

Le 26 septembre 2020-09-26 ; FVM

Schéma 3 ter corrigé ; (voir le schéma)

PROPOSITION DE NOUVELLES MODIFICATIONS AU SCHEMA 3 TER corrigé ET ,conséquence, MISE A JOUR DE LA DESCRIPTION ET DU FONCTIONNEMENT

Sommaire :

- *A. Améliorations par rapport au texte de janvier 2016
- *B. Données de base
- *C. Démarrage
- *D. Phase de fonctionnement stabilisé
- *E. Phase de préparation au traitement par vapeur de la cuve-alambic suivante
- *F Quelques chiffres-résumé

A Améliorations par rapport au texte de janvier 2016 et justifications de ces améliorations

1° La résistance de 10 KW en fonctionnement « stabilisé » : ON LA SUPPRIME

Cette résistance ne devrait pas se trouver dans la calandre de l'échangeur principal (4)-(5) car en amenant de la chaleur « de l'extérieur » (c-à-d autre que la chaleur provenant de la condensation de la vapeur au primaire de l'échangeur tubulaire) celle-ci entre en concurrence avec le transfert de la chaleur de cet échangeur tubulaire vers la calandre ; autrement dit, elle diminue la quantité de condensats évacués vers le vase florentin.

S'il fallait réellement cette résistance de 10 kW, il faudrait ajouter un nouvel échangeur à calandre, en parallèle sur l'échangeur principal (4)-(5), de dimensions plus petites que ce dernier. Ce second échangeur à calandre produirait de la vapeur qui serait envoyée directement vers les cuves de vétiver, sans passer donc par la pompe à vide (3) [PAV]

Mais, la puissance à récupérer sur les gaz d'échappement du moteur est suffisante pour produire la vapeur complémentaire à la vapeur produite par la PAV. **Par conséquent, il est INUTILE d'enclencher cette résistance électrique.**, en fonctionnement « stabilisé »

EN PLUS, conséquence intéressante: il y a **diminution de la consommation du groupe électrogène**. De combien ? En fonctionnant stabilisé la puissance électrique délivrée par le groupe électrogène valait, avant suppression de la résistance de 10 kW, $(60 + 10) = 70$ kW. La consommation sera donc diminuée de $10 \times 100/70 = 14 \%$. (55 kW étant la puissance du moteur de la PAV, auquel il faut ajouter la puissance consommée par les pompes, éclairage, etc. évaluée à 5 kW, soit au total 60 kW)

2° La puissance du groupe électrogène : peut-être le choisir moins puissant ?

Dans la version actuelle le groupe électrogène choisi est un groupe de 150 kVA (puissance de sortie 108...120 kW). Le taux de charge, avec la puissance de sortie précitée – 60 kW-, vaut : $(60 \times 100) / 120 = 50\%$. . Avec ce taux de charge, la consommation relative par rapport à la charge 100% est de 54 % (voir documentation du constructeur : consommation à 100% de charge : 29,7 l/h ; consommation à 50% de charge : 16,1 l/h, soient $16,1 / 29,7 = 54\%$ de 29,7 l/h), soient **4 % de trop**. Si le groupe électrogène était choisi de plus faible puissance, par exemple 110 kVA (puissance de sortie 88 kW), le taux de charge vaudrait $(60 \times 100 / 88) = 68\%$. Avec ce taux de charge plus élevé, la consommation relative par rapport à la charge 100% vaudrait 69,5% (voir documentation du constructeur : consommation à 100% de charge : 21,9 l/h ; consommation à 68% de charge : 15,2 l/h, soient $15,2 / 21,9 = 69,5\%$ de 21,9 l/h, soient **1,5 % de trop**. La diminution de consommation, en valeur relative, entre les 2 solutions (150kVA ou 110 kVA) est donc de $(16,1 - 15,2) \times 100 / 16,1 = 5,5\%$

3° Rappel : Démarrage du moteur de la pompe à vide (PAV) : démarrage par variation progressive de la fréquence.

Pour empêcher la pointe de courant au démarrage du moteur de la PAV et ainsi ne pas devoir surdimensionner inutilement le groupe électrogène, le moteur de la PAV est enclenché par l'intermédiaire du variateur de fréquence prévu dans le schéma de fonctionnement.

