

18. Autres sujets en énergie

18.8 – L'efficacité énergétique industrielle: observations et leçons apprises

Marc Désaulniers, ing., CEM

Énergie Valero inc.

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Groupe t3e, Département de génie mécanique



Marc Désaulniers, ing., CEM

- Formation
 - Bac. génie chimique, U. de Sherbrooke, 1994
 - Maîtrise en pâtes et papiers, UQTR, 2002
 - CEM (Certified Energy Manager), AQME, 2010
- Spécialité
 - Efficacité énergétique
 - Papier tissu

Marc Désaulniers, ing., CEM

- Parcours professionnels
 - Depuis 2012
 - Énergie Valero inc., coordonnateur énergie
 - 2009-2012
 - Produits Kruger, directeur conservation de l'énergie
 - 1999-2009
 - Produit Kruger, gérant technologies papetières
 - 1995-1999
 - Cascades, Centre de R&D, chargé de projet

Plan de la présentation

- Intro
- Énergie dans l'industrie québécoise
- Description d'une raffinerie
- « Autour du flambeau »
- Mythe ou réalité
- Conclusions

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Description d'une raffinerie
- « Autour du flambeau »
- Mythe ou réalité
- Conclusions

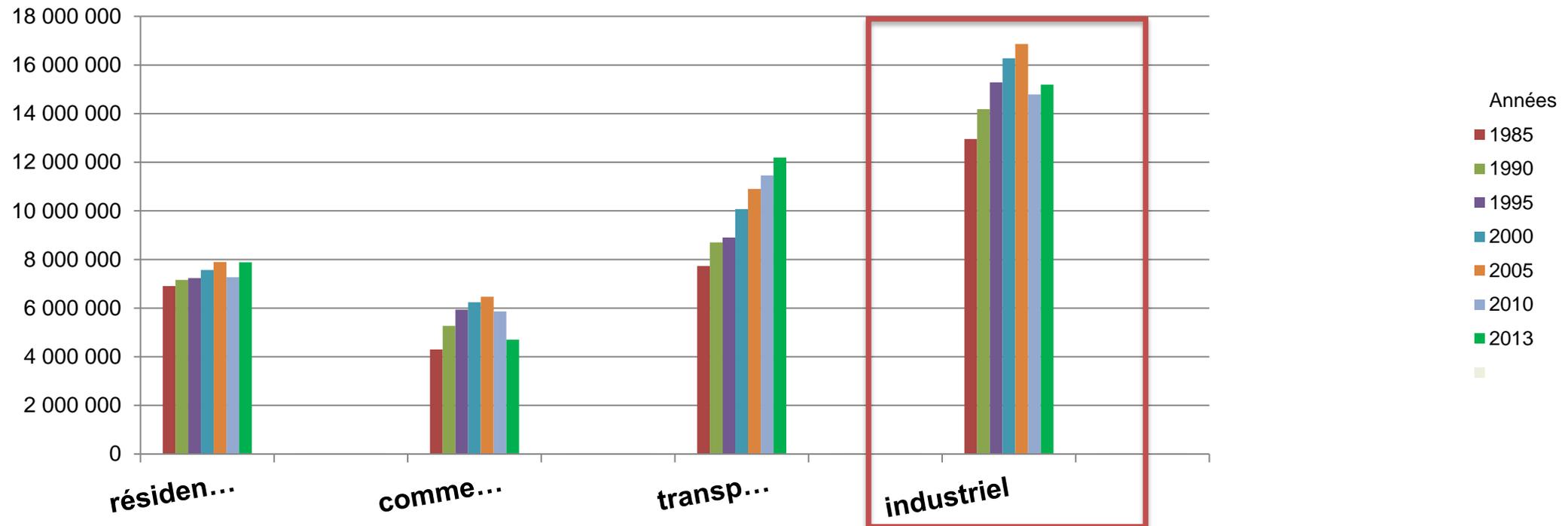
Introduction

- L'énergie la plus renouvelable, c'est celle qu'on n'utilise pas!



Introduction

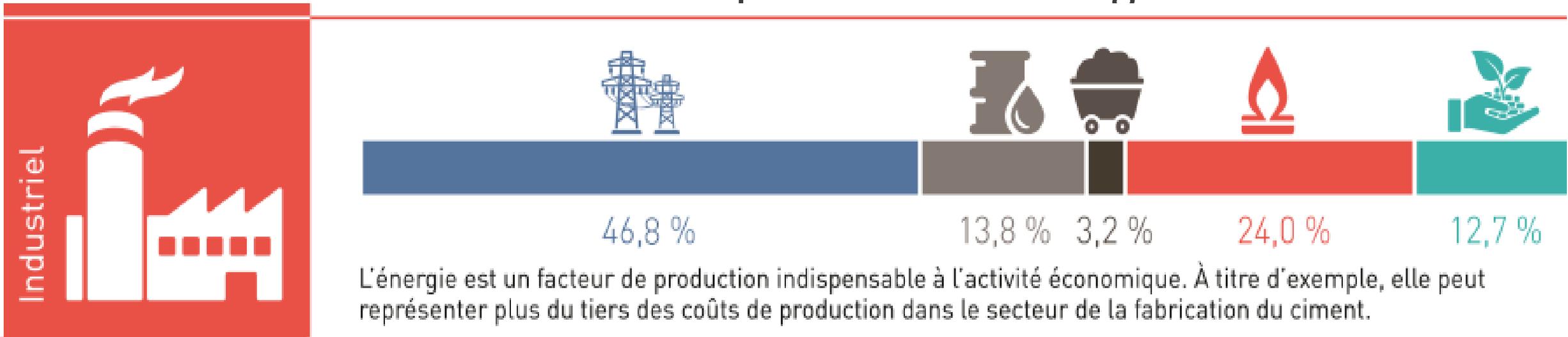
- Énergie par secteur au Québec [tep]_(Tonne métrique équivalent-pétrole)
 - En 2013, la consommation du secteur industriel québécois fut de **15 Mtep**



(1) D'après: Ministère Énergie et Ressources Naturelles du Québec, <http://mern.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-consommation-secteur.jsp> ; Tableau 7.1.3.1 "La consommation finale d'énergie par secteur (1985-2013)"

Introduction

- Consommation industrielle par forme d'énergie



LÉGENDE



Électricité



Biomasse



Énergies décentralisées
(par exemple, géothermie et solaire)



Produits pétroliers



Charbon



Gaz naturel

Titre : La consommation d'énergie au Québec par forme (2013)

Source : Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2016

Introduction

- Quels sont les principaux incitatifs
 - Réduire les coûts
 - \$/unité de production
 - GES
 - SPEDE: Système de Plafonnement...
 - Actuellement ~17\$/TMC02e
 - Augmenter les ventes
 - Image (ex. banque)
 - Marketing (ex. papier tissu)
 - Stabilité financière
 - Plaît aux actionnaires, améliore la valeur
 - Éliminer un goulot d'étranglement



Objectifs

- Présenter sommairement le fonctionnement d'une raffinerie;
- Discuter spécifiquement du flambeau (torche);
- Présenter quelques éléments d'efficacité énergétique à la raffinerie Jean-Gaulin.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- ***Description d'une raffinerie***
- « Autour du flambeau »
- Mythe ou réalité
- Conclusions

Description d'une raffinerie



Source: <https://www.energievalero.ca/fr-ca/Operations/JeanGaulinRefinery>

Description d'une raffinerie

- Raffineries simples
 - Les premières raffineries n'étaient formées que d'une seule unité : la distillation atmosphérique.
 - Cette pratique n'est plus viable économiquement et les raffineries les plus simples comprennent en outre, des unités annexes de désulfuration et de reformage, ainsi qu'une distillation sous vide.
 - Une raffinerie ne comprenant que ces unités est qualifiée *d'hydroskimming Refinery* en anglais.
 - Il n'en existe pratiquement plus.

