Bâtiment 1 (ITE) et du Bâtiment 2 (ITI)

a / Montée en température : θ_i (0) = 8°C avec θ_e = 0°C et P = 5000W supposées constantes



Durée nécessaire de chauffage pour atteindre les 20°C à l'intérieur, dans les 2 bâtiments ?

b/ Descente en température : θ_i (0) = 20°C (Arrêt du chauffage) avec θ_e = 0°C constante. Puissance résiduelle supposée constante P = 500W (charges internes ou externes diverses)



Température dans les 2 bâtiments 24 heures après l'arrêt du chauffage ?

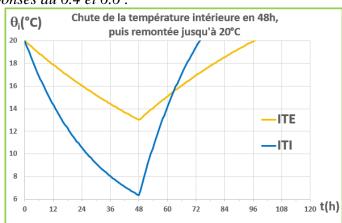
6.5 Evaluez la classe d'inertie du Bâtiment 1 (ITE) et du Bâtiment 2 (ITI) selon les valeurs tabulées de la réglementation

Classe d'inertie	Cm (Wh/K)				
Très légère	(80 / 3,6) x A _{bât}				
Légère	(110 / 3,6) x Abât				
Moyenne	(165 / 3,6) x Abât				
Lourde	(260 / 3,6) x Abât				
Très lourde	(370 / 3,6) x A _{bât}				

6.6 Durée de remontée à la température initiale après l'arrêt du chauffage pendant 48 h

Calculez, dans les conditions extérieures supposées constantes (θ_e = 0°C), la durée nécessaire de chauffage (P = 5000W) de chacun des 2 bâtiments pour obtenir la température initiale de 20°C, après 48h d'arrêt du chauffage.

Réponses du 6.4 et 6.6 :



7. Réglementation Environnementale RE 2020

7.1 Exigences de résultat

Quelles sont les exigences de résultat qu'impose la RE 2020, et que signifient-elles ?

7.2 Exigences de moyens

Quelles sont les exigences de moyen qu'impose la RE 2020, et que signifient-elles ?



Module PEB2 - Bilan

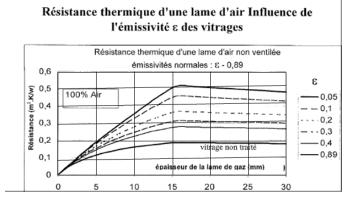
1/ Fourniture d'eau chaude sanitaire par panneau solaire thermique à Lille.

On souhaite produire <u>chaque jour</u> 150 litres d'eau chaude sanitaire à 55°C. Un panneau solaire thermique est utilisé avec appoint électrique en période nocturne.

Le panneau solaire (2m x 1,5m) est constitué d'un verre d'épaisseur e_v =8mm (coefficient de transmission $\tau = 0.84$, conductivité thermique $\lambda = 1$ W.m⁻¹.K⁻¹) d'émissivité $\varepsilon_v = 0.05$ en face interne, d'une lame d'air de e_a =10mm, et d'un absorbeur de coefficient de absorption $\alpha = 0.95$. Il est isolé en sous face par 6cm de laine de roche ($\lambda = 0.042$ W.m⁻¹.K⁻¹). Les transmissions latérales et linéiques

du pourtour sont équivalentes à un unique coefficient de transmission linéique de ψ =0,22 W.m⁻¹.K⁻¹.

Les résistances thermiques superficielles extérieures au-dessus et en-dessous du capteur seront prises égales à Rse = 0,04 W⁻¹.m².K). On donne, ci-contre, le graphe de la résistance thermique d'une lame d'air, selon les émissivités des faces.



- 1.1 Calculer le facteur optique β du capteur solaire. (β =0,80)
- 1.2 Calculer le coefficient de déperdition thermique K du capteur solaire (effectuer le bilan de déperditions du capteur). (K=3,7 W.m⁻².K⁻¹)
- 1.3 Installé à **Lille** et incliné de 20° en toiture orientée Sud, on a les données mensuelles suivantes pour les mois de janvier (le plus froid) et juillet (le plus chaud) : Compléter le tableau suivant.

Lille - Inclinaison : 20° - Orienté Sud	janvier	juillet
Irradiation mensuelle (kWh/m²)	28	159
Durée moyenne du jour (h)	8,32	15,74
Température moyenne air extérieur (°C)	2,5	17,2
Température moyenne eau du réseau (°C)	6,2	14
Besoins mensuels (kWh)		
Apports mensuels (kWh) des 3m² de capteur	33	207
Rendement moyen du capteur (%)		
Couverture moyenne mensuelle (%)		
Ensoleillement moyen journalier E (W/m²)		
Température moyenne du capteur (°C)		
Température de stagnation du capteur (°C)		

- 1.4 En moyennant les données et résultats des mois de janvier et juillet, estimez :
 - le besoin annuel d'ECS en kWh,
 - les apports solaires annuels en kWh,
 - l'économie annuelle (en €) induite par ce capteur thermique, sachant que la tarification de l'électricité, par EDF, est de 0,206 €/kWh.

