

CONSULTING

Projet d'évolution de l'Unité de Valorisation Énergétique de Taden

PJ 71&72 – Efficacité énergétique et analyse
chaleur fatale

Numéro du Projet : 23NNP117

Intitulé du Projet : Projet d'évolution de l'unité de valorisation énergétique de Taden

Intitulé du Document : Efficacité énergétique et analyse chaleur fatale

La traçabilité des signatures est assurée en interne. Ce formulaire peut être communiqué au client à sa demande

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur (Fond, Forme, Reprographie) NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
0	MOISAN Julie		25/01/24	Version initiale
A	MOISAN Julie		02/02/24	Version pour relecture SMPRB
A2	MOISAN Julie		13/02/24	Version finale
B	MOISAN Julie		04/07/24	Mise à jour suite compléments DREAL

Sommaire

1.....	récupération de la chaleur fatale	1
1.1	Introduction	1
1.2	Valorisation de l’Energie fatale sur la ligne 1 existante et nouvelle ligne	4
2.....	Efficacité énergétique	5
2.1	Principe de fonctionnement	5
2.2	Synthèses des performances énergétiques attendues	8

Table des illustrations

Figure 1 :	Synoptique du traitement des fumées	4
Figure 2 :	Synoptique de la récupération de chaleurs.....	6

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Puissance estimée récupérées sur les lignes L1 et L1bis	5
Tableau 2 :	Débit de vapeur et puissance thermique sur les lignes L1 et L1bis	6
Tableau 3 :	Puissance thermique récupérée sur les lignes L1 et L1bis après préchauffage de l'eau alimentaire	7
Tableau 4 :	Puissance thermique récupérée sur les lignes L1 et L1bis après réchauffage de l'air primaire	7
Tableau 5 :	Puissance thermique récupérée sur les ballons.....	8

1. RECUPERATION DE LA CHALEUR FATALE

1.1 Introduction

1.1.1 Contexte

La directive européenne 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique favorise le recours à la chaleur fatale. Les producteurs de chaleur fatale situés à proximité d'un réseau de chaleur doivent réaliser une analyse coûts-avantages afin d'étudier les possibilités de valorisation de la chaleur fatale. Dans le cas où la solution est jugée rentable, celle-ci doit être mise en œuvre, sauf raisons impérieuses de droit ou de propriété.

Ce sont les articles 14.5 à 14.8, ainsi que l'annexe IX de la directive qui traitent spécifiquement de cette analyse coûts-avantages. Ils sont transposés en droit français par le décret n° 2014-1363 du 14 novembre 2014 visant à transposer l'article 14.5 de la directive 2012/27/UE relatif au raccordement d'installations productrices d'énergie fatale à des réseaux de chaleur ou de froid. L'arrêté du 9 décembre 2014 précise les catégories d'installations visées ainsi que le contenu de l'analyse permettant d'évaluer l'intérêt de valoriser de la chaleur fatale à travers un réseau de chaleur ou de froid.

L'arrêté du 09 décembre 2014 définit les modalités de réalisation de l'analyse coûts-avantages mentionnée au 16° du I de l'article D. 181-15-2 et au 11° de l'article R. 512-46-4 du code de l'environnement ainsi que les catégories d'installations concernées et fixe les prescriptions qui leur sont applicables.

1.1.2 Rappel de l'arrêté du 9 décembre 2014

Art. 2. – Sont concernées par la réalisation d'une analyse coûts-avantages afin d'évaluer l'opportunité de valoriser de la chaleur fatale à travers un réseau de chaleur ou de froid :

- Les installations d'une puissance thermique nominale totale supérieure à 20 MW, soumises au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées, générant de la chaleur fatale non valorisée ;
- Les installations de production d'énergie d'une puissance thermique nominale totale supérieure à 20 MW, soumises au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées, faisant partie d'un réseau de chaleur ou de froid.

Art. 3. – Les installations exemptées de la réalisation d'une analyse coûts-avantages les installations doivent remplir l'une des conditions suivantes :

- Le rejet de chaleur fatale non valorisée est à une température inférieure à 80°C,
- Le rejet de chaleur fatale non valorisée est inférieur à 10 GWh/an,
- La demande de chaleur est à plus de 4 km d'une installation ayant des rejets de chaleur fatale non valorisée inférieurs à 50 GWh/an, plus de 12 km d'une installation ayant des rejets de chaleur fatale non valorisée inférieurs à 250 GWh/an ou plus de 40 km d'une installation ayant des rejets de chaleur fatale non valorisée supérieurs à 250 GWh/an.