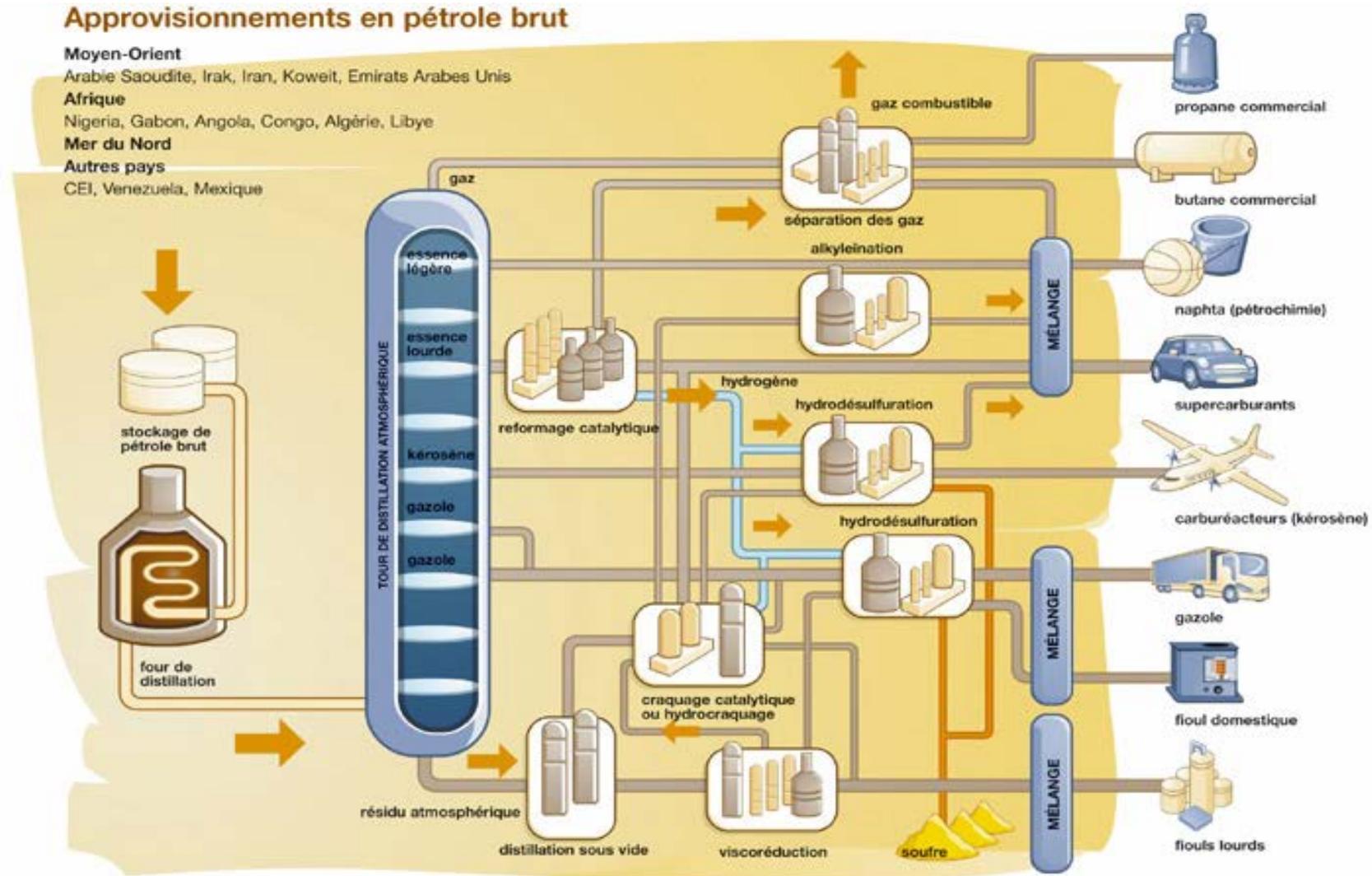
Description d'une raffinerie

- Raffineries modernes
 - Les raffineries modernes comprennent en effet en plus des unités précédentes, des unités de conversion (craquage) qui permettent de transformer les fractions pétrolières les plus lourdes dont le prix est de moins en moins attractif et qui ne sont utilisables que dans des installations industrielles spécifiques, en fractions plus légères pouvant constituer un carburant ordinaire (diesel, kérosène ou essence).

Description d'une raffinerie

- Raffineries modernes
 - Les raffineries complexes peuvent donc avoir, en plus des unités mentionnées, d'autres unités dont les plus communes sont :
 - le craquage catalytique ou (FCC Fluid Catalytic Cracking),
 - le viscoréducteur (visbreaking),
 - l'isomérisation,
 - la polymérisation,
 - le craquage à la vapeur ou steam cracking,
 - le soufflage de bitume,
 - la cokéfaction (coking).

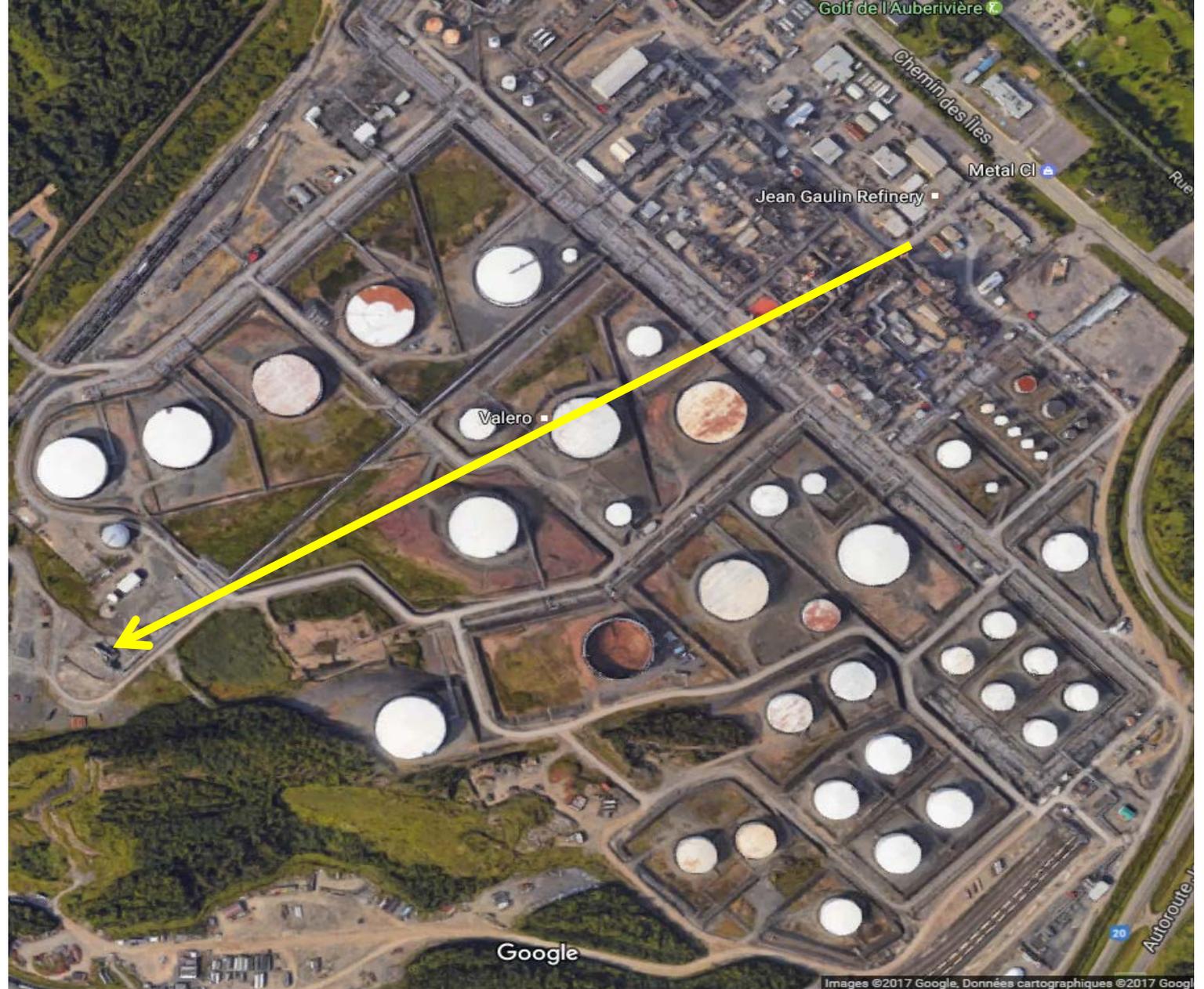
Description d'une raffinerie



Source: <http://energie.petrole.free.fr/images/tpe/raffinage.png>

Raffinerie Valero

- Vue aérienne de la raffinerie Jean Gaulin de Valero à Levis
 - Une distance \approx 1km (à vol d'oiseau) sépare les unités de production de la torche