1.5 Quel devrait être le surcoût maximum d'investissement initial de l'installation solaire pour que cette installation soit financièrement rentable. Précisez les hypothèses et analysez le résultat.

2/ Besoin de chauffage et apports gratuits d'une villa.

A Lille, une villa ($U_{b\hat{a}t}$ = 0,25W.m⁻².K⁻¹ et VMC **Double Flux** Q_v =100m³/h avec un **rendement sur air neuf de 80%**), d'inertie thermique quotidienne moyenne (Cm=45,8xS_{Hab}) et de <u>largeur 10m</u>, longueur 12m, et hauteur sous plafond 2,5m, bénéficie en **janvier** d'apports gratuits :

- Apports solaires par les 20m² de Vitrages :

Lille – Doubles vitrages verticaux	Sud	Est/ouest	Nord
Surface (m²)	10	8	2
Apports mensuels (kWh/m²)	23	12	8

- Apports o **métabolisme** 100W 10h/j,

internes: o éclairage à 10W/m² sur 30% de la surface habitable 5h/j en moyenne,

o **divers** 400W 2h/j

La température intérieure sera prise à 18°C.

Le U_{bat} traduisant la valeur moyenne des coefficients de transmission U de l'enveloppe du volume chauffé de la villa, calculez la surface S_{env} de l'enveloppe du volume chauffé de cette villa, définie par ses caractéristiques dimensionnelles :

En détaillant votre démarche de calcul, évaluez, en **janvier**, les besoins de chauffage, les apports gratuits (puis la part à déduire des besoins), et donc la consommation de chauffage de la villa. En déduire le gain thermique ΔT du mois de janvier, dû à la part des apports gratuits (puisqu'ils reviennent à réduire l'écart T_{int} - T_{ext} à combattre par le chauffage)

3/ Coefficient d'énergie primaire Cep de la villa à Lille.

Analysez le Cep de la villa, avec les hypothèses suivantes :

- les DJU18 du mois de janvier représentent, à Lille, 18% des DJU18 de la durée conventionnelle de chauffage,
 - le scénario d'éclairage est celui du 2/,
 - les consommations d'ECS celles décrites par le 1/,
 - le gain thermique moyen sur la durée de chauffage est celui du mois de janvier, et
- le chauffage (central à eau chaude) est assuré par chaudière gaz à condensation de rendement 95% sur PCS.

La puissance du circulateur de l'installation de chauffage sera prise à 30W, celle des ventilateurs de la VMC à 15 W pour chacun d'eux.

Comparez le Cep de la villa au Cep-max de la règlementation (la ville de Lille se situe en zone H1a de la RT2012, avec un Mcgéo = 1,2) ... Commentez

Production et Consommation d'Energie Electrique en 2022

https://analysesetdonnees.rte-france.com/bilan-electrique-production

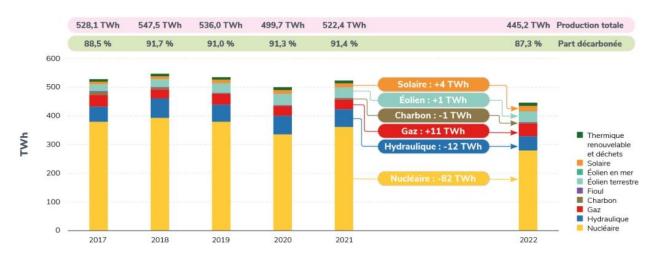
Une production totale en nette baisse par rapport aux années précédentes

Dans le contexte particulier qui a caractérisé l'année 2022, la production d'électricité en France s'est écartée de ses valeurs historiques, à la fois du point de vue du volume que de la répartition entre filières.

Le volume total de production a atteint 445,2 TWh, ce qui représente une baisse d'environ 15 % par rapport à l'année précédente (-77 TWh). Il s'agit du niveau le plus faible depuis 1992, alors que le parc nucléaire n'était pas totalement en service¹.

Ceci est le reflet de la faible disponibilité du parc nucléaire, dont la production a baissé de 82 TWh par rapport à 2021, ainsi que des contraintes sur la production hydraulique (-12 TWh). La baisse de la production de ces deux filières n'a été qu'en partie compensée par l'augmentation de la production renouvelable (+4 TWh pour le solaire et +1 TWh pour l'éolien), rendant nécessaire un recours plus important à la production à partir de gaz (+11 TWh) et aux importations (voir partie Échanges). Le volume de production sur l'année s'est révélé par ailleurs inférieur à celui de 2020 (-50 TWh), alors que ce niveau de 2020 avait été le plus bas enregistré depuis 20 ans.

