

CALCUL DÉTAILLÉ DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Ce chapitre présente :

- le calcul détaillé des performances énergétiques R et PE, en fonction des hypothèses de vente de chaleur, pour chaque année d'exploitation à partir de 2022,
- la courbe permettant de recalculer le Rgaranti en fonction des ventes effectives de chaleur.

Rappel de la définition du rendement énergétique R

A quoi sert ce ratio ?

Le rendement énergétique R des installations de traitement thermique de déchets non dangereux effectuant une valorisation énergétique des déchets est contrôlé chaque année par les douanes. S'il atteint un certain seuil, il permet à l'établissement de bénéficier d'un taux réduit de TGAP.

Le seuil permettant de prétendre à une réfaction du taux de TGAP est de 0,65.

Comment est-il défini ?

Il est défini dans l'article 266 nonies du code des douanes. Sa formule est celle de l'arrêté du 28 décembre 2017 :

$$R = FCC \times \frac{Ep - (Ef + Ei)}{0,97 \times (Ew + Ef)}$$
$$= 1,089$$
$$\times \frac{(2,6 \times Ee.p + 1,1 \times Eth.p) - (2,6 \times Ee.a + 1,1 \times Eth.a)}{0,97 \times 2,371 \times t}$$

où :

- R représente le rendement énergétique de l'installation,
- FCC représente un facteur de correction climatique, égal à 1,089 (facteur de correction climatique générique correspondant à une valeur de degré-jours de chauffage moyen de 2459),
- Ep représente la production annuelle d'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. Il est composé de :
 - Ee.p qui représente l'électricité produite par l'installation (MWh/an) ;
 - Eth.p qui représente la chaleur produite par l'installation (MWh/an) et qui prend en compte :
 - Préchauffage de l'air de combustion ;
 - Chauffage du cycle eau-vapeur (dégazage) ;
 - Réchauffage de l'eau alimentaire ;
 - Réchauffage des fumées (anti-panache et SCR) ;
 - Le séchage des boues, uniquement si l'opération de séchage a vocation à destiner les boues à une valorisation organique (ce qui n'est pas le cas ici) ;
 - Mise hors gel des aérocondenseurs ;
 - Chaleur pour l'évaporation des effluents ;
 - Chauffage des bâtiments, bureaux, locaux sociaux, silos, traçage ;
 - Vapeur pour turbo pompes ou turbo compresseurs.
- Ef représente l'apport énergétique annuel du système en combustibles servant à la production de vapeur. Ei représente la quantité annuelle d'énergie importée, hors Ew et Ef. Le terme (Ef+Ei) est composé de :

- Eth.a qui représente l'énergie thermique externe apportée pour assurer le fonctionnement de l'installation (MWh/an) ;
- Ec.a qui représente l'énergie externe apportée pour assurer le fonctionnement de l'installation, cette énergie pouvant être issue de la combustion du gaz, du fuel ou de tout autre combustible (MWh/an) ;
- Ee.a qui représente l'énergie électrique externe achetée par l'installation (MWh/an) ;
- Ew représente la quantité annuelle d'énergie contenue dans les déchets traités. Le terme (Ew + Ef) est composé de
 - 2,371 correspond à un pouvoir calorifique inférieur générique des déchets réceptionnés égale à 2371 kWh/t ;
 - et représente le tonnage de déchets réceptionnés dans l'année.
- 0,97 est un coefficient prenant en compte les déperditions d'énergie dues aux mâchefers d'incinération et au rayonnement.

Il est à noter que les douanes imposent à toutes les installations françaises un même PCI et un même facteur de correction climatique.

Définition de la performance énergétique PE

A quoi sert ce ratio ?

La performance énergétique Pe d'une installation d'incinération est contrôlée par le Ministère de l'Environnement via les DREAL. Il sert à la qualification d'une opération réalisée dans une installation d'incinération en opération de valorisation ou d'élimination.

Le seuil permettant d'être classé en opération de valorisation est de 0,6.

Comment est-il défini ?

Il est défini dans l'annexe IV de l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux, qui a été modifiée par l'arrêté du 7 décembre 2016 :

$$PE = FCC \times \frac{Ep - (Ef + Ei)}{0,97 \times (Ew + Ef)}$$

où :

- Pe représente la performance énergétique de l'installation ;
- Ep représente la production annuelle d'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. Elle est calculée en multipliant par 2,6 l'énergie produite sous forme d'électricité et par 1,1 l'énergie produite sous forme de chaleur pour une exploitation commerciale ;
- Ef représente l'apport énergétique annuel du système en combustibles servant à la production de vapeur ;
- Ew représente la quantité annuelle d'énergie contenue dans les déchets traités, calculée sur la base du pouvoir calorifique inférieur des déchets ;
- Ei représente la quantité annuelle d'énergie importée, hors Ew et Ef ;
- 0,97 est un coefficient prenant en compte les déperditions d'énergie dues aux mâchefers d'incinération et au rayonnement.
- FCC représente le facteur de correction climatique tel que défini ci-dessous.