Art. 5. - Lorsque l'analyse coûts-avantages conduit dans l'analyse économique et financière à un total des avantages escomptés supérieur à celui des coûts escomptés et qu'il n'existe pas de raisons impérieuses de droit, de propriété ou d'ordre financier l'en empêchant, l'exploitant met en œuvre la solution de valorisation de la chaleur fatale à travers un réseau de chaleur ou de froid

dans les conditions ressortant de l'analyse coût-avantages. En cas de modification notable d'un des paramètres relatifs au contenu de l'analyse coûts-avantages listés dans le tableau en annexe avant la mise en œuvre du raccordement, l'exploitant met à jour l'analyse coûts-avantages et la transmet au préfet.

Art. 6. – Le présent arrêté entre en vigueur le 1er janvier 2015. Les dispositions du présent arrêté sont applicables aux installations dont le dossier de demande d'autorisation a été déposé après le 1er janvier 2015 et aux installations faisant l'objet après cette date d'une modification substantielle nécessitant le dépôt d'une nouvelle demande d'autorisation en application de l'article R. 512-33 du code de l'environnement et conduisant à une rénovation dont le coût dépasse 50 % du coût d'investissement pour une unité thermique neuve comparable. Une rénovation qui consiste en l'installation d'équipements de captage de dioxyde de carbone en vue de son stockage géologique n'est pas considérée comme une rénovation au sens du présent arrêté.

1.1.3 Valorisation de chaleur fatale du projet

Plusieurs travaux en lien avec la valorisation de chaleur fatale sont engagés :

- Rénovation de la ligne L1 avec passage du traitement de fumées humides de la ligne 1 en traitement sec,
- Construction d'une nouvelle ligne L1bis d'incinération neuve avec son propre bâtiment Turbine et auxiliaires
- Une option de raccordement du réseau de chaleur urbain (RCU) de Dinan Agglomération est émise dans le cadre du contrat de DSP entre DEWEN et le SMPRB. En effet, cette option est en cours de réflexion au sein de la Communauté de Commune. Le projet prévoit donc la création d'un local RCU pour permettre d'alimenter une sous-station fournissant jusqu'à 6.5 MWth au réseau de chaleur de l'agglomération de Dinan par de la vapeur MP si celui-ci venait à être construit.

1.1.4 Le projet de Réseau de Chaleur Urbain (RCU) en cours d'étude

Un projet de Réseau de Chaleur Urbain (RCU) est en cours d'étude entre Dinan Agglomération et le SMPRB qui devraient se positionner officiellement sur son lancement en décembre 2025. Le budget prévisionnel du RCU a déjà été chiffré par Dinan Agglomération en septembre 2023 à un **montant de 23,8 millions d'euros hors taxes** : 2 millions pour la chaufferie d'appoint, 20 millions pour les réseaux et 1,3 million pour les échangeurs (Source : Ouest France, article en date du 24/10/2023 intitulé « Le réseau de chaleur urbain de Dinan aggro, chiffré à 23,8 millions d'euros, avance « pas à pas » »).

En tant qu'exploitant de l'UVE de Taden dans le cadre d'une DSP, DEWEN n'est en aucun cas habilité à prendre des décisions sur la réalisation ou non du projet de RCU. Celles-ci relèvent du choix de Dinan Agglomération en coopération avec le SMPRB et à ce jour aucun engagement n'a été acté de leur part.

Néanmoins, le projet d'évolution de l'UVE a été conçu dès son origine pour anticiper la possibilité d'un raccordement à ce RCU :

- D'une part, d'un point de vue contractuel entre DEWEN et le SMPRB dont la DSP établie permet l'activation d'une option de raccordement au RCU ainsi qu'une garantie de couvrir de 96,4% des besoins prévisionnels du RCU en fournissant environ 24 GWh ;

- D'autre part d'un point de vue technique, la tranche ferme du projet prévoit la construction d'un local permettant techniquement d'alimenter une sous-station et fournir ainsi une puissance minimale garantie de 6.5 MWth au réseau de chaleur de l'agglomération de Dinan à partir de vapeur moyenne pression.