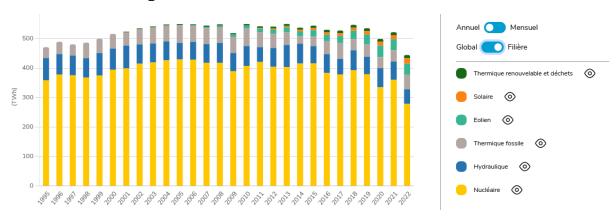
Production totale d'électricité en France entre 1995 et 2022



Production totale d'électricité en France en 2022 et répartition par filière



Evolution de la production d'électricité



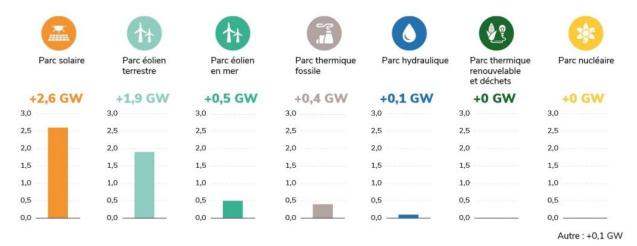
Le parc de production décarbonée progresse, principalement tiré par les filières renouvelables terrestres et marines

Le parc français a poursuivi son évolution en 2022 grâce à la progression des filières renouvelables. La puissance installée a atteint 144,3 GW au 31 décembre, soit une augmentation de 5,6 GW en un an, dont 5 GW de puissance éolienne et solaire. En particulier, le parc solaire photovoltaïque a atteint 15,7 GW au 31 décembre 2022 (+2,6 GW en un an), le parc éolien terrestre a atteint 20,6 GW (+1,9 GW) et le premier parc éolien en mer en France a été mis en service à Saint-Nazaire (0,5 GW). Le parc hydraulique a également évolué à la marge (+0,1 GW).

Le parc nucléaire s'est maintenu à son niveau de 61,4 GW, atteint en 2020 après la fermeture des deux réacteurs de la centrale de Fessenheim.

En ce qui concerne le parc thermique, l'année 2022 a vu la mise en service du cycle combiné gaz de Landivisiau d'une puissance de 0,4 GW.

Évolution du parc français de production d'électricité en 2022



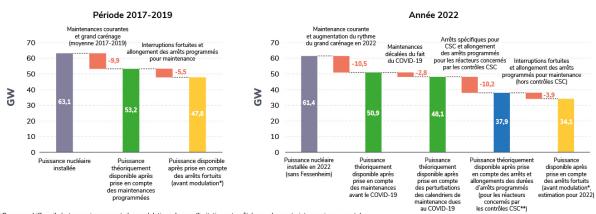
Au cours des prochaines années, le parc de production sera amené à se transformer en profondeur. Dans les prochains mois, la Stratégie française énergie climat (SFEC), qui constituera la feuille de route de la France pour atteindre la neutralité carbone en 2050, sera remise à jour et redéfinira les nouveaux objectifs de politique énergétique du pays. En amont, une concertation nationale concernant le mix énergétique s'est déroulée entre octobre 2022 et janvier 2023 à l'initiative du ministère de la transition énergétique et alimentera les discussions parlementaires qui démarreront en 2023 en vue de la prochaine Loi de programme énergie climat (LPEC). Une fois adoptée, cette loi fixera notamment les orientations de la nouvelle Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE 3) qui précisera, pour la période 2024-2033, les objectifs d'évolution du mix énergétique en France.

Parc de production d'électricité en France en 2022 et répartition par filière



¹ Six réacteurs ont été mis en service depuis 1992 (Penly 2, Golfech 2, Chooz B 1, Chooz B 2, Civaux 1, Civaux 2) et deux réacteurs ont été arrêtés (Fessenheim 1 et Fessenheim 2).

Facteurs explicatifs de l'indisponibilité du nucléaire en 2022



^{*} Dans ces chiffres, il n'est pas pris en compte les modulations du parc (limitations et arrêts) pour des contraintes environnementales

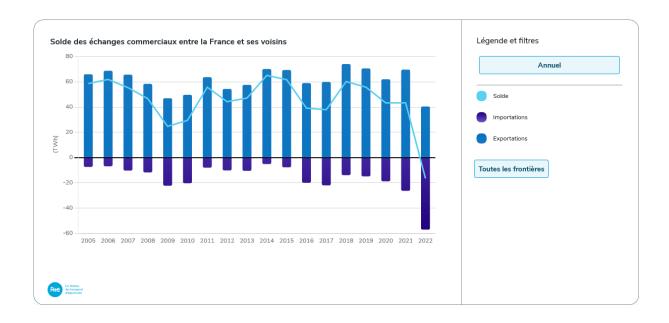
sociales et réglementaires, de prot ** CSC : Corrosion Sous Contrainte



7.3 En 2022, la France est devenue importatrice nette d'électricité pour la première fois depuis 40 ans

L'année écoulée a été marquée par des fortes tensions sur le parc de production français (cf. <u>partie « Production »)</u> qui ont rendu nécessaire un recours conséquent aux importations et ont affecté la position traditionnellement exportatrice de la France. Au cours de l'année, le pays a importé plus d'électricité qu'il n'en a exporté, ce qui n'était pas arrivé depuis 1980, c'est-à-dire avant le développement de la plus grande partie du parc nucléaire.

