

Travail de fin d'études et stage[BR]- Travail de fin d'études : Energetic optimisation of the production system of vetiver essential oil of an haitian industry - Modelling, analyse and comparison of different configurations[BR]- Stage d'insertion professionnelle

Auteur : Heneaux, Camille

Promoteur(s) : Quoilin, Sylvain

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil électromécanicien, à finalité spécialisée en énergétique

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/16344>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

PRODUCTION D'HUILE ESSENTIELLE DE VETIVER : COMPARATIF INSTALLATION EXISTANTE – INSTALLATION PROJETEE (Principe : recompression mécanique de la vapeur)

(juillet 2020 ...Francis Van Massenhove)

1° Installation existante

L'extraction de l'huile essentielle hors des racines de vétiver est un procédé assez long et coûteux en énergie.

Il consomme également beaucoup d'eau. Il y a donc nécessité d'installer les unités actuelles de production d'huile essentielle à proximité d'une source importante d'eau de refroidissement.

Une installation haïtienne de traitement de racines de vétiver comprend plusieurs grandes cuves cylindriques en acier de 6 à 10 m³ de contenance, placées verticalement, munies, chacune, d'un couvercle d'accès à son sommet.

Chacune à leur tour, ces cuves sont remplies manuellement de racines de vétiver tassées au fur et à mesure du remplissage.

Une fois le remplissage terminé, le couvercle de la cuve remplie est refermé, étanche.

Commence alors le traitement proprement dit des racines.

De la vapeur à température 105°...110°, produite par une « grosse » chaudière à vapeur dite « à tubes de fumées », est introduite par le bas de la cuve et forcée à travers les racines tassées. En montant à travers les racines, cette vapeur en arrache des quantités infimes d'huile essentielle par rapport au débit de vapeur.

Cette vapeur, chargée de son huile essentielle, elle-même sous forme de vapeur d'huile, s'échappe de la cuve par une tuyauterie branchée à son sommet.

Dans les installations actuelles d'Haïti, cette tuyauterie de vapeur aboutit dans un échangeur de chaleur appelé « condenseur », où cette vapeur se condense du fait que, dans ce condenseur, de l'eau de refroidissement circule à l'extérieur de la tuyauterie de vapeur précitée obligeant ainsi la vapeur à se condenser¹.

Le débit d'eau de refroidissement consommé, pour dissiper toutes ces calories, est très important.

A la sortie de l'échangeur-condenseur, l'eau liquide issue de la condensation de la vapeur et contenant aussi l'huile essentielle de vétiver, aboutit par gravité, dans des récipients à l'air libre appelés « vases-florentins », où l'huile, plus légère que l'eau, flotte à la surface de celle-ci. Ce qui permet de la séparer de l'eau par simple décantation.

¹ Les calories dont on parle ici sont les calories du chauffage de l'eau à transformer en vapeur au départ d'une eau à 25 ° il faut apporter 75 calories par gramme ou 75 kilocalorie par kilo d'eau ou litre d'eau pour obtenir de l'eau à 100°C mais aussi les calories du changement d'état, 540 calories par gramme d'eau ou 540 kilocalories (ou 2257 kJ) par litre d'eau qui sont nécessaire pour le changement d'état passer de l'état d'eau liquide à l'état d'eau sous forme de vapeur à 100 °C

Quelques chiffres :

Une installation de traitement de racines de vétiver fonctionne 24 heures sur 24.

Une telle installation comporte, par exemple :

*2 chaudières à vapeur à tubes de fumées ; combustible : fuel lourd ; consommation nominale de fuel de chaque chaudière : 65 US gallons/heure [$\sim 245 \text{ l} / (\text{h} \times \text{chaudières})$]. Une seule chaudière à la fois est en fonctionnement. L'autre est en réserve.

L'allure de la chaudière en fonctionnement n'étant pas 100%, la consommation de fuel moyenne réelle vaut : 57 à 60 US gallons/heure soient 1.368 à 1.440 US gallons de fuel / 24 heures (= 5.171 à 5.443 litres/24 heures).

*6 cuves de 6 m^3 pouvant contenir 1.200 kg de racines de vétiver. Trois cuves sont en cours de chargement-déchargement ; les trois autres sont parcourues par la vapeur. Une chauffe dure 6 à 8 heures mais l'usine tournant 24 heures sur 24, il y a donc 3 chauffes de 3 cuves en 24 heures, soit, en 24 heures, une quantité traitée Q de racines de vétiver valant :
 $Q=1.200 \times 9 = 10.800 \text{ kg}$ de racines/24 heures.

*3 échangeurs-condenseurs vapeur/eau.

Débit total d'eau liquide issue de la vapeur se condensant : de l'ordre de 750 US gallons/heure soient 2.800 litres/heure. Pour condenser ce débit de vapeur, il faut évacuer une énergie par heure valant, net : 1.800 KWh/h, soit en tenant compte des pertes, de l'ordre de 2.000 KWh/heure soient en 24 heures 48.000 KWh, soient en **valeur d'équivalent « fuel lourd » « perdus » :4.600 litres de fuel en 24 heures.**

C'est énorme.