En conséquence, que le projet de RCU se fasse ou non, le projet d'évolution de l'UVE de Taden est conçu depuis son origine de sorte que **la ligne de valorisation L1bis puisse produire en cogénération de l'électricité et de l'énergie thermique, qui pourrait alimenter le RCU de Dinan Agglomération à hauteur de 24 GWh/an de production annuelle mais qui n'est pas à ce jour décidé.**

De cette manière et sans pour autant disposer des éléments techniques détaillés de ce futur RCU, nous pouvons dès aujourd'hui affirmer que, dans le cas où le RCU venait à se concrétiser, les modifications techniques à apporter à l'installation ICPE pour le branchement au réseau de chaleur resteraient marginales (simple conduit extérieur de réseau Eau Chaude primaire basse pression à mettre en place sur le bord des voiries du site, et local de raccordement à construire à l'entrée du site) et ne seront pas de nature à avoir des incidences sur l'environnement ou la santé humaine et ferait l'objet d'une information au Préfet.

Dès lors, l'actualisation à prévoir sur l'étude d'impact du présent DDAE pour intégrer les effets cumulés en cas de mise en place du RCU, porterait sur les émissions évitées du bilan GES en fonction du mode de production d'énergie (ces éléments sont détaillés dans le bilan GES présent en annexe 6 de la PJ04c) :

- **Cas sans RCU :** dans le cas où l'énergie serait uniquement électrique, la production de 99 GWh/an permettrait d'éviter 5 200 tCO₂e/an, en comparaison aux émissions moyennes du mix énergétique français, soit 3 000 tCO₂e/an évitées supplémentaires par rapport aux émissions évitées actuelles sur le site de Taden.
- **Cas avec RCU :** dans le cadre de la revente de 24 GWh/an d'énergie thermique générée par l'UVE qui serait injectée sur un réseau de chaleur urbain, le projet permettrait d'éviter 5 800 tCO₂e/an en comparaison à une production de chaleur avec du gaz naturel, auxquelles il faut ajouter les émissions évitées associées à la production de 91 GWh/an d'électricité, soit 4700 tCO₂e/an. Cela représenterait donc au total 10 500 tCO₂e/an évitées, dont 8300 tCO₂e/an supplémentaires par rapport à la situation actuelle.

En cas de raccordement au RCU, l'actualisation a mise à jour de la présente Etude d'Impact induira donc un doublement de la quantité d'émissions évitées de GES.

En revanche, il appartiendra à l'exploitant en charge du futur RCU (non défini à ce stade) d'intégrer l'Etudes des Dangers du présent DDAE dans la conception de son projet afin de s'assurer de l'absence d'effets dominos avec l'UVE, en particulier concernant la mise en place de la chaudière gaz de secours qui aura son propre périmètre ICPE.

1.2 Valorisation de l'Énergie fatale sur la ligne 1 existante et nouvelle ligne

1.2.1 Énergie fatale liée aux extracteurs mâchefers

La valorisation de l'énergie des mâchefers extraits ne représente pas un gisement de chaleur fatale car la température est inférieure à 80°C. Ce gisement n'est donc pas considéré.