La faible disponibilité du parc nucléaire est le premier déterminant de ce retournement. Cependant, au cours de certaines périodes, une production renouvelable abondante a ponctuellement compensé la baisse de la production nucléaire et permis à la France de redevenir exportatrice en solde (en février par exemple, ou sur les deux dernières semaines de décembre), dans des proportions insuffisantes toutefois pour rétablir l'équilibre sur l'année.



Production et Consommation d'Energie Electrique en 2020

Source: https://www.rte-france.com/fr/article/bilans-electriques-nationaux

https://bilan-electrique-2020.rte-france.com

Puissance installée au 31/12/2020	Puissance MW	Evolution par rapport au 31/12/2019	Energie produite en 2020	TWh	Variation 2020/2019
Nucléaire	61 370	-2,8 %	Nucléaire	335,4	-11,6 %
Thermique à combustible fossile	18 934,7	+2,1 %	Thermique à combustible fossile	37,6	-10,6 %
dont charbon	2 978	0 %	dont charbon	1,4	-12,7 %
dont fioul	3 389,4	+0.7 %	dont fioul	1,7	-13,3 %
		I PANALO	dont gaz	34,5	-10,4 %
dont gaz	12 567,2	+3 %	Hydraulique	65,1	+8,4 %
Hydraulique	25 731,8	+0,1 %	dont renouvelable*	60,8	+9,1 %
Eolien	17 616,1	+6,7 %	Eolien	39,7	+17,3 %
Solaire	10 386,9	+8,6 %	Solaire	12,6	+2,3 %
Bioénergies	2 171,5	+3,1 %	Bioénergies	9,6	-0,8 %
dont biogaz	544,8	+8,7 %	dont biogaz	2,9	+8,6 %
dont biomasse	680,3	+3,1 %	dont biomasse	2,5	-5,8 %
dont déchets de			dont déchets de papeteries	0,2	-14,2 %
papeterie	50,8	0 %	dont déchets ménagers non renouvelables	2,0	-2,5 %
dont déchets ménagers	895,6	+0,2 %	dont déchets ménagers renouvelables	2,0	-2,5 %
Total	136 211	+0,5 %	Production nette	500,1	-7 %

Taux de pertes

Pertes RTE = (production + importations) - (consommation + exportations)

Taux de pertes RTE \simeq pertes RTE / consommation En moyenne, en 2020, le taux de pertes s'établit à 2,31 %, ce qui représente environ 10,7 TWh.

Les pertes représentent principalement l'énergie dissipée par <u>effet Joule</u> lors du transport sur le réseau haute et très haute tension. Elles dépendent essentiellement de la consommation, du plan de production et des échanges transfrontaliers. RTE a pour mission de veiller à la compensation de ces pertes.

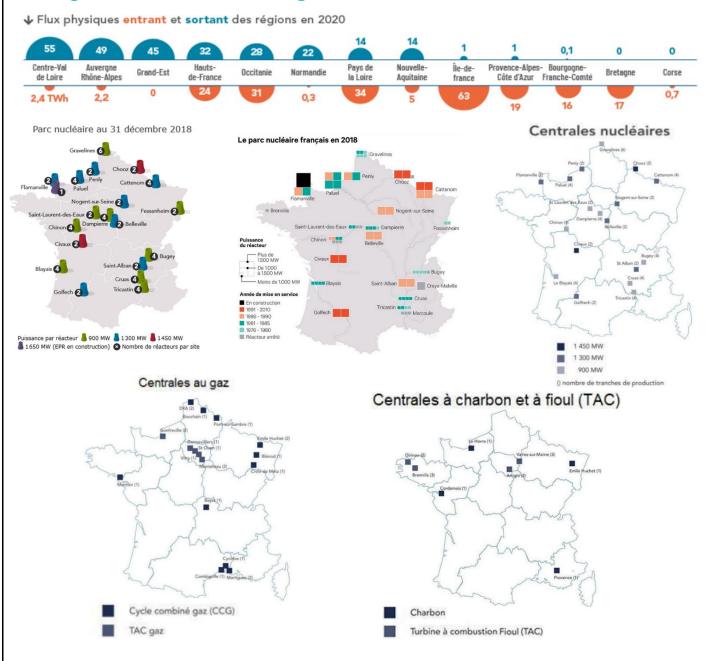
RTE dispose de différents leviers permettant de réduire les pertes lors de l'exploitation du réseau :