4° Choix de la pompe à vide (PAV) : autre choix possible qu'un compresseur à lobes.

Dans la liste de matériel proposée jusqu'à présent, la PAV est un compresseur à lobes. Il s'agit de choisir une machine à grand débit (dans le cas présent 850 Kg /h), compatible avec de la vapeur d'eau, et fournissant une différence de pression relativement faible (de l'ordre de 0,8...1 bar). Deux autres solutions sont possibles et **offrent vraisemblablement de meilleurs rendements énergétiques que le compresseur à lobes**. Il s'agit du compresseur turbo-axial et du **compresseur centrifuge mono ou multiétagé**. Il semblerait que le compresseur turbo-axial ne soit réservé qu'aux très grandes puissances. Par contre le compresseur centrifuge mono-ou multiétagé (ou « soufflante ») pourrait convenir. Problème à surveiller dans ce dernier cas : le risque de pompage qui survient dans les petits débits, par rapport à la plage de débits qu'offre une machine donnée, c-à-d lorsque la résistance du circuit extérieur au passage du fluide, est la plus forte.

Si la puissance du moteur d'un compresseur centrifuge est plus faible que la puissance du moteur d'un compresseur à lobes, le groupe électrogène pourrait aussi être choisi de plus faible puissance (par exemple 130 kVA ou 110 kVA au lieu de 150 kVA actuellement)

6° L'eau de refroidissement du moteur du groupe électrogène : en circuit fermé.

Dans le schéma « 3 ter corrigé » proposé, l'eau de refroidissement du moteur du groupe électrogène est constamment renouvelée. Ce n'est pas une bonne solution car la résistance à la corrosion interne du moteur n'est pas assurée et le constructeur ne donnera pas sa garantie pour un fonctionnement de la circulation de l'eau de refroidissement autre qu'en circuit fermé.

Par conséquent, à la sortie du circuit d'eau de refroidissement, il faut prévoir 2 échangeurs montés en parallèles ; d'abord le radiateur de refroidissement classique livré avec le moteur du groupe électrogène; ensuite ,à monter en parallèle sur ce dernier , un échangeur eau/eau qui servira à préchauffer l'eau alimentant la calandre de l'échangeur placé sur les gaz d'échappement du moteur du groupe électrogène .La puissance calorifique récupérable sur l'eau de refroidissement est largement suffisante pour préchauffer l'eau alimentant cette calandre. Cet échangeur eau/eau est à ajouter au « schéma 3ter corrigé ».

7°La phase de premier démarrage et de première mise à température : au schéma, SUPPRESSION DE LA VANNE 3 VOIES [n° (17°)]

Rappel : Cette phase de démarrage ne se produit qu'une seule fois, au tout début d'une session de traitement de racines de vétiver (qui peut durer plusieurs jours)

Dans la phase de démarrage décrite dans le texte de janvier 2016, il était fait usage de la vanne 3 voies [n° (17) au schéma] et d'un recyclage momentané de la vapeur, au moment du démarrage de l'installation, depuis la sortie de la pompe à vide (PAV) jusqu'à l'entrée de l'échangeur principal (4)-(5), en « by-passant » alors la cuve-alambic .A présent, ce recyclage est supprimé et donc la vanne 3 voies (17) et la tuyauterie de liaison entre cette vanne (voie n°1) et l'entrée de l'échangeur principal sont également supprimés.

Il s'agit, durant cette phase de premier démarrage,

1° de mettre à température l'eau contenue dans la calandre de l'échangeur principal

2° de mettre à température les racines de vétiver, dans la cuve-alambic

3° Lorsque ces 2 mises à température sont sur le point d'être terminées, d'enclencher progressivement la PAV, tout en veillant à ce que la puissance électrique délivrée par le groupe électrogène ne dépasse pas un certain niveau, en l'occurrence 76 kW (voir détails ci-après paragraphe B-2° : les résistances électriques et paragraphe B-3° le groupe électrogène)

Le détail de fonctionnement de ce premier démarrage sera expliqué au paragraphe C

B.Données de base

1° L'échangeur principal (= celui sur lequel est branchée la pompe à vide)

En régime stabilisé, l'échangeur a :