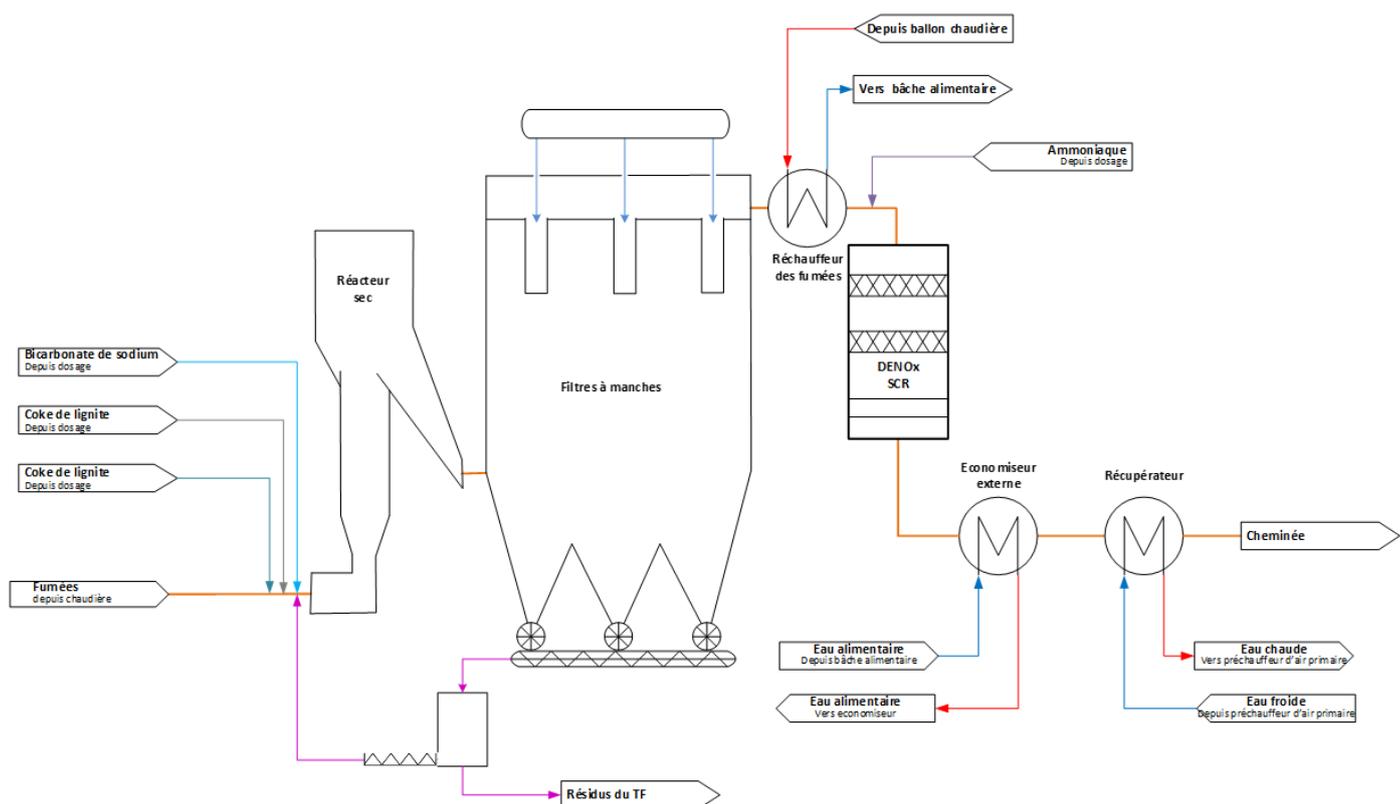
1.2.2 Énergie fatale liée à la purge continue de la chaudière

La purge continue de la chaudière permet le réchauffage de l'eau d'appoint de la nouvelle ligne. Grâce à cet équipement, l'eau d'appoint sera réchauffée à 85°C, ce qui correspond à une puissance d'environ 100 kW.

1.2.3 Énergie fatale des fumées

Le passage d'un traitement humide des fumées à un traitement sec s'accompagne d'une opportunité de valorisation d'énergie fatale dans les fumées de combustion.

Figure 1 : Synoptique du traitement des fumées



La température moyenne sortie chaudière sera de 200°C. Les fumées sont traitées puis filtrée et réchauffées à 225°C avant d'atteindre le traitement des oxydes d'azotes au moyen d'une installation de traitement des NOx sur un catalyseur (DéNOx Selective Catalyst Reduction).

La valorisation de l'énergie fatale des fumées après le traitement des oxydes d'azotes est la solution retenue. Deux échangeurs thermiques Fumées / Eau seront installés pour réchauffer l'eau alimentaire et préchauffer l'air primaire.

Il est prévu de récupérer l'énergie fatale en deux étapes pour atteindre une température de 140°C en sortie de traitement.

Tableau 1 : Puissance estimée récupérées sur les lignes L1 et L1bis

	Economiseur externe	Récupérateur
Puissance récupérée estimée L1	520 kW	300 kW
Puissance récupérée estimée L1bis	1400 kW	800 kW

1.2.4 Faisabilité de la récupération d'énergie sensible des fumées

La mise en place de condenseur des fumées pour descendre au-delà de la température de 140°C serait techniquement incompatible avec l'objectif d'excellence environnementale concernant le choix du zéro rejets industriels. Elle n'a donc pas pu être envisagée dans le cadre du projet.