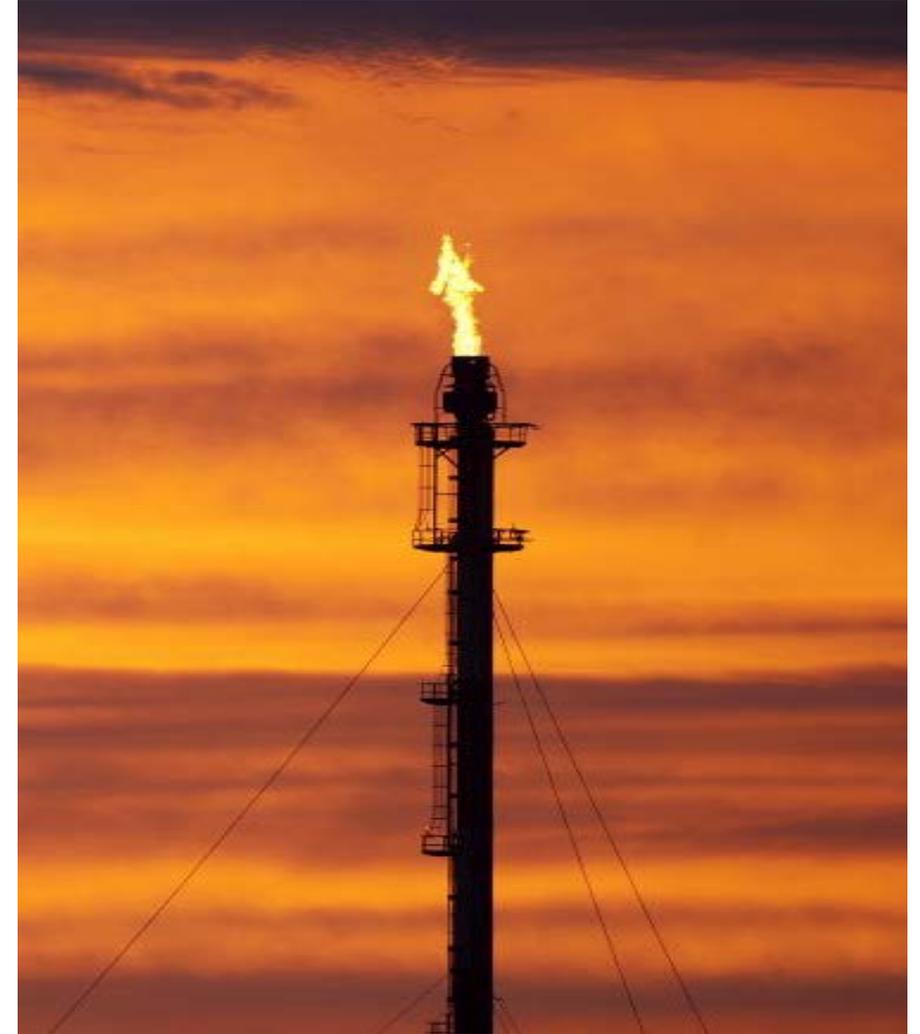


Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Description d'une raffinerie
- **« *Autour du flambeau* »**
- Mythe ou réalité
- Conclusions

Autour du flambeau

- Qui dit raffinerie, dit torchère.
Mais pourquoi y'a t-il une torchère?
 - Sécurité
 - Toute perturbation peut entraîner une hausse de pression entraînant un dégazage via les soupapes de sûreté.
 - Des conduites acheminent la perturbation vers la torchère qui brûle les hydrocarbures (HC).
 - Spectacle
 - Ça n'a rien à voir avec un spectacle!



Autour du flambeau

- **Fonctionnement de la torchère**
 - Les gaz/liquides arrivent dans un **réservoir de séparation**. Les HC liquides sont retournés vers le début du procédé.
 - Le gaz barbotte ensuite dans un **scellé d'eau** servant à éviter l'introduction d'O₂ à rebours dans le réseau de gaz de torche.
 - Le gaz passe ensuite dans la **cheminée** de la torche. Un **gaz de purge** est ajouté pour s'assurer d'une vitesse suffisante.
 - Au bout de la torche, un **pilote** au gaz naturel, par exemple, sert à maintenir la flamme allumée en tout temps.
 - De la **vapeur** d'atomisation est ajoutée pour aider à une bonne combustion pour éviter les imbrûlés ou de la fumée noire.

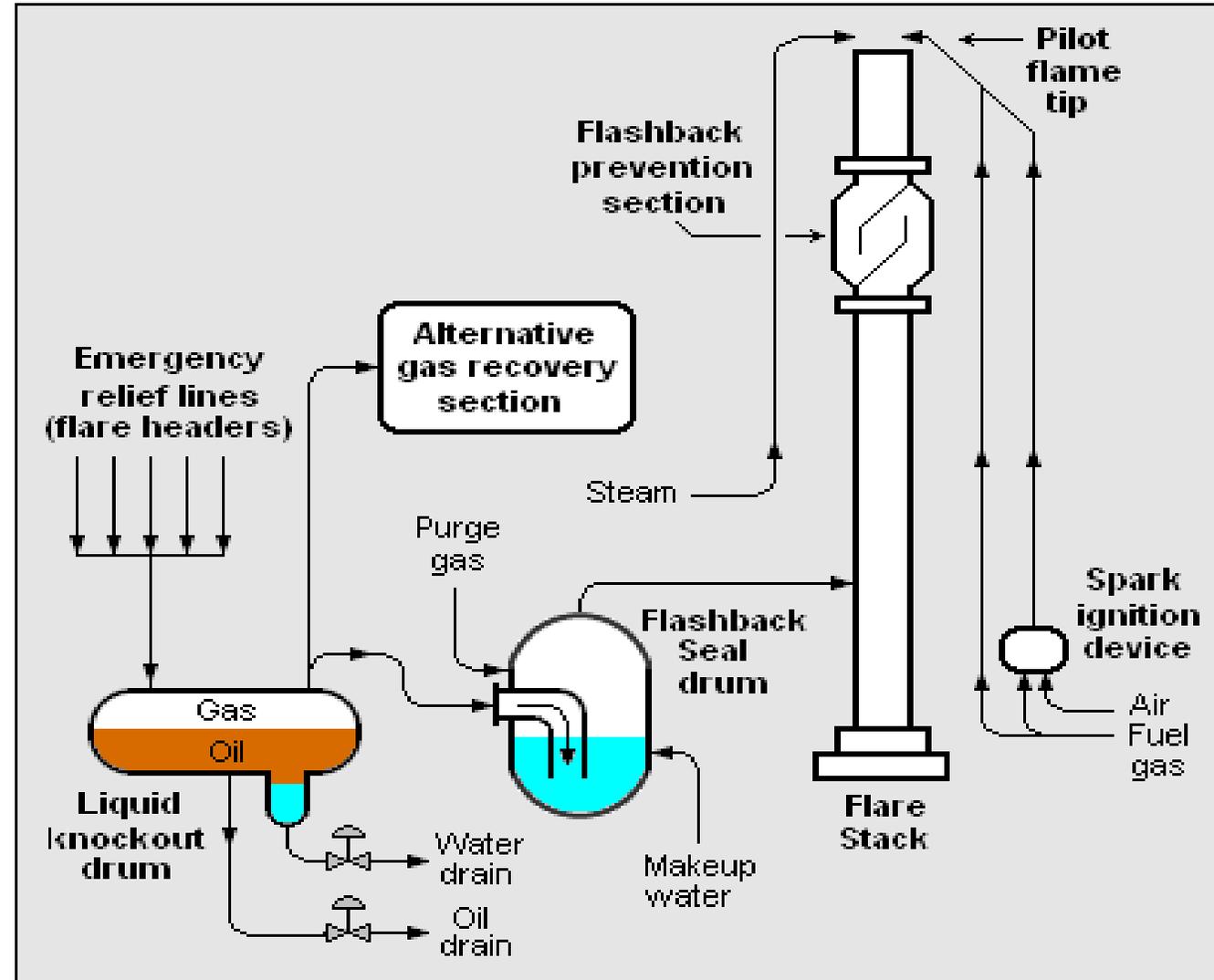


Image: torchère – Wikipédia 'Flare stack'