Le FCC pour les installations autorisées après le 31 août 2015 est :

- FCC = 1 si DJC ≥ 3 350
- FCC = 1,25 si DJC ≤ 2 150
- FCC = 1,335 – (0,12/1 200) × DJC si 2 150 < DJC < 3 350

où DJC (degrés-jours de chauffage) est calculé selon la méthode suivante, établie par Eurostat :

- T_m étant la température extérieure moyenne journalière égale à $(T_{min} + T_{max})/2$.
- DJC est égal à $(18^{\circ}\text{C} - T_m) \times j$ si T_m est inférieure ou égale à 15°C (seuil de chauffage) et est égal à zéro si T_m est supérieure à 15°C ,
- Les calculs sont effectués sur une base journalière ($j = 1$) et additionnés pour obtenir une année.

Dans le cas de la ville de Nice, le FCC est égal à 1,25.

Plan de comptage relatif à la performance énergétique

Afin de compter les énergies listées dans les formules ci-dessous, des compteurs agréés par les douanes (avec dispositif d'enregistrement en métrologie légale) sont installés dans l'UVE :

- le comptage du réchauffage des fumées au niveau des SCR
- au niveau du barillet 16 bar :
 - le comptage de l'énergie livrée au réseau vapeur Nice-Est en sortie usine,
 - le comptage de l'énergie totale auto-consommée (réchauffeurs de fumées en sortie du laveur, réchauffage de l'air de combustion)
- au niveau du barillet 3 bar
 - le comptage de l'énergie livrée au réseau d'eau chaude Ariane en sortie usine,
 - le comptage de l'énergie totale auto-consommée à partir du barillet 3 bar (dégazeur de la bache alimentaire)
- le comptage des énergies résiduelles au retour des réseaux Nice-Est et Ariane pour calculer le différentiel entre énergie départ et énergie retour à l'UVE

A ces compteurs s'ajoutent des mesures de débit, pression et température au niveaux de nombreux équipements du site. Ces équipements sont moins onéreux que les compteurs agréés par les douanes. Ceci permettra un plan de comptage interne de toutes les énergies par utilisateur, tout en diminuant les investissements de la Métropole Nice Côte d'Azur :

- le comptage de l'énergie récupérée par chaque chaudière (sortie / entrée),
- le comptage de l'énergie utilisée par chaque réchauffeur d'air comburant,
- le comptage de l'énergie utilisée par chaque réchauffeur de fumées en sortie laveur et en entrée des SCR
- le comptage de l'énergie dissipée par les aérocondenseurs (utile pour le bilan énergétique, même si exclue des auto-consommations comptabilisées en valorisation),

L'énergie vapeur utilisée par les éjecteurs pour la mise au vide en sortie GTA ne sera pas comptabilisée car il s'agit d'un flux négligeable.

Calcul détaillé des performances R et PE

Le calcul des deux indicateurs de performance énergétique a été réalisé pour chaque année complète à partir de 2022.

Composant		Unité	2022	2023	2024	2025 2026	à partir de 2027	Année maint. GTA 1	Année maint. GTA 2
Production Turbo	Ee.p	MWh/an	46 922	36 604	109 562	165 429	164 692	157 750	155 365
Energie thermique vendue au réseau	Eth.p	MWh/an	108 448	131 334	131 334	131 334	134 616	134 616	134 616
Energie thermique autoconsommée site (R Douanes)	Eth.p	MWh/an	91 423	100 938	117 005	128 311	128 311	128 311	128 311
Energie thermique autoconsommée site (Pe Dreal)	Eth.p	MWh/an	91 423	100 938	117 005	128 311	128 311	128 311	128 311
Energie électrique externe achetée	Ee.a	MWh/an	8 000	8 000	2 444	944	944	944	4 669