* un débit de vapeur au primaire valant : 900 kg/heure

*température de condensation : 102°C....105°C (correspondance pression : 1,1 ...1,2.bars absolus)

* une puissance thermique théorique valant :

$$900 \times [2251 + (102-50) \times 4,18] / 3600 = 618 \text{ kW, le condensat étant sous-refroidi à } 50^{\circ}\text{C}$$

Le débit d'eau évaporé au secondaire vaut, sans apport de chaleur supplémentaire :

environ 850 kg /heure, étant donnée la différence de chaleur latente entre l'eau à 102°C et l'eau à 90°C et étant données aussi les pertes thermiques. (température d'évaporation : 90°C ; correspondance de pression : 0,7 bars absolus)

Le volume d'eau dans l'échangeur vaut V. Supposons, pour pouvoir présenter un exemple concret, que V vaille 800 litres .

Notes:

*La correspondance ($\Delta t \rightarrow \Delta p$ est : [(102-90) = 12°] \rightarrow [(1,1 – 0,7) = 0,4 bar]

*Il est proposé d'utiliser dans cet avant-projet une pression inférieure à la pression atmosphérique dans la calandre de l'échangeur principal. En variante, on pourrait proposer des températures telles que toutes les pressions soient supérieures à la pression atmosphérique.

Exemple : [(112 – 100)=12°] \rightarrow [(1,55 – 1)= 0,55 bars] mais, pour la même Δt , la Δp est alors supérieure de $(0,55-0,4) \times 100 / 0,4 = 38 \%$. C'est beaucoup..

Régulation automatique du niveau d'eau dans la calandre :

Le niveau d'eau dans la calandre est contrôlé par des électrodes de niveau. Si le niveau d'eau baisse, l'électrovanne placée sur l'alimentation en eau s'ouvre ; si le niveau monte, cette dernière se ferme, une pression d'eau suffisante étant maintenue en permanence en amont de cette électrovanne puisque le groupe hydrophore d'eau froide [(10) au schéma] maintient en permanence une pression suffisante à sa sortie donc en amont de l'électrovanne.

Régulation automatique de la température d'ébullition dans la calandre :

Une sonde de pression (7) contrôle la pression dans la calandre. Cette valeur de pression est transmise via un régulateur à un variateur de vitesse contrôlant la vitesse du moteur de la PAV. Si la pression monte, la vitesse du moteur augmente ; si la pression diminue, la vitesse du moteur diminue.

Sécurités :

Des sécurités de pression et température sont positionnées dans la calandre. (A étudier en détail).

Des sécurités de fonctionnement sont positionnées sur le moteur de la PAV et sur la PAV elle-même (A étudier en détail)

Une sécurité anti-coup de liquide (pour la pompe à vide) est placée sur la sortie de l'échangeur principal

2°Les résistances électriques dans l'échangeur principal

Les résistances électriques placées dans l'échangeur principal ont une puissance, fonction de la puissance nominale du groupe électrogène, à savoir : $0,7 \times 108 = 76 \text{ kW}$. Au cours d'une session de traitement de racines de vétiver (plusieurs jours d'affilés), elles ne fonctionnent

qu'une seule fois, au moment de la phase de mise en température de l'eau contenue dans la calandre de l'échangeur principal (voir fonctionnement ci-après).

Deux niveaux de résistances sont prévus. Disons, en avant-projet, niveau 1 : 66 kW ;
niveau 2 : 10kW ; total : 76 kW

Pourquoi 2 niveaux ? Parce que, lors du démarrage initial (voir paragraphe C), à la fin de cette phase de démarrage, la pompe à vide (PAV) et la résistance fonctionnent en même temps, la PAV, à vitesse réduite, donc à puissance réduite (10 kW par exemple). La puissance délivrable par le groupe électrogène étant limitée à 76 kW, la puissance de la résistance électrique, de niveau 1, ne peut plus valoir, alors, que $76 - 10 = 66$ kW au maximum.