Débit total d'eau de refroidissement nécessaire : de l'ordre de 50 à 60 m^3 /heure.

Ce débit d'eau est énorme lui aussi surtout s'il faut aller chercher cette eau dans la nappe phréatique par pompage.

*3 « Vases florentins » (= drums de contenance 200 litres environ)

*La production d'huile essentielle en 24 heures n'est pas connue exactement.

Certain producteur d'huile essentielle paye les racines "à la qualité" sans que les agriculteurs producteurs de racines aient accès aux données du rendement réel et se plaignent à tort ou à raison de ces pratiques.

La littérature spécialisée cite comme chiffres de rendements de production d'huile essentielle extraite des racines de vétiver, des valeurs de 0,3 % à 2 % du poids des racines, noté y, dans le tableau ci-après.

Dès lors, la production d'huile essentielle en 24 heures, soit (Q x y), en fonction du rendement y est donnée par le tableau qui suit :

Rendement de production y	Production théorique d'huile essentielle en 24 heures
(%)	Kg d'huile essentielle/24 heures
0,3	32,4
0,8	86,4
1	108

1,5	162
2	216

2° Les changements et améliorations que nous proposons

L'installation projetée est une installation à recompression mécanique de la vapeur.

Qu'est-ce à dire ?

Cette installation projetée utilise fondamentalement le même principe de traitement des racines de vétiver que celui décrit dans le paragraphe précédent c.-à-d. qu'on y fait passer également de la vapeur à travers les racines de vétiver placées, tassées, dans les mêmes cuves de traitement.

Autrement dit, les cuves existantes peuvent être utilisées.

Seules sont différentes, la méthode de production de vapeur et la manière de produire la condensation de cette vapeur en sortie des cuves précitées.

En fait, il n'est plus fait ici usage de chaudières à vapeur énergivores.

Principe de base. Premier gain : A l'inverse du procédé décrit au paragraphe précédent, la chaleur libérée lors de la condensation de la vapeur est récupérée et réinjectée dans le process, ce qui engendre un énorme gain puisque, à l'inverse du cas des installations existantes décrit ci-avant où l'énergie calorifique évacuée au moyen de l'eau de refroidissement est perdue, lors de la condensation de la vapeur, soit dans l'exemple cité ci-avant, une perte d'un équivalent 4.600 litres de fuel en 24 heures.

Il n'est plus, ici, question de produire de la vapeur pour la rejeter dans la nature.

Nous produisons de la vapeur et à chaque cycle nous récupérons les calories disponibles dans cette vapeur pour éviter les gaspillages inutiles d'énergie.

Comment réaliser ce principe ?

Pour l'expliquer, proposons d'abord quelques mots de vocabulaire technique.

Soient :

* « primaire » de l'échangeur-condenseur : la zone de l'échangeur où la vapeur sortant de (des) la cuve(s) se condense.

* « secondaire » de l'échangeur-condenseur : zone de l'échangeur, à température plus basse que la température du primaire, où se produit l'ébullition d'un débit d'eau approximativement équivalent en valeur massique au débit de la vapeur se condensant au primaire.

*Delta t (Δt)² de l'échangeur : différence de température entre le primaire et le secondaire de l'échangeur de chaleur.

² Le Delta T ou Δt est le différentiel de température entre deux corps

L'eau à 100°C contient 100 calories par gramme.

La vapeur à 100 °C contient 100 calories par gramme + les 540 calories du changement d'état ce qui donne un total de 640 calories par gramme .Cependant il n'y a pas de différence de t° entre les deux eaux dans des états différents il n'y donc pas d'échange de chaleur possible puisque pas de Δt .

L'astuce consiste donc à employer une technique permettant au moyen d'un compresseur ou d'une pompe à vide de créer un différentiel de température.

Dans ce cas-ci, c'est la différence entre la température de condensation au primaire et la température d'ébullition au secondaire.

Pour des raisons techniques, un échangeur est calculé sur une base de Δt valant au moins 10°C . Une valeur courante est 15°C

*chaleur latente de condensation d'un fluide : quantité de chaleur nécessaire pour faire se condenser 1 kg de vapeur de ce fluide.

Pour l'eau à 100°C , cette chaleur latente vaut 2257 kJ/Kg .

A température identique d'ébullition, la chaleur latente d'ébullition égale la chaleur latente de condensation.

A température d'ébullition plus basse (ex : 85°C), cette chaleur latente d'ébullition est un peu plus grande que celle à 100°C . Exemple : pour l'eau à 85°C , elle vaut 2.293 kJ/Kg

Second gain : consommation d'eau très fortement diminuée.