Composant		Unité	2022	2023	2024	2025 2026	à partir de 2027	Année maint. GTA 1	Année maint. GTA 2
Energie thermique externe achetée	Eth.a	MWh/an	0	0	0	0	0	0	0
Energie externe achetée (gaz/fuel) pour R Douanes	Ec.a	MWh pci/an	7 438	7 137	8 188	2 428	2 746	2 746	2 746
Energie externe achetée (gaz/fuel) pour Pe Dreal		MWh pci/an	7 438	7 137	4 094	1 214	1 214	1 214	1 214
Tonnages incinérés	t	t	268 616	296 573	343 782	380 000	380 000	380 000	380 000
PCI moyen des déchets incinérés			2 028	2 028	2 028	2 028	2 028	2 028	2 028
Rendement énergétique "R Douanes" / 65% (arrêté du 28/12/2017)	R		55,3%	51,5%	74,9%	89,3%	89,5%	87,2%	85,2%
FCC (DJU = 1041)	FCC		1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Performance énergétique "Pe Dreal" inclus coeff climatique / 60%	Pe		63,1%	58,9%	86,0%	102,9%	103,1%	100,5%	98,2%

Concernant les consommations de gaz naturel, elles ont été estimées sur la base du plan de maintenance, en prenant en compte les arrêts et redémarrage de ligne et des aléas pour le fonctionnement du brûleur en complément des déchets.

Concernant l'achat d'électricité, il s'agit d'une quantité estimée sur la base d'aléas de fonctionnement des GTA.

Abaques du rendement énergétique

Conformément au paragraphe 3.2.3 du Guide de rédaction des offres, ce chapitre présente des courbes permettant de recalculer le rendement énergétique R garanti en fonction des ventes effectives constatées du réseau de chaleur.

La formule définissant R n'est pas uniquement liée à cette vente de chaleur. Ainsi, Arianeo pourrait imaginer deux années où les ventes de chaleur sont sensiblement identiques mais où l'usine a eu des consommations très différentes en gaz, fioul ou en achat d'électricité.

Par ailleurs, une vente moindre de chaleur nécessite moins de vapeur soutirée aux GTA, et donc permet un supplément de production d'électricité. Il faut donc représenter une courbe de variation de R en fonction, au minimum, de Eth.p et de Ee.p, tous les autres paramètres étant figés.

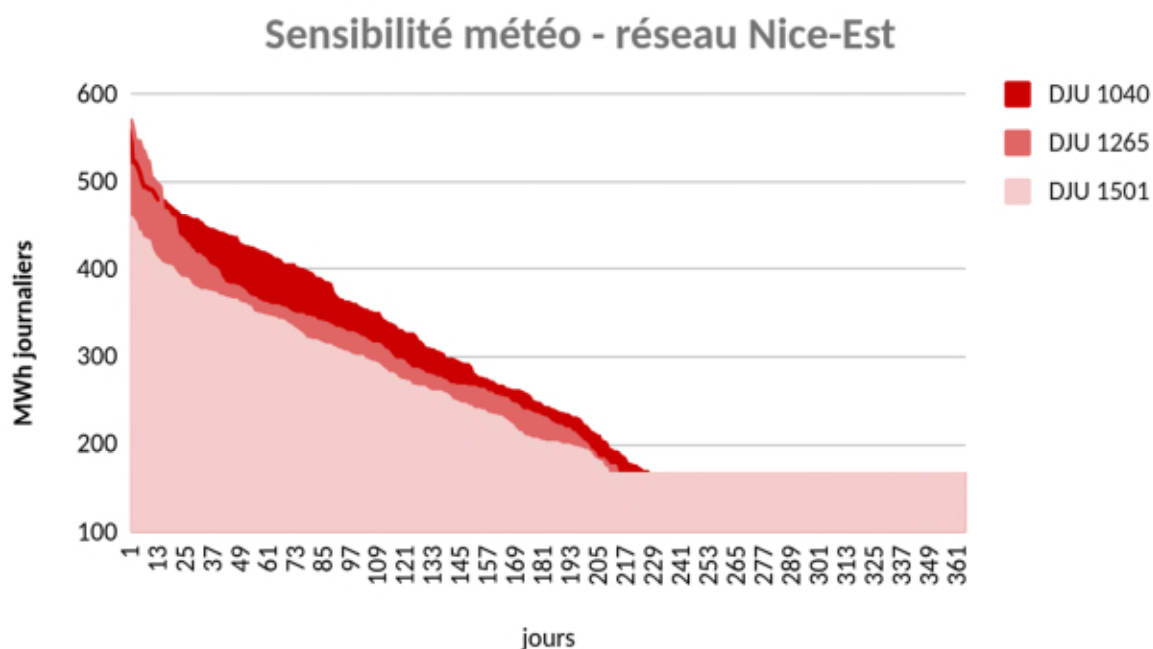
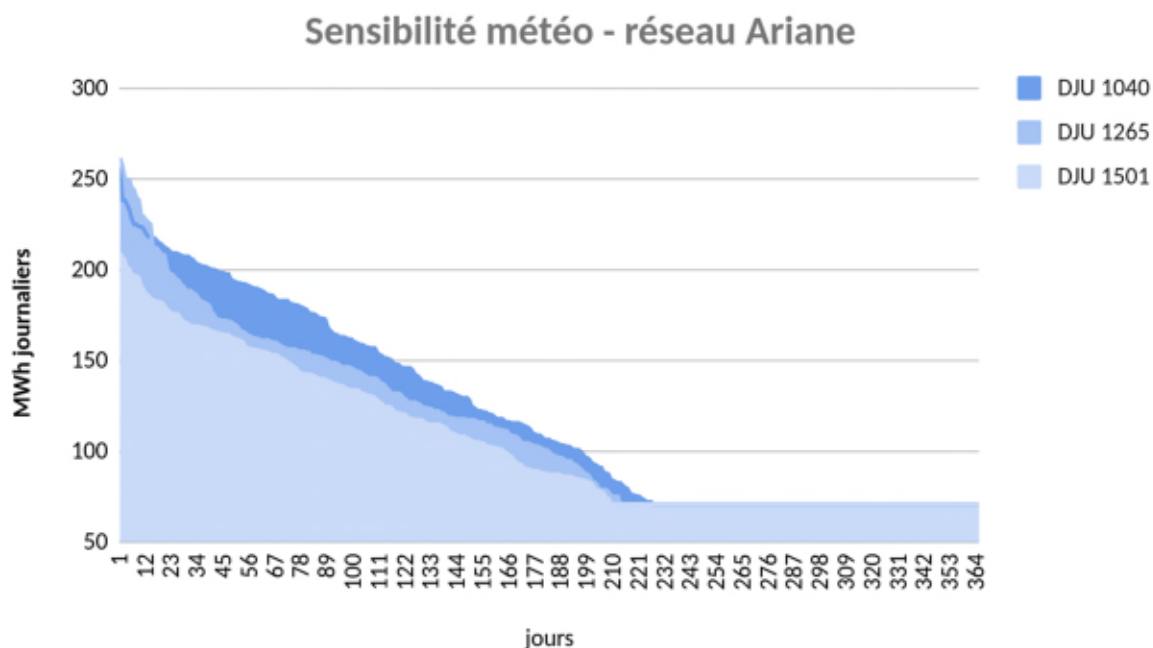
De plus, il est prévu une augmentation de la consommation de chaleur par le réseau Nice-Est de 2021 à 2027. Les abaques présentées permettent la correction du R garanti sur **la base de la modélisation du réseau tel qu'il sera en 2027**.