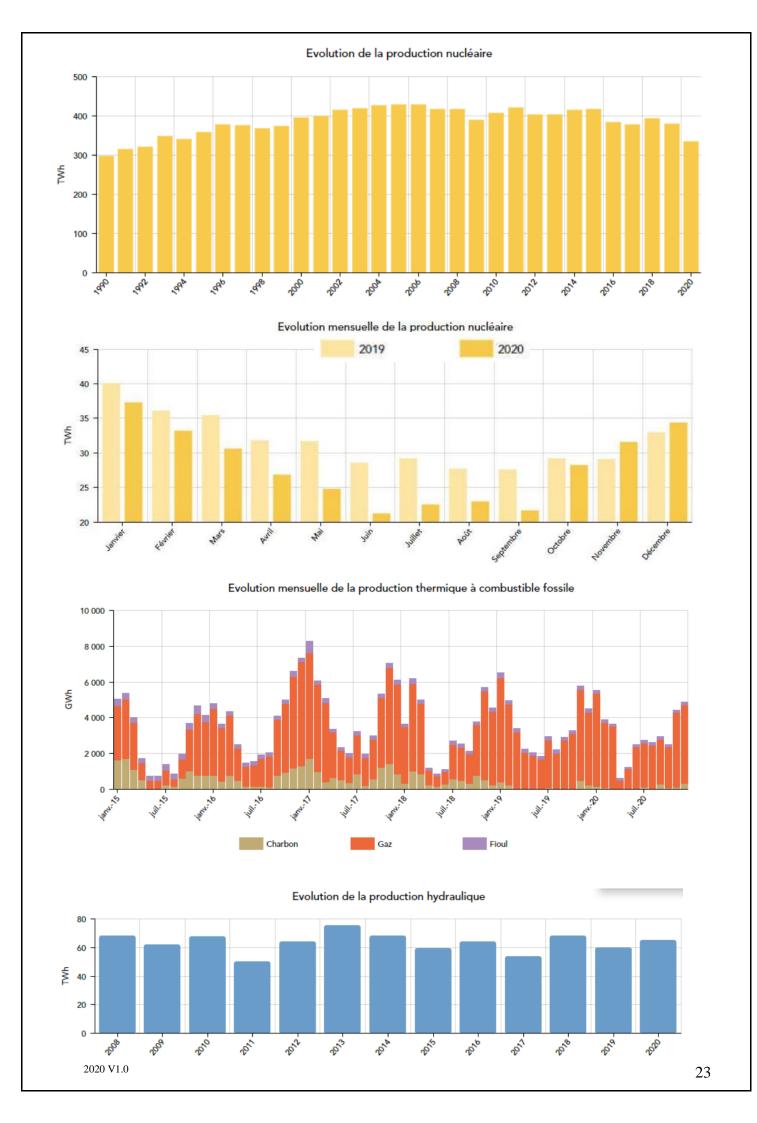
maintien de la tension au plus haut dans le respect du référentiel technique,

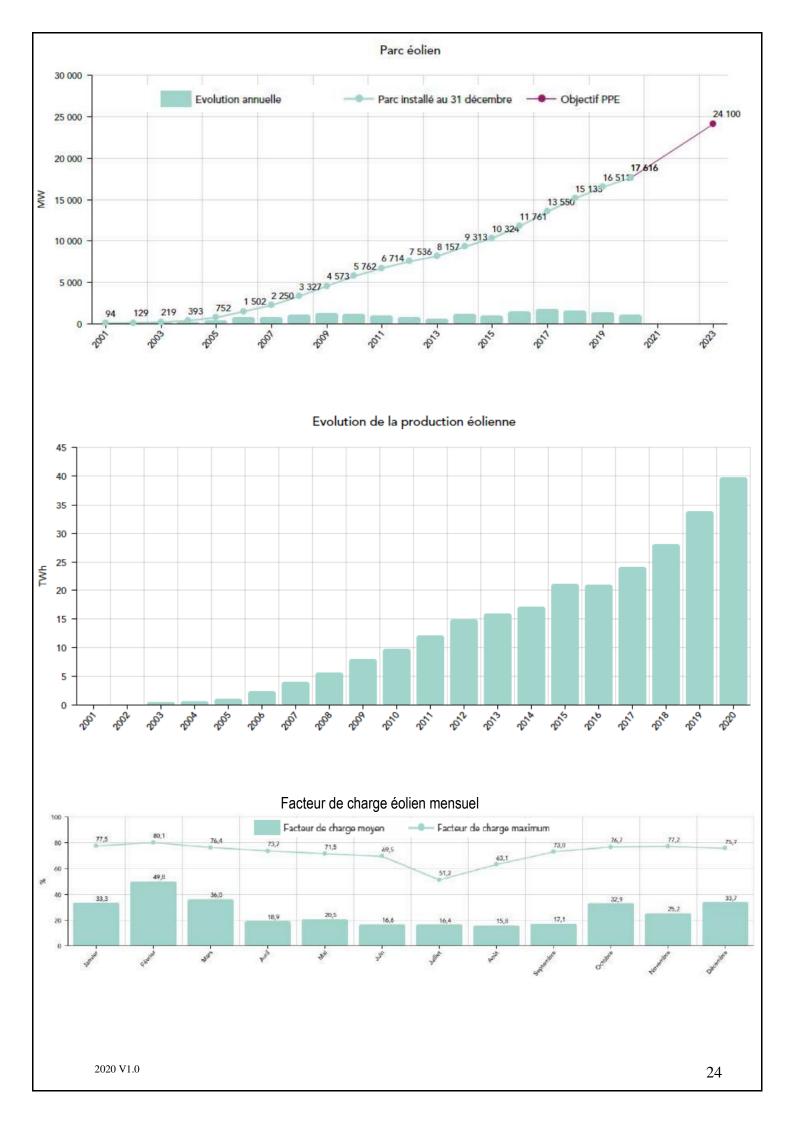
optimisation des schémas d'exploitation du réseau.