Autour du flambeau

- Une histoire de conservation d'énergie autour du flambeau
 1. “Peut-on réduire la vapeur à la torche?”
 2. Ensuite, des vérifications rigoureuses
 3. Un plan d'implantation
 4. Puis, des tests
 5. Un changement de paradigme
 6. Comment maintenir les gains?
 7. Et on recommence!

Autour du flambeau

- Leçons apprises autour du flambeau

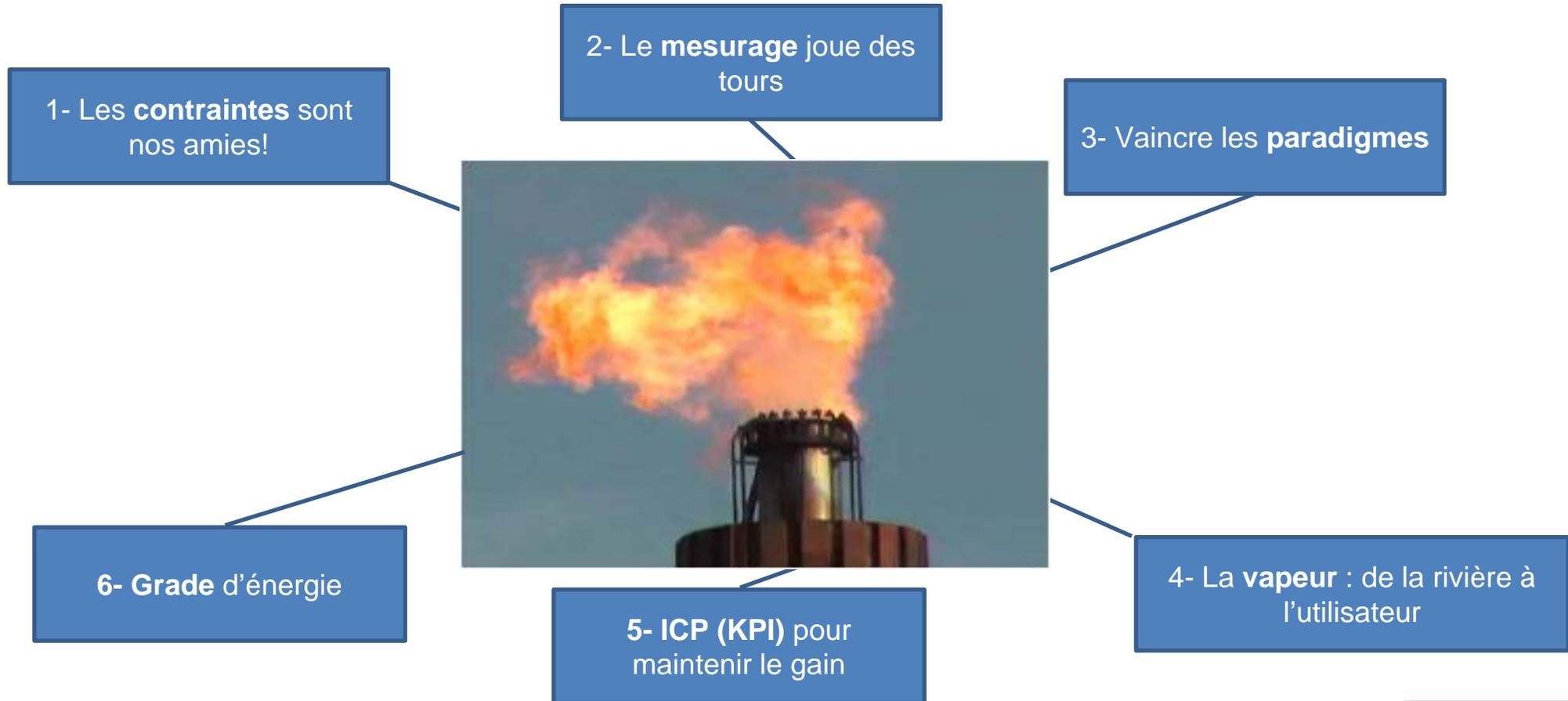


Image: courtoisie de l'EPA (Environmental Protection Agency, États-Unis)

Autour du flambeau

1. Les **contraintes** sont nos amies:

- Une contrainte est une limite d'un système
 - Ex: capacité maximum de production de vapeur
 - Limite de pompage d'eau d'alimentation /de rivière
- On doit composer avec:
 - Si on ajoute une demande, on doit réduire ailleurs
 - Devient un puissant levier pour l'efficacité énergétique
 - Bien plus payant d'économiser de l'énergie que:
 - de rajouter de la capacité de production;
 - de modifier le système de pompage.

Leçons: Une contrainte favorisera l'efficacité énergétique pour éviter des dépenses en capital. Il est bon de faire valoir cet argument auprès de la direction.

Autour du flambeau

2. Le **mesurage** peut jouer des tours:

– Instrument non adapté

- Débitmètre externe vs interne dans la conduite
- Mauvaise estimation de départ
 - Surestimation de la consommation par facteur 4 à 10 !
- Projet d'amélioration d'efficacité = **ANNULÉ !**
 - Instrument hors de sa plage suite à la fermeture d'une partie d'usine
- Configuration erroné
 - À mené à une surconsommation de plusieurs tonnes/h de vapeur;
 - À mené à un surestimation des tonnes de GES.

Leçons: Valider un débit à mesurer d'une manière indépendante (bilan, fiches techniques). Conserver un œil critique sur chaque instrument et sa configuration.