La modélisation présentée a été appliquée sur différents historiques de températures mesurées à Nice, afin de calculer Eth.p et Ee.p et de représenter sur un graphe les R prévisionnels qui auraient été obtenus ces années-là.

Sensibilité météo des ventes du réseau de chaleur

Le modèle décrit précédemment a été appliqué sur un historique de températures plus ou moins élevées que l'année type.

L'année la plus chaude sur la période 2010 à 2018 est l'année 2014 (1040 DJU). Pour une année de ce type, le profil théorique d'appel des réseaux de chaleur après leur agrandissement prévu en 2027 est le suivant :



Cet exercice a été réalisé pour les neuf années d'historique de températures journalières de 2010 à 2018.

Impact sur la production électrique

Grâce au nouveau cycle vapeur, toute la vapeur qui n'est pas consommée par les réseaux de chaleur reste dans les turbines et génère de l'électricité supplémentaire. Pour chaque profil de température, la production électrique résultante a été calculée grâce à la formule décrite précédemment. Les valeurs obtenues sont les suivantes :

Année historique	DJU	Fourniture Ariane	Fourniture Nice-Est	Prod. électrique
2010	1501	44 095	99 548	162 736
2011	1135	39 624	90 037	165 774

Année historique	DJU	Fourniture Ariane	Fourniture Nice-Est	Prod. électrique
2012	1265	41 219	93 428	164 692
2013	1357	42 334	95 801	163 937
2014	1041	38 483	87 608	166 559
2015	1125	39 507	89 788	165 867
2016	1116	39 402	89 565	165 937
2017	1173	40 090	91 029	165 475
2018	1138	39 663	90 120	165 752

En considérant les consommations d'énergies fossiles identiques à l'offre, ainsi qu'un tonnage réceptionné de 380 000 tonnes, Arianeo obtient les rendements R suivants :

DJU	Ventes thermiques	Rendement R
1501	116 044	90,10%
1135	104 277	89,16%
1265	108 474	89,49%
1357	111 409	89,73%
1041	101 274	88,93%
1125	103 969	89,14%
1116	103 693	89,12%
1173	105 504	89,27%
1138	104 380	89,17%

On remarque que le rendement R Douanes n'est que très peu impacté par le volume de vente de chaleur aux réseaux (+/- 1%).