2. EFFICACITE ENERGETIQUE

Le paragraphe 17° de l'Article D181-15-2 établit que : « Pour les installations de combustion de puissance thermique supérieure ou égale à 20MW, une description des mesures prises pour limiter la consommation d'énergie de l'installation. Sont fournis notamment les éléments sur l'optimisation de l'efficacité énergétique, tels que la récupération secondaire de chaleur ; »

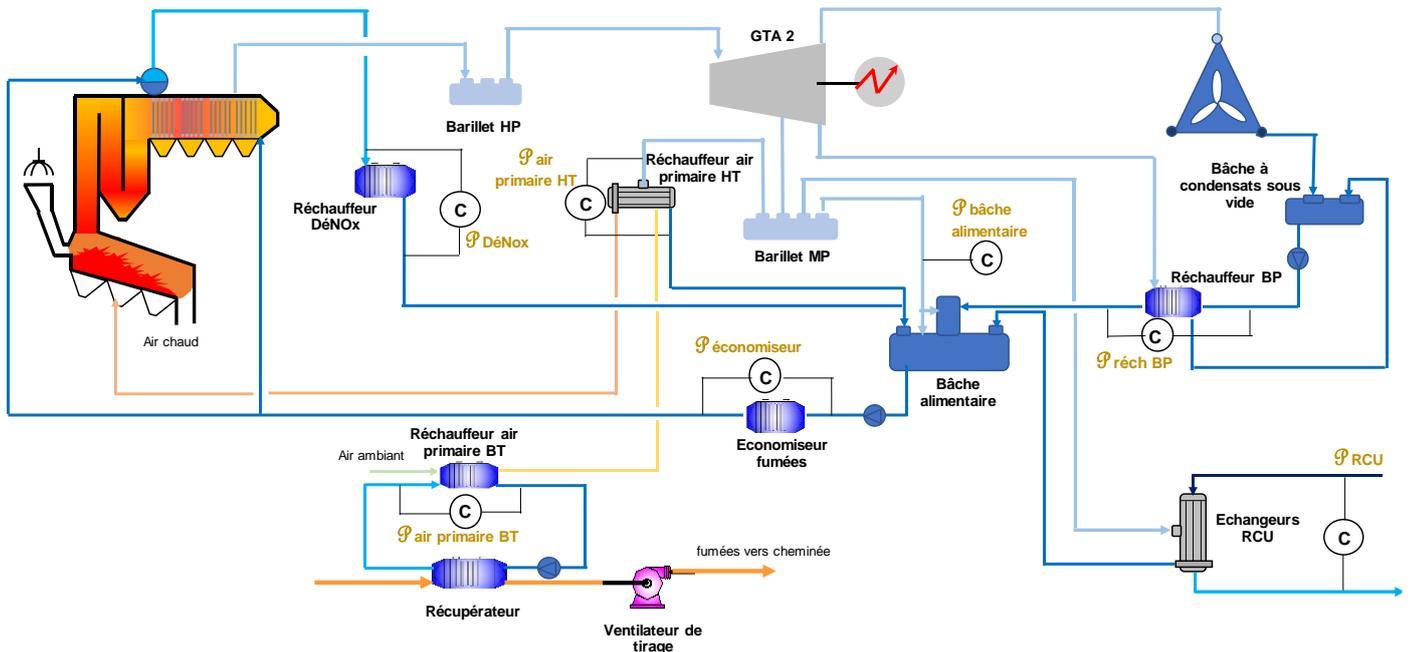
Les mesures prises pour limiter la consommation d'énergie de l'installation et la récupération secondaire de chaleur sont présentées dans les paragraphes suivants :

- Réchauffage des fumées amont SCR avec vapeur ballon ;
- Préchauffage de l'eau alimentaire ;
- Réchauffage de l'air primaire avec les fumées ;
- Réchauffage de l'eau déminéralisée avec le ballon d'éclatement des purges.