Autour du flambeau



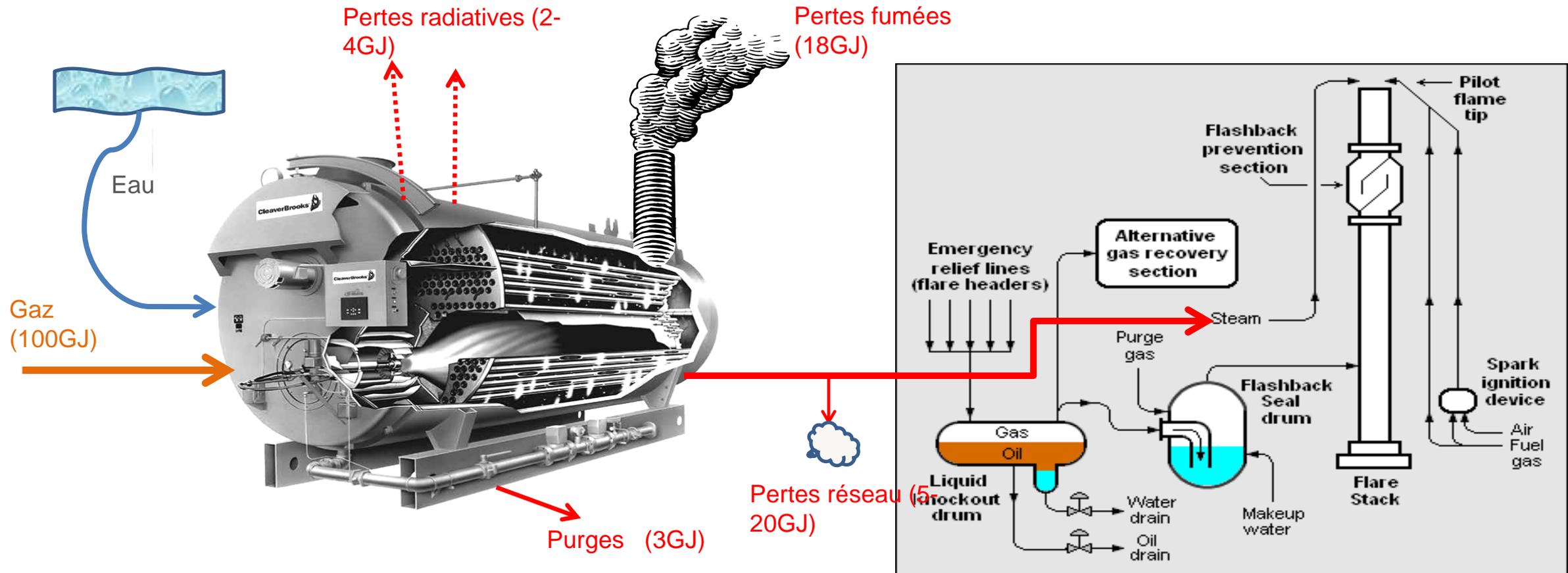
3. Vaincre les **paradigmes**

- Un paradigme est un ensemble de croyances qui donne un modèle relativement cohérent:
 - On s'est habitué à faire fonctionner un équipement de « telle » façon depuis le début;
 - Cette façon de faire comportait à la base une erreur de mesure;
 - On s'est bâti, mentalement, un modèle d'opérations qui comportait cette erreur de mesure (débit, aspect visuel, etc.)
- Il faut vaincre/remplacer le modèle erroné (le paradigme)
 - Nouveau modèle = plus exact, plus proche des recommandations du fabricant;
 - Le nouveau modèle est plus efficace, cohérent et prédictible.

Leçons: Vaincre un paradigme demande un plan incluant rigueur, persuasion et temps.

Autour du flambeau

4. La vapeur: de la rivière au point d'utilisation



Les valeurs des diverses pertes sont approximatives et peuvent varier davantage. Réf RNCAN: <http://www.rncan.gc.ca/energie/publications/efficacite/industrie/peeic/6700>
Images: bouilloire courtoisie de Cleaver-Brooks (bouilloire à feu dans les tubes) / torchère – Wikipédia 'Flare stack'

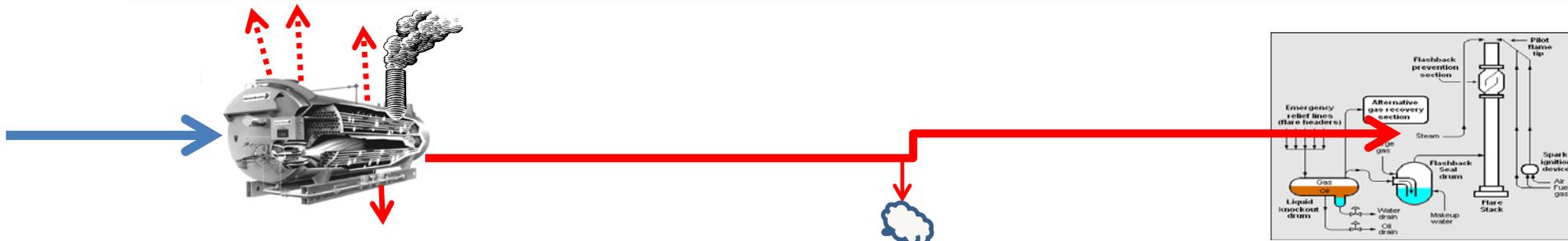
Autour du flambeau

4. La vapeur: de la rivière au point d'utilisation

Leçon: Considérer toutes les sources de pertes d'énergie fait une différence dans le calcul de taux de rendement d'un projet d'efficacité énergétique (+20-50%).

Leçon: Minimiser les pertes grâce à:

- un économiseur sur les fumées
- de l'isolation
- des trappes à vapeur bien dimensionnées et bien suivies
- un suivi optimal des purges
- récupération de la vapeur de détente des purges, etc.



Images: bouilloire courtoisie de Cleaver-Brooks (bouilloire à feu dans les tubes) / torchère – Wikipédia 'Flare stack'

Autour du flambeau

5. Indicateurs **Clés** de performance (KPI) = maintiens des gains

– Qu'est-ce qu'un **KPI/ICP** ?

- Un paramètre significatif
 - Impact sur l'efficacité;
 - Veut dire quelque chose pour l'efficacité.
- Pour lequel une cible est déterminée
 - Cible réaliste avec une marge de tolérance;
 - On ne veut pas que ça alarme pour rien.
- Qui est suivi par du personnel
 - Il appartient aux Opérations de suivre et atteindre les cibles;
 - Le support technique aux opérations doit suivre et ajuster les cibles au besoin.

Autour du flambeau

5. Indicateurs **Clés** de performance (KPI) = maintiens des gains

– Qu'est-ce qu'un **KPI/ICP** ?

- À une fréquence appropriée
 - Dépend de la dynamique du procédé; ex. 1 à 2 fois par jour
 - Prend la forme soit d'une réunion, d'un rapport transmis, de simples communications verbales
 - Il existe aussi des fréquences hebdo, mensuelles, annuelles qui suivent des indicateurs plus globaux, mais qui ont la même fonction
- Sur lequel on a le pouvoir d'agir
 - Les opérations connaissent la façon de corriger une déviation
 - ... et ça fait partie de leur tâches

Autour du flambeau

5. Indicateurs **Clés** de performance (KPI) = maintiens des gains

Leçon: Un bon système d'ICP /KPI se construit avec soin (choix des ICP et des cibles) et inclut une boucle de rétroaction impliquant les opérations, la supervision, le technique.

Leçon: Avec un système d'ICP /KPI , il devient facile d'ajouter de nouveaux paramètres qui augmentent encore l'efficacité.

Leçon: L'énergie peut être greffée à un système existant d'ICP /KPI. C'est probablement la meilleure chose à faire plutôt qu'un système dédié seulement à l'énergie.