Régulation automatique de la température de l'eau de la calandre lors de la phase de première mise à température

Un premier aquastat (réglé à 80°C) contrôle cette température et déclenche le niveau 2 (10 kW) des résistances électriques de chauffage lorsque la température (80°C) est atteinte. Suite au déclenchement de la résistance niveau 2, il y a enclenchement (progressif) de la PAV jusqu'à atteindre un niveau bas de puissance (10kW)

Remarque : 10 kW de puissance électrique au moteur de la PAV correspondent à $618 \times 10/55 = 112$ kW thermique servant à évaporer de l'eau dans la calandre de l'échangeur principal ; il faut donc que cette puissance thermique soit inférieure à la puissance thermique apportée à cette eau c-à-d $71 + 66 = 137$ kW. C'est le cas

Un second aquastat (réglé à 90°C) déclenche le niveau 1 (66 kW) des résistances lorsque la température de 90°C est atteinte. Suite au déclenchement de la résistance niveau 1, il y a enclenchement (progressif) de la PAV jusqu'à atteindre son niveau de puissance final (55 kW)

3°Le groupe électrogène (voir doc annexée : groupe DE150 +C 7,1 + 150 kVA....)

Le groupe électrogène a une puissance nominale de 108kW.

Son rendement énergétique vaut : 32 %

La puissance du moteur de la pompe à vide (PAV)(compresseur à lobes) est de 55 kW. A cette puissance, en fonctionnement stabilisé, il faut ajouter la puissance des pompes, de l'éclairage, etc....., disons forfaitairement 5 kW. Soit au total : $55 + 5 = 60$ kW

Par conséquent, la puissance brute (celle qui détermine la consommation de gasoil) du groupe électrogène en fonctionnement « normal » vaut : $60/0,32 = 188$ kW

Rappel : les résistances électriques ont une puissance totale de 76 kW. Au moment où les résistances sont enclenchées, la puissance brute vaut : $76/0,32 = 237$ kW

La puissance thermique « récupérable » sur les gaz d'échappement du moteur du groupe électrogène est évaluée à 30 % de la puissance brute, soit, en fonctionnement normal : $188 \times$

0,3 = 56 kW. ; en fonctionnement « exceptionnel » (= résistances enclenchées) : $237 \times 0,3 = 71$ kW.

4° Echangeur eau-eau à la sortie du groupe électrogène

La puissance thermique « récupérable » sur l'eau de refroidissement du moteur du groupe électrogène est évaluée à 20 % de la puissance brute, soit $188 \times 0,2 = 38$ kW. Cette puissance est utilisable pour préchauffer l'eau dans la calandre de l'échangeur récupérateur de chaleur des gaz d'échappement et la porter de 30° à 80°C. Un échangeur eau/eau placé en sortie du circuit de refroidissement du moteur évite que de l'eau « neuve » c-à-d agressive ne pénètre dans les circuits de refroidissement du moteur.

Cet échangeur eau/eau est monté en parallèle sur le radiateur de refroidissement dont le moteur est équipé.

Le débit d'eau passant au secondaire de cet échangeur eau/eau est le débit alimentant l'échangeur placé sur les gaz d'échappement. Comme la puissance maximum y est 56 kW, le débit d'eau liquide que cet échangeur peut transformer en vapeur vaut, au maximum : 85 kg/h. (voir calcul au paragraphe suivant). Ce débit correspond à une puissance prélevée dans l'échangeur de préchauffe eau/eau placé en sortie du moteur valant : $[85 \times 4,18 \times (80-30)] / 3600 = 5$ kW, c-à-d à peine $5 \times 100 / 38 = 13\%$ de la puissance totale disponible dans l'eau de refroidissement du moteur (38 kW).

Note : La puissance est 7 kW lorsque la puissance de l'échangeur sur gaz d'échappement vaut 71 kW (en régime de démarrage)

Régulation de la température de sortie au secondaire de cet échangeur eau/eau:

Une vanne thermostatique placée en sortie du circuit de refroidissement du moteur règle le débit à dévier vers le primaire de l'échangeur eau/eau, la sonde de cette vanne thermostatique étant placée à la sortie du secondaire de cet échangeur.

5° L'échangeur placé sur les gaz d'échappement du moteur du groupe électrogène.

Il sert à produire de la vapeur (voir paragraphes C et D ci-après).

Par conséquent, il est du type « échangeur tubulaire placé dans une calandre », comme l'échangeur principal ci-avant.