Avec les chiffres donnés au paragraphe précédent, le débit de vapeur se condensant y valant 2.800 Kg/heure , le débit d'eau liquide entrant au secondaire vaut à peu près aussi 2.800 Kg/heure , soient $2,8 \text{ m}^3/\text{h}$ soit un débit environ 20 fois plus petit que le débit d'eau de refroidissement cité dans le paragraphe précédent.

Donc, il n'y a plus besoin, comme dans les installations existantes, d'installer une unité de production d'huile de vétiver à proximité immédiate d'une source importante d'eau de refroidissement.

A noter qu'il y a encore moyen de diminuer ce débit en récupérant en partie l'eau des vases-florentins mais cela, c'est une étape ultérieure.

Comment réaliser ce principe de récupération de l'énergie évacuée lors de la condensation de la vapeur ?

Il « suffit » de créer un Δt entre le primaire et le secondaire en faisant bouillir l'eau du secondaire à une température plus basse que la température de condensation au primaire. Comment faire bouillir l'eau du secondaire à une température plus basse que la température de condensation de la vapeur au primaire ? Une pompe à vide –compresseur maintient la pression au secondaire à une valeur plus basse que la pression au primaire, où elle est proche de la pression atmosphérique ; ainsi, la température d'ébullition au secondaire y est plus basse que la température de condensation au primaire et l'échange de chaleur du primaire vers le secondaire est donc possible.

La pompe à vide-compresseur recomprime la vapeur d'eau extraite du secondaire et la remet à la pression adéquate pour l'insuffler dans la (les) cuve(s) de traitement des racines de vétiver.

Et le cycle se reproduit.....

Comme dans le paragraphe précédent, la vapeur condensée au primaire, chargée d'huile de vétiver, descend par gravité vers le(les) vase(s) florentin(s) où l'huile essentielle est décantée.

La pompe à vide est entraînée par un moteur électrique, à vitesse variable pour une question d'adaptation permanente de la température d'ébullition au secondaire de

Les spécialistes parlent en joule, nous, nous comprenons mieux les calories.

l'échangeur. Puisque l'énergie électrique stable et fiable n'est pas garantie en Haïti, il faut la produire sur place au moyen d'un groupe électrogène fonctionnant au gasoil, nuit et jour, puisque l'unité de production fonctionne 24 heures sur 24.

En plus de fournir l'énergie électrique pour la pompe à vide-compresseur, ce groupe électrogène fournit aussi l'énergie électrique nécessaire pour les accessoires : pompe, éclairage, systèmes de régulation, résistance électrique lors du démarrage de l'installation et sa mise en température,.....

De plus, une grande partie des calories contenues dans l'eau de refroidissement et dans les gaz d'échappement de ce groupe électrogène, est récupérée pour préchauffer l'eau du process et compenser les pertes de chaleur diverses.

Il est évident que ce groupe électrogène consomme du carburant mais nettement moins que l'équivalent carburant « perdu » au condenseur dans le process d'une installation existante.

3° Comparaison des consommations d'énergie et d'eau

Le rapport des coûts de consommation en carburant des 2 types prédécrits d'installation est de l'ordre de **3,5 à 4**, en faveur de l'installation à recompression de vapeur, avec utilisation, dans cette dernière installation, d'un groupe électrogène adapté au besoin du travail.

Comme expliqué plus avant, la consommation d'eau de refroidissement dans l'installation à recompression de vapeur est divisée par un facteur de **l'ordre de 20**, par rapport à l'installation équipée de chaudières à vapeur.

Notes très importantes.

Le contrôle par les normes s'est imposé en Haïti dans la filière vétiver ; il n'a souvent aucun autre sens que de se démarquer pour prendre des places de marché, affaiblir ou éliminer les concurrents.

Exemple: Installer des cuves en inox alors que des spécialistes nous ont affirmé que le passage de l'acier ordinaire à l'acier inox n'apporte rien aux usiniers parfumeurs qui ont déjà adapté leur process de séparation et purification des composants des huiles essentielles de vétiver aux réalités du terrain.

Autre bluff : le label Bio obtenu ou créé par certains alors qu'ils emploient comme combustible les racines de vétiver et que les ouvriers qui arrachent le vétiver brûlent les pailles et sont sous-payés.

C'est oublier que par manque d'alimentation des sols en matière organique, Haïti est devenu un quasi désert tropical dont les sols sont devenus hyper-fragiles à l'érosion et sans capacité d'accumuler l'eau des pluies, vu que l'absence de vie des sols conduit à la perte de perméabilité de ceux-ci.

Le travail des arracheurs de racines de vétiver est pénible et mal payé ; il est indispensable d'améliorer les revenus de ces derniers en sortant du rapport maître-esclave par une meilleure distribution des revenus de la filière sans quoi un jour elle disparaîtra faute de « sous-rétribués » disponibles.

Les économies d'énergie et d'eau doivent amener à de tels changements.

On n'est pas écolo quand on gaspille de l'énergie et des ressources telles que l'eau, qu'on épuise les sols et qu'on sous-payé ses employés directs ou indirects