Autour du flambeau

6. Grade d'énergie

– « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* » - Lavoisier



Source: Wikipedia

Autour du flambeau

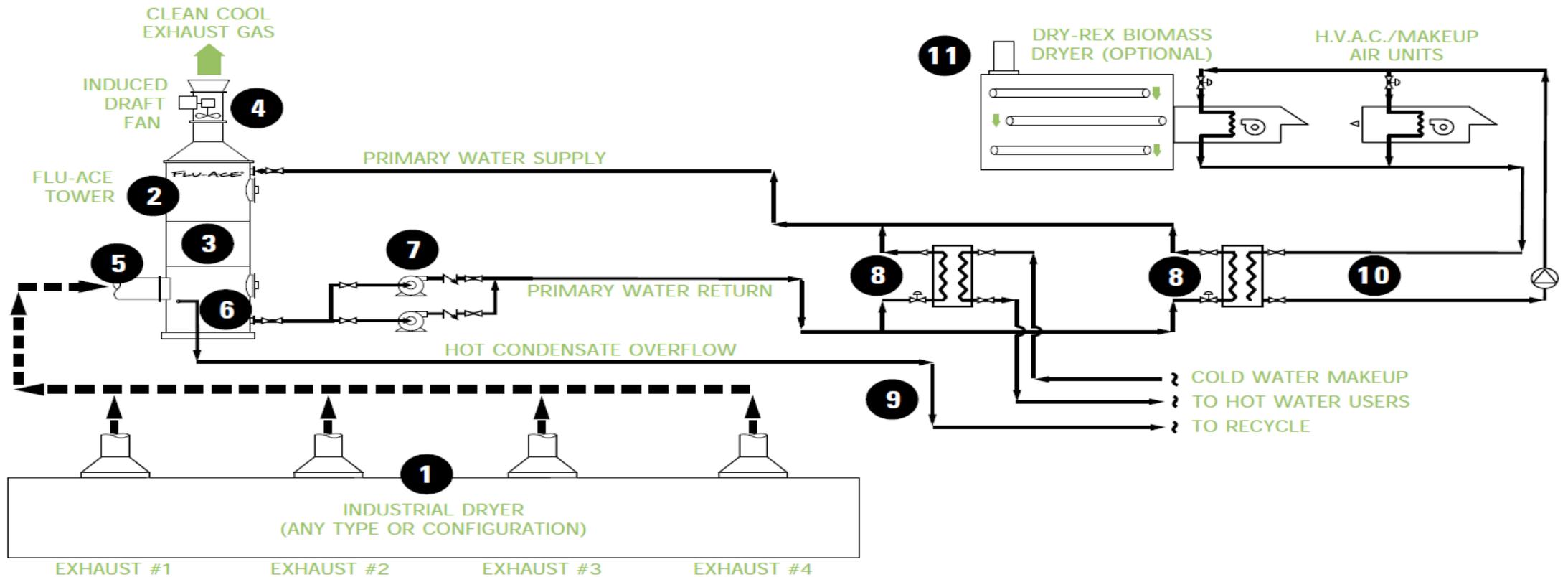
6. Grade d'énergie

- On n'utilise qu'une partie de l'énergie de départ
 - Plusieurs facteurs limitent l'utilisation complète:
 - basse température;
 - difficulté technique;
 - pour quelle application;
 - synchronisation;
 - aspect financier;
 - etc.
 - Voici un bel exemple d'un taux d'utilisation très élevé

Autour du flambeau

6. Grade d'énergie

- Récupération d'énergie à bas grade pour du chauffage



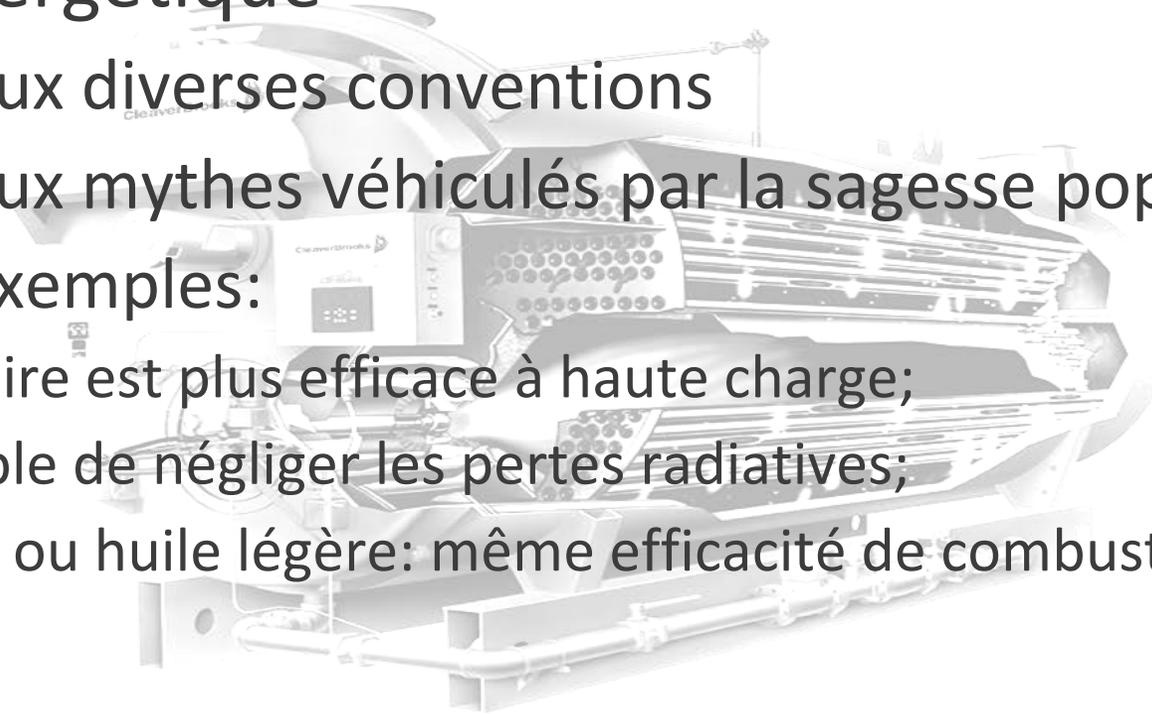
Source: schéma de procédé d'un absorbeur à contact direct. Avec la permission de Thermal Energy Inc.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Description d'une raffinerie
- « Autour du flambeau »
- ***Mythe ou réalité***
- Conclusions

Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique
 - Attention aux diverses conventions
 - Attention aux mythes véhiculés par la sagesse populaire!
 - Quelques exemples:
 - une bouilloire est plus efficace à haute charge;
 - il est possible de négliger les pertes radiatives;
 - gaz naturel ou huile légère: même efficacité de combustion.