La puissance thermique « récupérable sur les gaz d'échappement » valant 56 kW, le débit de vapeur (vapeur à 120°C, pression de la calandre : 2 bars absolus), qu'il peut produire est $(56 \times 3600) / [2202 + (120 - 80) \times 4,18] = 85$ kg/heure, étant supposé que ce débit est préchauffé à 80°C dans l'échangeur eau/eau précité, placé sur le circuit d'eau de refroidissement du moteur. (Puissance consommée pour ce « préchauffage » : $[85 \times (80-30) \times 4,18] / 3600 = 5$ kW)

Ce débit (85kg/h) devrait être suffisant pour compenser la différence entre le débit au primaire et au secondaire de l'échangeur principal, soient $900 - 850 = 50$ kg/h (voir paragraphe ci-avant : l'échangeur principal)

Note : ce débit de vapeur dû à l'échangeur sur gaz d'échappement est même plus élevé durant la phase de mise à température de la calandre de l'échangeur principal puisqu'à ce

moment-là, la puissance électrique délivrée par le groupe électrogène vaut 76 kW et donc la puissance récupérable dans l'échangeur sur gaz d'échappement vaut $76 \times 0,3/0,32=71$ kW. Le débit de vapeur vaut alors $(71 \times 85/56) =108$ kg/h. L'échangeur sur gaz d'échappement doit donc être dimensionné sur cette base.

Régulation automatique du niveau d'eau dans la calandre :

Le niveau d'eau dans la calandre est contrôlé par des électrodes de niveau. Si le niveau d'eau baisse, l'électrovanne placée sur l'alimentation en eau s'ouvre ; si le niveau monte, cette dernière se ferme.

Régulation automatique de la température d'ébullition dans la calandre :

Une sonde de pression placée sur la calandre y contrôle la pression et donc la température d'ébullition. Cette pression est transmise à un régulateur qui agit sur une vanne motorisée placée en sortie de la calandre (non représentée au schéma « 3ter »). Si la pression monte trop haut l'ouverture de la vanne motorisée diminue. Si la pression diminue, l'ouverture de la vanne motorisée augmente. Une soupape de sécurité de pression est placée sur la calandre et s'ouvre lorsque la pression dans la calandre devient trop élevée. La vapeur « trop produite » est évacuée à l'atmosphère.

Sécurités

Une sécurité d'encrassement est placée sur la tuyauterie des gaz d'échappement (exemple : mesure permanente de la perte de charge dans les tuyauteries de l'échangeur par mesure de la Δp entrée sortie de l'échangeur) et avertit lorsqu'il y a lieu de procéder à un entretien.

Des sécurités de pression et température sont placées sur cette tuyauterie (A étudier)

5°La pompe à vide ou « surpresseur » et son moteur

Le moteur de la pompe à vide a une puissance nominale électrique, en régime stabilisé de 55 kW . (compresseur à lobes : voir documentation spécialisée)

Régulation automatique de la vitesse du moteur

La vitesse du moteur est contrôlée par un régulateur adaptant la vitesse du moteur via un variateur de vitesse à fréquence variable, en fonction de la pression mesurée dans la calandre de l'échangeur principal.

Afin de limiter son courant de démarrage, le moteur démarre sous le contrôle du régulateur de vitesse du moteur ; le démarrage se fait à vitesse réduite.

Sécurités :

Des sécurités de fonctionnement sont positionnées sur le moteur de la PAV et sur la PAV elle-même (A étudier en détail)

Un clapet antiretour (ou,-à définir- au besoin, une électrovanne) est placé entre la sortie de la calandre de l'échangeur principal et l'entrée de la pompe à vide de façon à ce qu'en cas de redémarrage du moteur au cours du process, la calandre de l'échangeur principal ne « perde pas son vide » et aussi éviter le coup de bélier dans la calandre.

C.Démarrage

Démarrage initial

Les 2 phases de démarrage décrites ci-après se font **SIMULTANEMENT**. Le groupe électrogène est enclenché. La pompe à vide **N'EST PAS** enclenchée, au début du démarrage.