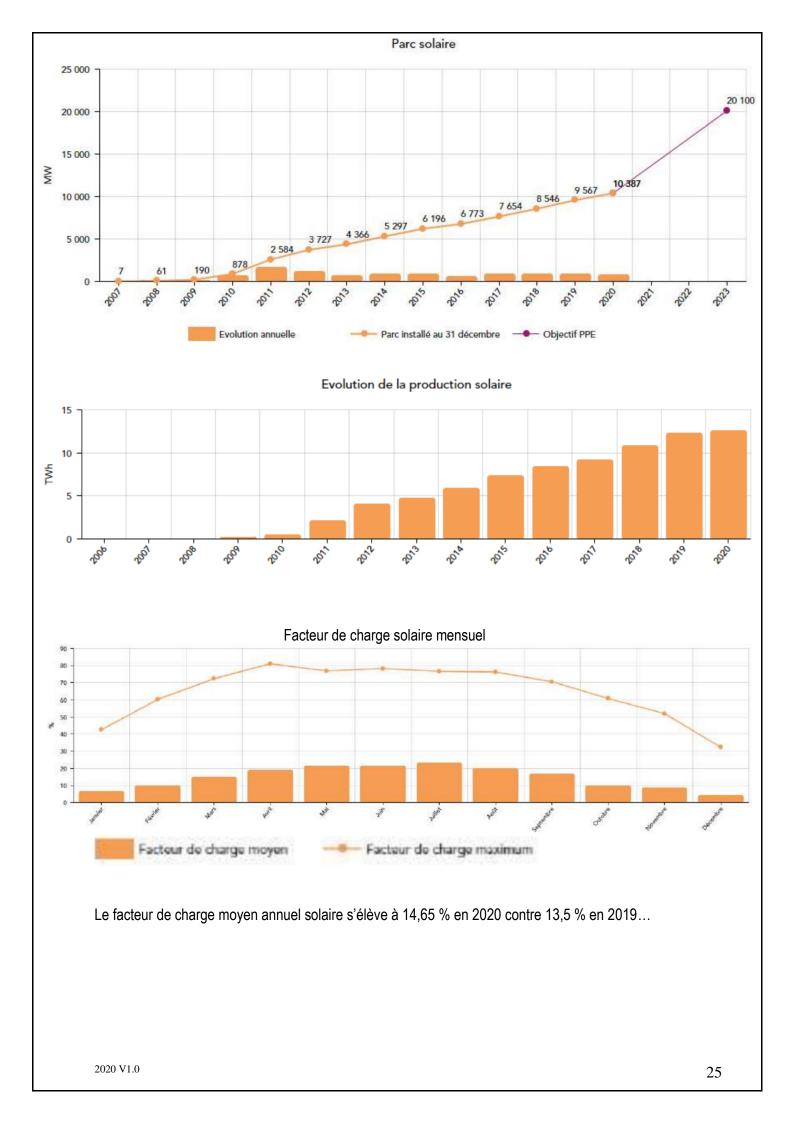
Exportations et importations nationales et régionales en 2020 La France conserve sa place de premier pays exportateur d'Europe Grande-Bretagne Export: 13,2 TWh Import: 34,6 TWh Import: 5,3 TWh Import: 5,3 TWh Import: 5,3 TWh Import: 5,3 TWh Import: 0,9 TWh Import: 0,9 TWh

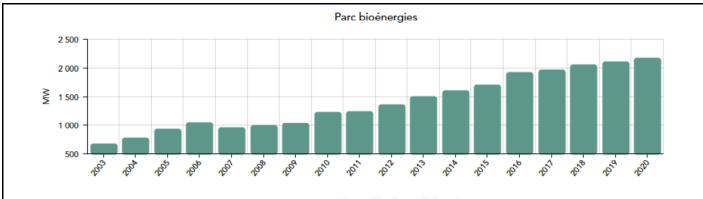
Echanges d'électricité entre régions en 2020