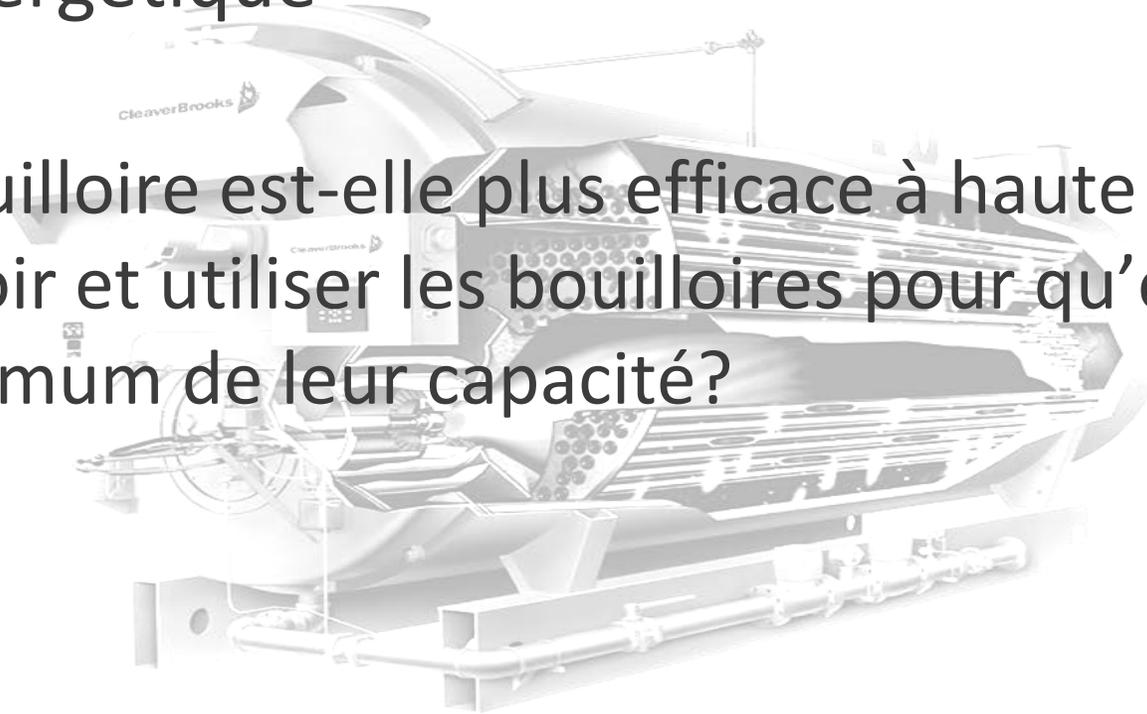


Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique

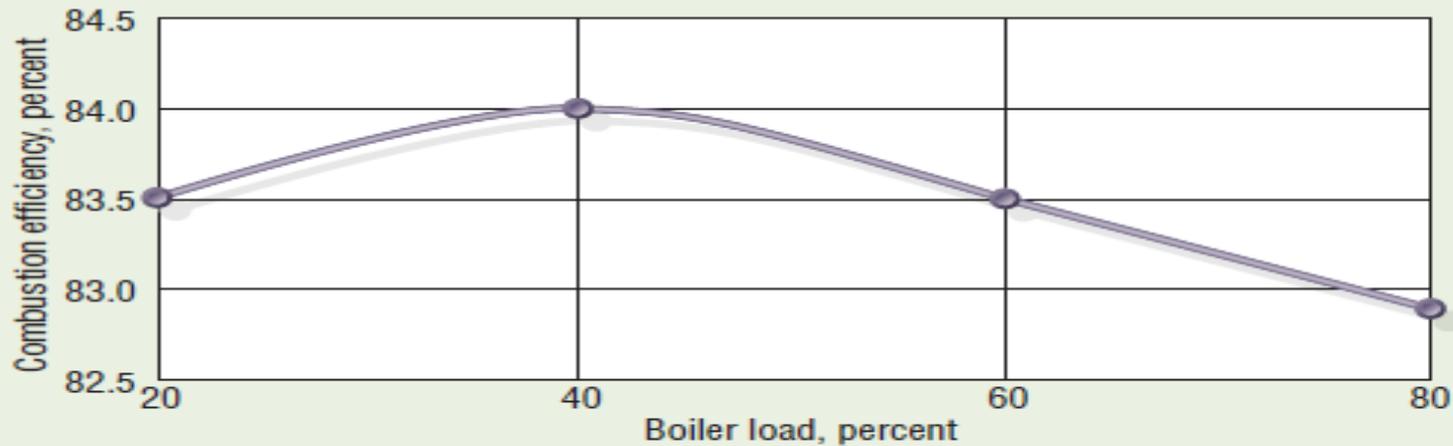
- Question

- Une bouilloire est-elle plus efficace à haute charge ou faut-il concevoir et utiliser les bouilloires pour qu'elles fonctionnent au maximum de leur capacité?



Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique: **bouilloire plus efficace à haute charge?**



Boiler Loading

20 percent

40 percent

60 percent

80 percent

Boiler Efficiency

83.5 percent

84 percent

83.5 percent

82.9 percent

Stack Temp.

312 F

326 F

350 F

373 F

Excess Air

36 percent

18 percent

15 percent

14 percent

Dans certains cas, avec une charge élevée, la température des fumées devient plus élevée qu'à basses charges ce qui fait en sorte que **la perte de chaleur** via les fumées est plus importante et le rendement diminue.

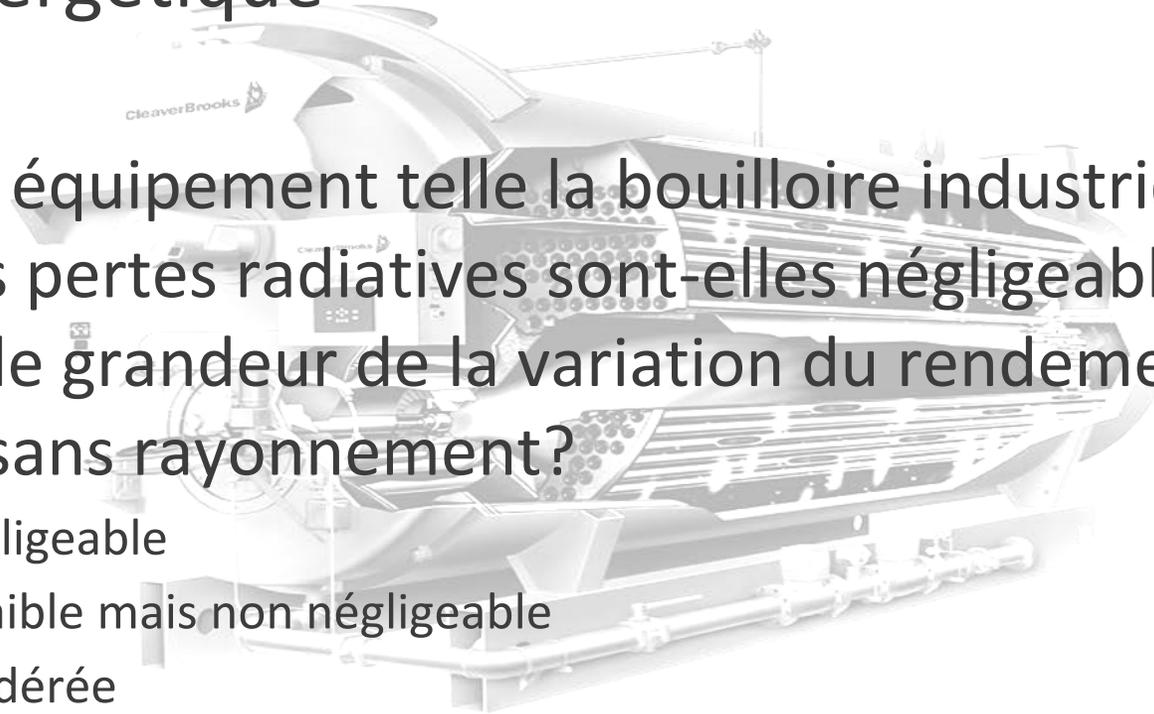
Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique

- **Question**

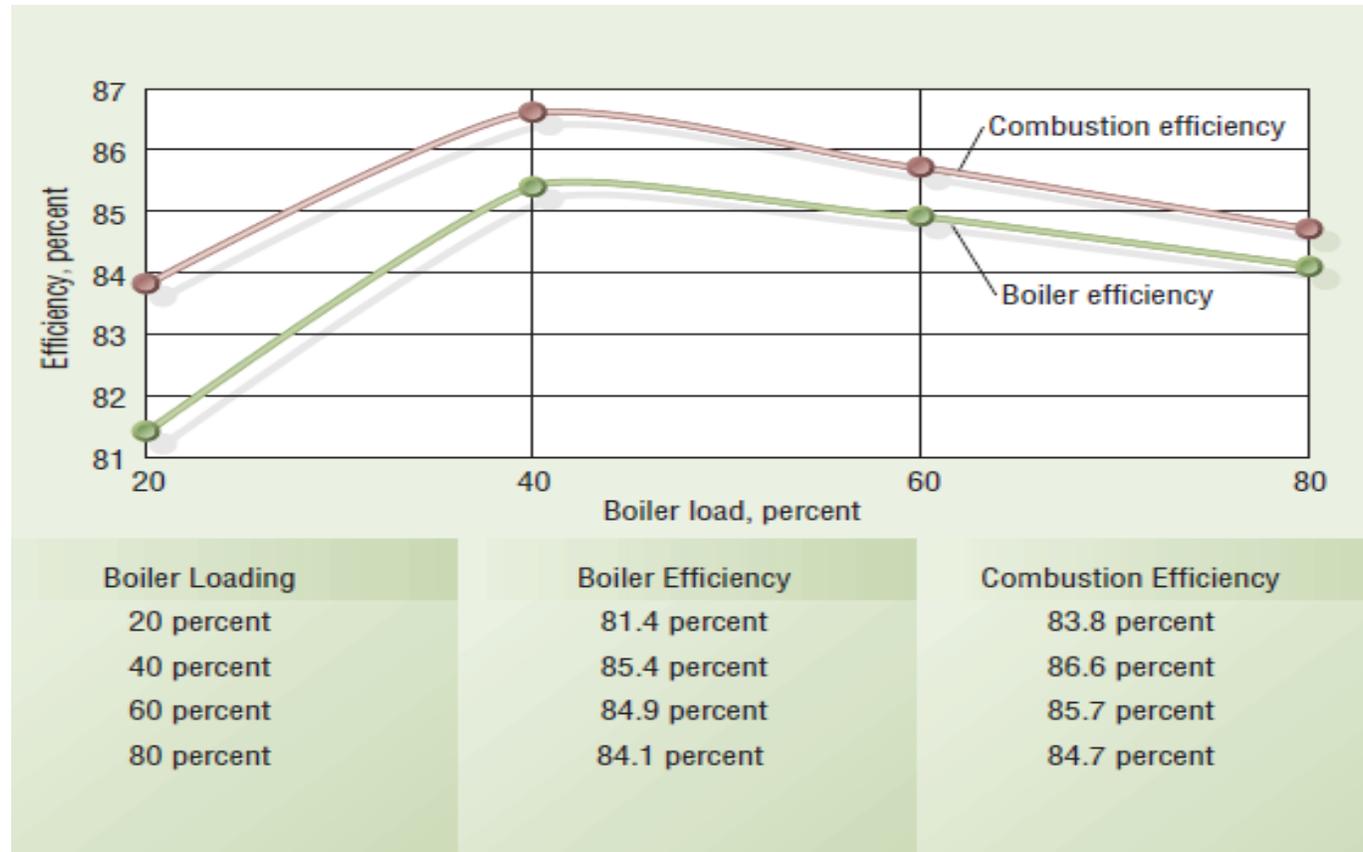
- Dans un équipement telle la bouilloire industrielle jusqu'à quel point les pertes radiatives sont-elles négligeables? Quel est l'ordre de grandeur de la variation du rendement d'une bouilloire avec et sans rayonnement?