Une fois le premier démarrage terminé, cette phase de démarrage n'a plus lieu d'exister pour les cuves-alambics suivantes. On verra pourquoi aux paragraphes D et E

1° Phase de mise à température (...90°C) de l'eau contenue dans la calandre de l'échangeur tubulaire principal (premier démarrage)

a) De 30°C à 80°C

- Puissance disponible lors de cette phase :
les résistances électriques ; total : 76 kW
- Energie nécessaire : $800 \times (90-30) \times 4,18 / 3600 = 56$ kWh
- Durée de mise à température : $56 / 76 = 0,74$ heure , soient 45 minutes ; disons 1 heure pour tenir compte de la mise en température de la masse d'acier et des pertes
- La PAV ne fonctionne pas

Régulation automatique : rappel : Un premier aquastat (réglé à 80°C) contrôle cette température et déclenche le niveau 2 (10 kW) des résistances électriques de chauffage lorsque la température (80°C) est atteinte. Suite au déclenchement de la résistance niveau 2, il y a enclenchement (progressif) de la PAV jusqu'à atteindre un niveau bas de puissance (10kW)

b) De 80° à 90°C

- Puissance de résistance disponible lors de cette phase : le niveau 1 de résistance électrique, soit 66 kW
 - A partir de 80°C, la PAV s'enclenche en augmentant progressivement sa vitesse jusqu'à atteindre une puissance de 10 kW. A ce moment-là, le groupe électrogène débite 76 kW, ce qui permet à l'échangeur sur gaz d'échappement de continuer à délivrer sa puissance (71 kW) et son débit de vapeur
 - La PAV fait descendre la pression dans la calandre et « aspire » de la vapeur qu'elle envoie vers la cuve-alambic. Cette vapeur s'ajoute à la vapeur produite dans l'échangeur sur gaz d'échappement et passe à travers les racines de vétiver pour déboucher finalement dans le primaire de l'échangeur principal où elle se condense
- Régulation automatique : rappel : Un second aquastat (réglé à 90°C) déclenche le niveau 1 (66 kW) des résistances lorsque la température de 90°C est atteinte. Suite au déclenchement de la résistance niveau 1, il y a enclenchement (progressif) de la PAV jusqu'à atteindre son niveau de puissance final (55 kW)

c) A 90°C

Les résistances sont déclenchées, la PAV passe (progressivement) à 55 kW et le fonctionnement stabilisé commence..

2° Phase de mise à température des racines de vétiver dans la cuve-alambic (premier démarrage) Cette phase se fait EN MÊME TEMPS que la phase de mise à température de l'échangeur principal (voir ci-avant).

- Poids des racines et poids de la cuve : 1200 kg (racine) + 800 (cuve) = 2000 kg par cuve-alambic
- Chaleur massique des racines : à défaut de documentation précise, prenons 2 kJ/kg x K
- Chaleur massique de l'acier : 0,5 kJ/Kg x K
- Energie théorique (=sans compter les pertes) nécessaires :
$$[(1200 \times 2) + (800 \times 0,5)] \times (110 - 30) / (3600) = 85 \text{ kWh}$$
- Durant cette phase, dans un premier temps [voir ci-avant 1°a)], la pompe à vide ne fonctionne pas. L'eau contenue dans la calandre de l'échangeur sur gaz d'échappement est portée à ébullition à 110°...120° (pression absolue 1,5...2 bars), par récupération de la chaleur sur les gaz d'échappement du groupe électrogène. Une vanne adéquate est ouverte en bas de la cuve-alambic n°1 (la vanne « grand débit »-voir schéma). La vapeur est ainsi envoyée directement vers la cuve-alambic, sans que la pompe à vide ne fonctionne
- Au début, la vapeur ne se condense pas dans le primaire de l'échangeur principal (puisqu'elle se condense dans les racines de vétiver de la cuve-alambic). Avec une puissance de 76 kW, le débit d'eau transformé en vapeur, à 120° dans l'échangeur sur gaz d'échappement vaut 108 kg/heure (voir-ci-avant).
- Durée de mise à température des racines de vétiver dans la cuve-alambic: $85/(76) = 1,11$ heure = 1 heure 07 minutes. En tenant compte des pertes, estimons cette durée à 1 h 1/4.
- Une fois le premier démarrage terminé, ces péripéties de démarrage n'ont plus lieu d'exister pour les cuves-alambic suivantes. Elles seront remplacées par les phase D et E décrite ci-après

D Phase de fonctionnement stabilisé

Il semblerait que la durée de traitement « stabilisé » d'une cuve-alambic soit de l'ordre de 8 heures.