2.1 Principe de fonctionnement

Le nouveau traitement des fumées sec utilisera du bicarbonate de sodium pour la neutralisation des polluants. Une deuxième étape de traitement sur catalyseur est nécessaire pour traiter les NOx, une SCR (Selective Catalyst Reduction) à moyenne température a été sélectionnée. Ce choix technique entraîne la nécessité d'avoir une température des fumées autour de 225°C. Une fois la réaction avec le bicarbonate de sodium réalisée, les fumées sont réchauffées à 225°C et ressortent de cette étape de traitement à environ 220°C. Dans un souci d'optimisation énergétique, les calories des fumées sont récupérées dans un premier échangeur qui permet de réchauffer l'eau alimentaire avant son envoi à la chaudière puis un second échangeur récupérateur est prévu pour récupérer la chaleur fatale jusqu'à 130°C, pour transférer l'énergie à l'air primaire via une boucle d'eau chaude.

Figure 2 : Synoptique de la récupération de chaleurs



2.1.1 Réchauffage des fumées amont SCR avec vapeur ballon

Un premier échangeur thermique est mis en place permettant de maintenir la température des fumées à 225°C avec de la vapeur saturée avant le traitement des NOx via une SCR (Selective Catalytic Reduction).

Pour cela un soutirage ballon (vapeur saturée) est utilisé.

La quantité de vapeur utilisée pour le réchauffage des fumées est autant de vapeur qui ne sera pas surchauffée dans la chaudière et qui ne sera pas turbiné. Pour autant, cette étape de traitement est incontournable. Des alternatives pourraient être utilisées (Brûleur gaz, vapeur HP) mais elles présentent des inconvénients majeurs : utilisation d'énergie fossile, génération de CO₂, pertes de production électrique supérieure au choix technique retenu.

Tableau 2 : Débit de vapeur et puissance thermique sur les lignes L1 et L1bis

	L1	L1bis
	Principe similaire sur la SCR existante	Nouvelle ligne
Débit de vapeur saturée estimé	0.33 t/h	2.5 t/h
Puissance thermique	156 kW	1 075 kW

2.1.2 Préchauffage de l'eau alimentaire

Chaque chaudière est alimentée par de l'eau alimentaire. Pour optimiser le rendement, cette eau sera réchauffée de 105 à 130°C par l'intermédiaire des fumées (mise en place d'un économiseur externe final).

Cette modification permet d'optimiser le rendement énergétique.

Tableau 3 : Puissance thermique récupérée sur les lignes L1 et L1bis après préchauffage de l'eau alimentaire

	L1	L1bis
	Modification de l'existant	Nouvelle ligne
Puissance thermique récupérée sur les fumées	580 kW	1260 kW

2.1.3 Réchauffage de l'air primaire avec les fumées

Chaque four est alimenté par de l'air primaire réchauffé. Pour optimiser le rendement, cet air sera réchauffé par l'intermédiaire des fumées (mise en place d'une boucle d'eau chaude avec échange thermique sur le récupérateur final des fumées).

Les fumées seront refroidies jusqu'à une température de 130°C.

Cette modification permet d'optimiser le rendement énergétique.

Tableau 4 : Puissance thermique récupérée sur les lignes L1 et L1bis après réchauffage de l'air primaire

	L1	L1bis
	Modification de l'existant	Nouvelle ligne
Puissance thermique récupérée sur les fumées	420 kW	860 kW

2.1.4 Réchauffage de l'eau déminéralisée avec le ballon d'éclatement des purges

Chaque chaudière est produit des purges à la pression du ballon chaudière. Il est proposé de récupérer l'énergie de ces purges pour réchauffer l'eau déminéralisée servant l'appoint du cycle à la bache alimentaire à 85°C.

Cette modification permet d'optimiser le rendement énergétique.

Tableau 5 : Puissance thermique récupérée sur les ballons

	L1	L1bis
	Modification de l'existant	Nouvelle ligne
Puissance thermique récupérée sur les ballons	14 kW	100 kW

2.2 Synthèses des performances énergétiques attendues

2.2.1 Performance électrique

Une production d'électricité **multipliée par 2,4** grâce notamment aux performances énergétiques élevées de la ligne 1bis.

Une réduction de l'électricité consommée par tonne de déchets incinérée : de 108 à 88 kWh/t, soit une **réduction de 19%**.