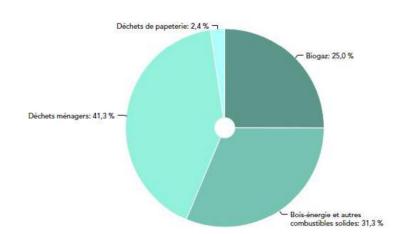










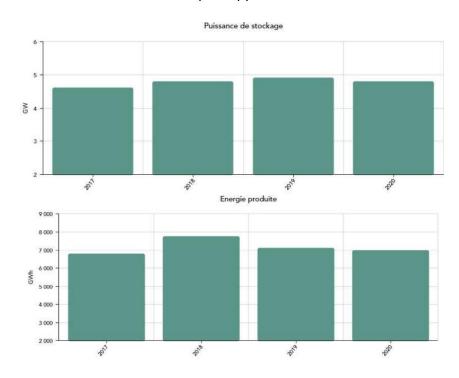


Composition du parc bioénergies

Stockage



En 2020, le parc de stockage atteint 4 850 MW dont 4 810 MW de type hydraulique y compris marin et 40 MW de batterie. Il reste stable par rapport à l'année dernière.



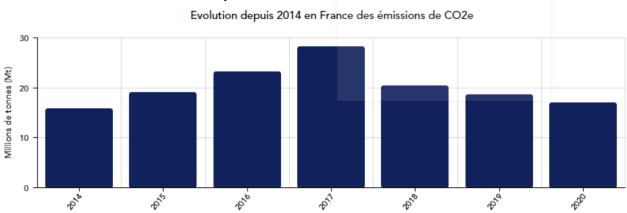
Méthodologie de calcul CO₂

Les facteurs d'émissions de CO₂ retenus représentent uniquement les émissions de CO₂ générées par la consommation du combustible primaire. La contribution de chaque moyen de production aux émissions de CO₂ est la suivante :

- 0,986 t/MWh pour les groupes charbon
- 0,777 t/MWh pour les groupes fioul
- 0,486 t/MWh pour les groupes « turbine à combustion » gaz récents
- 0,352 t/MWh pour les groupes « cycle combiné » gaz
- 0,583 t/MWh pour les groupes « turbine à combustion » gaz anciens et les autres groupes gaz
- 0,988 t/MWh pour les déchets ménagers (seule la part non renouvelable est prise en compte dans les émissions, soit 50% de la production)

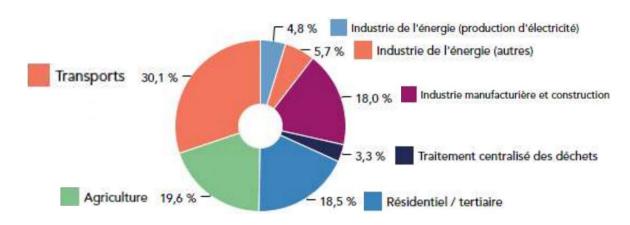
Ces taux sont calculés à partir des facteurs d'émission diffusés par l'ADEME et des rendements des centrales issus des recommandations de l'ENTSO-E.