Lorsque les phases préparatoires précitées sont terminées, les résistances électriques sont déclenchées et la pompe à vide est enclenchée.

Une fois ces péripéties de démarrage initial terminées, toute la puissance utile du groupe électrogène sert à alimenter le moteur de la pompe à vide.

La vapeur « aspirée » de la calandre passe à travers les racines et vient se condenser au primaire de l'échangeur tubulaire. La chaleur ainsi dégagée (618 kW) sert à porter à ébullition l'eau contenue dans la calandre (à ...90°C).

La chaleur « récupérée » sur les gaz d'échappement du groupe électrogène (débit total : 85 kg/heure) apporte le complément de débit de vapeur nécessaire (voir ci -avant).

Cette vapeur est dirigée directement vers la cuve-alambic (comme lors de la phase C 2° ci -avant) sans passer par la pompe à vide.

L'eau entrant dans la calandre de l'échangeur principal est de l'eau « froide » (30°). Etant donnée la partie « sous-refroidissement » de l'échangeur-épingle, le condensat quitte l'épingle à une température de l'ordre de 50°C, et est dirigé vers le « vase florentin »

E Phase de préparation au traitement par vapeur de la cuve-alambic suivante

Afin de gagner du temps dans le traitement par vapeur des racines de vétiver, il est nécessaire que, durant le traitement par vapeur de la cuve-alambic n°1, les racines de vétiver de la cuve-alambic n°2 soient portées à température 100°105° C.

Pour réaliser cela, il est possible d'envoyer de la vapeur dans la cuve-alambic n°2, afin de la préchauffer, alors que la cuve-alambic n°1 est en traitement (Phase D ci-avant).

Une partie du débit de vapeur produite dans l'échangeur sur gaz d'échappement est déviée vers la cuve-alambic n°2, en y ouvrant la vanne inférieure « petit débit » (voir schéma). Disons par exemple 30 kg/h.

Autrement dit $30/85$ de la puissance de cet échangeur, soit $30/85 \times 56 = 20\text{kW}$ est consommée pour ce préchauffage de la cuve n°2.

Avec cette puissance, la durée de mise en température des racines de la cuve -alambic n°2 vaut : $85/20 = 4,25$ heures = 4heures 15minutes ; Disons 4h30'.

Ainsi 4h30' heures avant la fin du traitement de la cuve-alambic n°1, de la vapeur produite dans l'échangeur récupérateur sur gaz d'échappement, à raison d'un débit de 30 kg/heure, est envoyée vers la cuve-alambic n°2 afin d'y préchauffer les racines de vétiver.

Evidemment, ce prélèvement de débit de vapeur « affaiblira » un peu la puissance de l'échangeur principal de $(20 \times 100)/618 = 3\%$ et prolongera donc aussi d'autant la durée du process dans la cuve-alambic n°1 durant les 4h30' susmentionnées, soit une prolongation de 8 minutes

Ainsi, la pompe à vide ne s'arrête pas. En manipulant les vannes adéquates, le traitement des racines de vétiver par le système pompe à vide bascule directement de la cuve-alambic n°1 à la cuve-alambic n°2 et ainsi de suite, par après, avec la cuve-alambic n°3...

F. QUELQUES CHIFFRES RESUMES

Appareil→	Echangeur principal	Pompe à vide+ Moteur	Résistance électrique dans échangeur	Echangeur sur gaz d'échappement	Echangeur eau/eau sur eau de refroidissement du groupe électrogène
Critères pour dimensionnement ↓					
Puissance de base pour dimensionnement (kW)	620	55 (moteur)	76	71	7
Débit au primaire (kg/h)	900			A calculer	108
Débit au secondaire (kg/h)	850	850		108	108
T° au primaire (°C)	102°...105°			561° à l'entrée	95° à l'entrée 40° à la sortie
T° au secondaire (°C)	90°			110°...120°	85° à la sortie 30° à l'entrée
Puissance en fonctionnement « stabilisé » (kW)	618	55	0	56	5