- 0% négligeable
 - 1-4% faible mais non négligeable
 - 5% modérée
 - 10% très élevés
 - >15% l'effet du rayonnement est prépondérant



Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique: faut-il négliger les pertes radiatives?



Les pertes radiatives font varier le rendement de 1 à 2% (et peut atteindre 4%)

FIGURE 2. Radiation loss effects on efficiency. A boiler constantly radiates heat but the effect on efficiency varies with boiler load.

Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique

- **Question**

- Une bouilloire est plus efficace à l'huile ou au gaz naturel?

- Plus efficace à l'huile
 - Plus efficace au gaz naturel

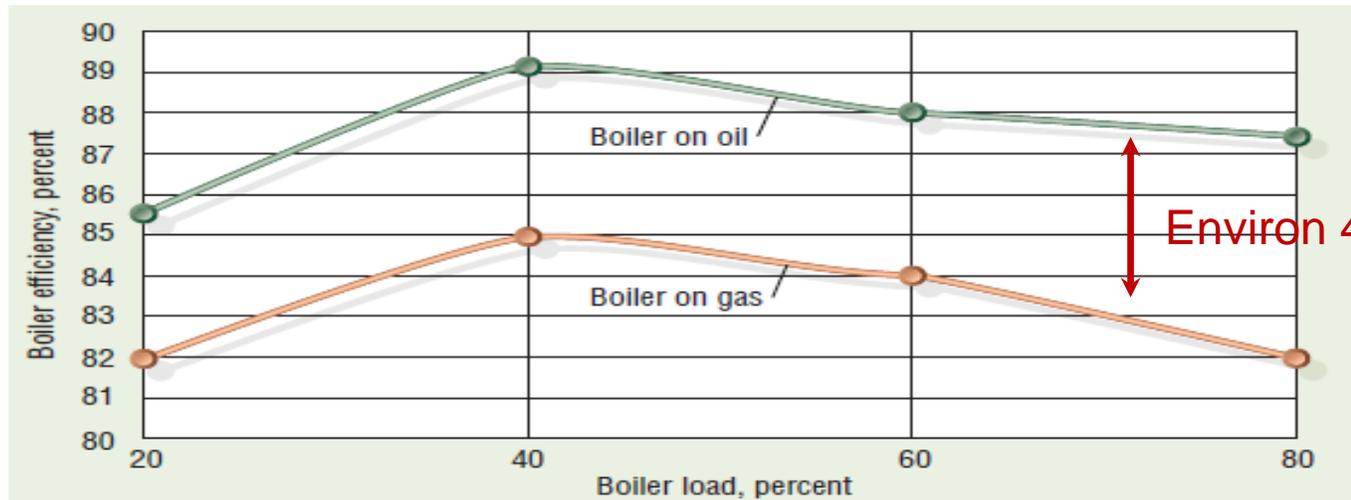
- Quel est l'ordre de grandeur de la différence des rendements entre l'une et l'autre?

- 0,5% faible
 - 1-2% important
 - 3-4% élevé
 - >5% très élevé



Mythe ou réalité

- Efficacité énergétique: gaz naturel ou huile, pas la même efficacité!



Une bouilloire à l'huile est plus efficace

Boiler Loading	Burners on natural gas	Burners individually
20 percent	80% excess air, 225 F exit temp	125% excess air, 220 F exit temp
40 percent	60% excess air, 245 F exit temp	65% excess air, 260 F exit temp
60 percent	55% excess air, 270 F exit temp	65% excess air, 295 F exit temp
80 percent	60% excess air, 310 F exit temp	70% excess air, 305 F exit temp

FIGURE 4. Fuel selection effect on efficiency. Natural gas and fuel oil have different effects on efficiency.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Description d'une raffinerie
- « Autour du flambeau »
- Mythe ou réalité
- ***Conclusions***

Conclusions

- En industrie, l'efficacité énergétique est un moyen et non une fin:
 - Réduire les coûts
 - Contourner des contraintes/éviter des investissements
 - Plaire au client
- Un ensemble de mesures permettent d'y parvenir
 - Projets, optimisation, bonnes pratiques, équipement approprié et bien dimensionné, etc.
- Des comportements contribuent à la maintenir
 - Rigueur, établissement de cibles raisonnables, suivi discipliné, présence d'un représentant de l'énergie.

Références

<http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-importance-depense.jsp>

(données 2013 sont les plus récentes en janvier 2017.)

Prix Gaz Métro: <http://www.grandeentreprise.gazmetro.com/prix-du-gaz/evolution-prix-du-gaz.aspx?culture=fr-ca>

<http://www.rncan.gc.ca/energie/publications/efficacite/industrie/peeic/6700>

Glenn SHOWERS PE, Boiler and burner systems, “Boiler Operation Efficiency – Insights and tips”, HPAC Engineering, Nov. 2002

<http://www.rncan.gc.ca/energie/publications/efficacite/batiments/5932>

Réf de Babcock Wanson, fabricant: http://www.babcock-wanson.fr/produits_chaudières_economiseurs.aspx)

Site web de Thermal Energy Inc., http://www.thermalenergy.com/wp-content/uploads/2010/07/TEI-FLU_ACE-Dryer.pdf

Activité à réaliser hors-classe

- Repérez les programmes d'incitatifs dans les pages web de:
 - CanmetÉNERGIE
 - <http://www.nrcan.gc.ca/energie/bureaux-labos/canmet/varennnes/5762>
 - RNCAN (Efficacité énergétique, industrie)
 - <http://www.nrcan.gc.ca/energie/efficacite/industrie/10741>
 - Guide sur réseaux vapeur:
http://www.nrcan.gc.ca/sites/oe.nrcan.gc.ca/files/pdf/commerciaux/motdepasse/telecharger/SGE_08_reseaux_vapeurs_et_de_condensat.pdf
 - Hydro-Québec (Efficacité énergétique)
 - <http://www.hydroquebec.com/affaires/efficacite-energetique/>
 - TÉQ / MERN / BEIE (**Programme ÉcoPerformance**)
 - <http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/clientele-affaires/ecoperformance/>

Documentation à lire

- Références sur le site du cours ou directement accessibles sur le web.
 - Glenn SHOWERS PE, Boiler and burner systems, “Boiler Operation Efficiency – Insights and tips”, HPAC Engineering, Nov. 2002.

(adresse internet:

https://ena.etsmtl.ca/pluginfile.php/169568/mod_resource/content/2/2002_Boiler%20Operation%20Efficiency%20-%20Operations%20and%20Tips.pdf)



Merci de votre attention !

Période de questions