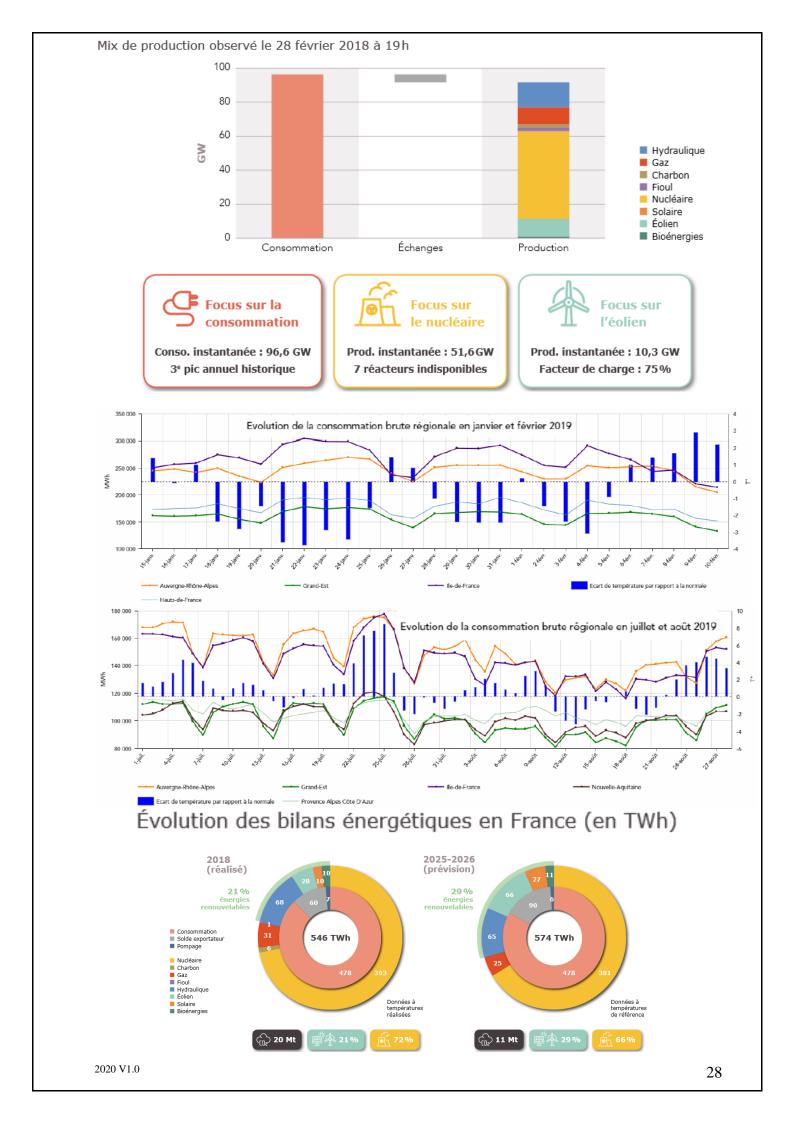
Emission de CO2 du secteur électrique



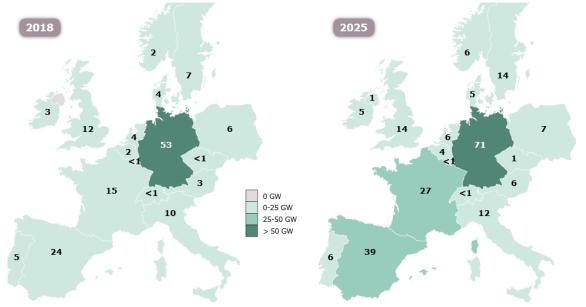
Répartition des émissions de CO2e estimées par secteur en France métropolitaine et Outre-Mer en 2019

Total: 441 Mt CO2e

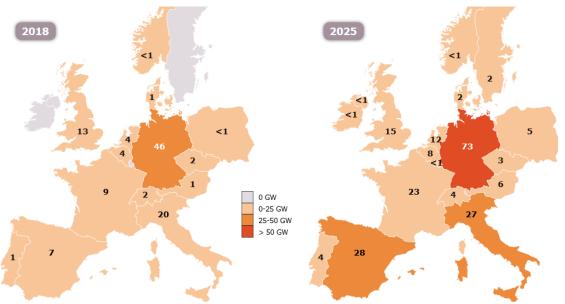




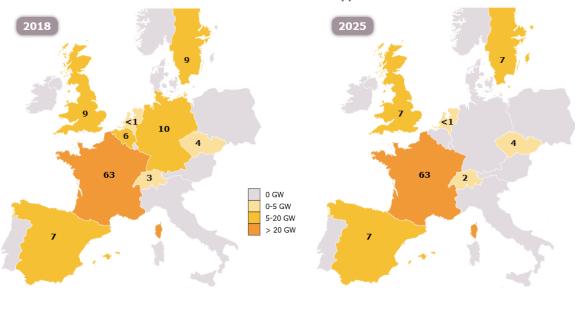




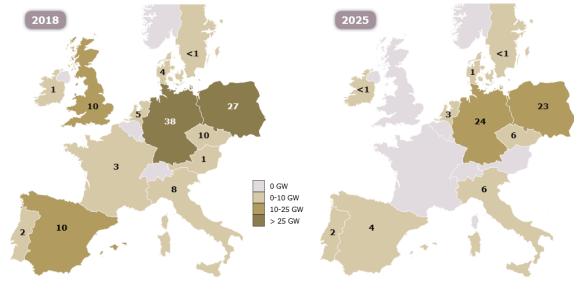
Parc solaire installé au 31 décembre 2018 et hypothèses d'évolution au 31 décembre 2025



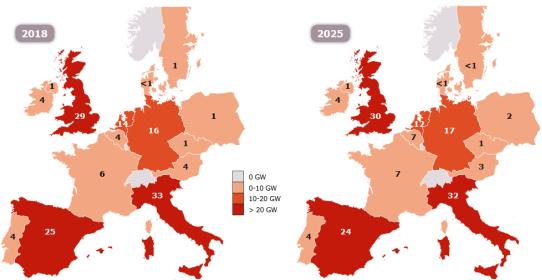
Parc nucléaire installé au 31 décembre 2018 et hypothèses d'évolution au 31 décembre 2025



Parcs charbon et lignite installés au 31 décembre 2018 et hypothèses d'évolution au 31 décembre 2025



Parc de centrales à cycle combiné au gaz installé au 31 décembre 2018 et hypothèses d'évolution au 31 décembre 2025



Évolution de l'intensité carbone de la production d'électricité dans les pays modélisés dans le cas de base du Bilan prévisionnel (en gCO2/kWh)