2.2.2 Performances énergétiques

Efficacité énergétique au sens du Bref Incinération

- **Ligne 1**

Les travaux qui seront réalisés sur la ligne 1 ne modifient pas les puissances qui entrent dans la formule de calcul de l'efficacité énergétique : diagramme de combustion conservé, puissances chaudière et réchauffeur fumées SCR non impactées.

L'efficacité énergétique de la ligne 1 restera égale à 0,206.

- **Ligne 1 bis**

L'application de la formule de calcul conduit à une valeur de l'efficacité énergétique de 0,281, valeur supérieure à la valeur seuil de 0,270 pour les lignes neuves indiquée dans l'Arrêté Ministériel du 12 janvier 2021.

Rendement TGAP et performance « R1 »

La mise en service de la ligne 1bis en 2027 permet d'atteindre, dès 2028, des valeurs de rendement TGAP et de performance énergétique supérieures à 100%.

Pour rappel, les formules appliquées sont les suivantes :

$$R_{eTGAP} = FCC \times (\text{Énergie valorisée} - \text{Énergie consommée}) / \text{Énergie des déchets}$$

$$R_{eTGAP} = FCC \times ((2,6 Eep + 1,1 Ethp) - (2,6 Eea + 1,1 Etha + Eca)) / (2,3 Tinc)$$

Où :

- **FCC : facteur climatique** commun pour toutes les UVE France = 1,089.
- **Énergie valorisée (MWh)** = 2,6 x Énergie Électrique produite (Eep) + 1,1 x Énergie thermique produite (Ethp).
- **Énergie consommée (MWh)** = 2,6 x Énergie Électrique achetée (Eea) + 1,1 x Énergie thermique achetée (Etha) + Énergie combustible achetée et utilisée pour le fonctionnement des installations (Eca) : brûleurs four, DéNox, ... (mais hors combustible groupes électrogènes et engins).
- **Énergie des déchets (MWh)** = 2,3 x Tonnage incinéré.

$$Pe = FCC \times (\text{Énergie valorisée} - \text{Énergie consommée}) / (0,97 \times (\text{Énergie des déchets} + \text{Énergie thermique externe}))$$

$$Pe = FCC \times (Ep - Ei) / (0,97 (Ew + Ef))$$

Où :

- **FCC : facteur climatique** qui dépend du lieu d’implantation de l’installation et dont le mode de calcul est normé (calcul moyen sur 20 ans en fonction des Degrés Jour Unifiés). Pour Taden, l’application de la méthode de calcul conduit à FCC= 1,25.
- **Ep : Energie valorisée (MWh)** = 2,6 x Energie Electrique produite (Eep) + 1,1 x Energie thermique produite (Ethp).
- **Ei : Energie consommée (MWh)** = 2,6 x Energie Electrique achetée (Eea) + 1,1 x Energie thermique achetée (Etha) + Energie combustible achetée et utilisée pour le fonctionnement des installations (Eca) : brûleurs four, DéNox, ... (mais hors combustible groupes électrogènes et engins).
- **Énergie des déchets Ew** (MWh)= PCI x Tonnage incinéré.
- **Énergie thermique externe Ef** (MWh) = Energie combustible utilisée et contribuant à la production de vapeur (brûleur soutien essentiellement).

Option réseau de chaleur

Dans l’hypothèse de la création d’un Réseau de Chaleur Urbain, **l’UVE fournirait plus de 96,4% du besoin du réseau de chaleur**, grâce à la puissance de 10 MW des échangeurs qui seront mis en place.

Le soutirage de vapeur au niveau de la turbine induit une réduction de la puissance électrique produite par la turbine qui correspond à une perte de production de 203 kWh électrique par MWh thermique fourni au RCU.

Le rendement TGAP et la performance énergétique R1 de l’UVE seraient augmentés de 4 à 5%, La production électrique serait réduite de près de 5 000 MWh/an pour une fourniture au RCU de 24 700 MWh/an.

CONSULTING

**Agence Normandie Nord Picardie
Immeuble Le Trident
18 rue Henri Rivière
76 000 ROUEN
Tel. : + 33 2 32 08 18 80
www.suez.com/fr/consulting-conseil-et-ingenierie**

