

Guide sur la Vapeur

Tome 4 : Collecte et récupération
des condensats



Sommaire

Chapitre 1 - Purge de vapeur et purge d'air	5
1.1 Fonctionnement des purgeurs de vapeur	5
1.1.1 Types de purgeurs de vapeur.....	5
1.1.2 Principales méthodes de purge.....	6
1.1.3 Sélectionner un purgeur.....	7
1.1.4 Fuites de vapeur.....	8
1.2 Purgeurs thermostatiques	10
1.2.1 Purgeur à dilatation de liquide.....	10
1.2.1.1 Avantages du purgeur à dilatation de liquide.....	11
1.2.1.2 Inconvénients du purgeur à dilatation de liquide.....	11
1.2.2 Purgeur thermostatique à pression équilibrée.....	12
1.2.2.1 Avantages du purgeur thermostatique à pression équilibrée.....	14
1.2.2.2 Inconvénients du purgeur thermostatique à pression équilibrée.....	14
1.2.3 Purgeur bimétallique.....	15
1.2.3.1 Avantages du purgeur bimétallique.....	18
1.2.3.2 Inconvénients du purgeur bimétallique.....	18
1.3 Purgeurs mécaniques	19
1.3.1 Purgeur à flotteur fermé.....	19
1.3.1.1 Avantages du purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique.....	20
1.3.1.2 Inconvénients du purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique.....	20
1.3.2 Purgeur à flotteur inversé ouvert.....	21
1.3.2.1 Avantages du purgeur à flotteur inversé ouvert.....	22
1.3.2.2 Inconvénients du purgeur à flotteur inversé ouvert.....	22
1.4 Purgeurs thermodynamiques	23
1.4.1 Avantages du purgeur thermodynamique.....	24
1.4.2 Inconvénients du purgeur thermodynamique.....	25
1.5 Sélection des purgeurs	26
1.6 Appareils de cuisson	28
1.6.1 Bacs de cuisson - fixes.....	28
1.6.2 Bacs de cuisson - inclinables.....	28
1.6.3 Bacs de cuisson sur socle.....	29
1.6.4 Fours à injection de vapeur et plaques chauffantes.....	29
1.7 Transfert et stockage d'hydrocarbures	30
1.7.1 Réservoirs de stockage.....	30
1.7.2 Réchauffeurs de ligne.....	32
1.7.3 Réchauffeurs de soutirage.....	32
1.7.4 Lignes de traçage.....	33
1.7.5 Tuyauteries à double enveloppe.....	35
1.8 Equipements pour hôpitaux	36
1.8.1 Autoclaves et stérilisateurs.....	36
1.9 Sécheurs industriels	37
1.9.1 Sécheurs à air chaud.....	37

1.9.2	Serpentins de chauffage.....	38
1.9.3	Sécheurs à faisceaux multiples.....	39
1.9.4	Cylindres rotatifs réchauffés.....	40
1.9.5	Encolleuses à cylindres multiples.....	41
1.9.6	Sécheurs multi-cylindres.....	42
1.10	Appareils pour blanchisserie.....	43
1.10.1	Presses pour vêtements.....	43
1.10.2	Machines à repasser et calandres.....	44
1.10.3	Sécheurs tambour.....	45
1.10.4	Machine de nettoyage à sec.....	45
1.11	Presses.....	46
1.11.1	Presses multi-plateaux (raccordements en parallèle).....	46
1.11.2	Presses multi-plateaux (raccordements en série).....	47
1.11.3	Presses à vulcanisation.....	48
1.12	Appareils pour process industriels.....	49
1.12.1	Bacs de cuisson fixes.....	49
1.12.2	Cuves de process inclinables.....	50
1.12.3	Autoclaves.....	51
1.12.4	Digesteurs.....	52
1.12.5	Tables chauffantes.....	53
1.12.6	Cuves à brasser.....	54
1.12.7	Evaporateurs, calandres et rebouilleurs.....	55
1.12.8	Vulcanisateurs.....	56
1.13	Appareils pour chauffage d'ambiance.....	57
1.13.1	Echangeurs de chaleur évacuant à la pression atmosphérique.....	57
1.13.2	Echangeurs de chaleur évacuant vers une pression positive.....	58
1.13.3	Panneaux et faisceaux radiants.....	59
1.13.4	Radiateurs à vapeur.....	59
1.13.5	Réchauffeurs à ventilateur pour armoire de chauffage.....	60
1.13.6	Réchauffeurs et batteries de réchauffage d'air.....	60
1.13.7	Serpentins suspendus.....	62
1.14	Réseaux vapeur.....	63
1.14.1	Réseaux vapeur.....	63
1.14.2	Conduites horizontales.....	63
1.14.3	Dimensions d'un pot de purge.....	64
1.14.4	Séparateurs.....	64
1.14.5	Purge d'un barillet de distribution de vapeur.....	65
1.14.6	Bouts de ligne.....	65
1.14.7	Purge d'air.....	66
1.14.8	Réseaux dérivés vers process.....	66
1.15	Réservoirs et cuves.....	67
1.15.1	Cuves process (tuyauteries d'évacuation ascendantes).....	67
1.15.2	Cuves process (évacuation en bas).....	67
1.15.3	Petits réservoirs d'eau chaude.....	68
1.16	Diagnostic d'un purgeur.....	69
1.16.1	Méthodes traditionnelles et actuelles.....	69

1.17	Entretien des purgeurs de vapeur	71
1.17.1	Entretien de routine	71
1.17.2	Remplacement des pièces internes.....	71
1.17.3	Remplacement des purgeurs.....	72
1.18	Purge de l'air.....	73
1.18.1	Les conséquences de l'air	73
1.18.2	L'air dans le réseau	75
1.18.3	Signes de présence d'air	75
1.18.4	Evacuation de l'air.....	76
1.18.5	L'emplacement du purgeur d'air.....	77
1.18.6	Réseau de vapeur saturée	78
1.18.7	Réseau de vapeur surchauffée.....	78
1.18.8	Cuve à double enveloppe	79
1.18.9	Cylindres rotatifs.....	79
1.18.10	Les unités de purge d'air en général	80
1.18.11	By-pass de purgeur vapeur	80
1.18.12	Purge d'air en groupe	80
1.18.13	Purgeurs d'air de grand débit	81
1.18.14	Purger l'air par des purgeurs thermostatiques.....	82
1.18.15	Casse-vide	82
1.19	Pertes d'énergie dans les purgeurs vapeur	83
1.19.1	Purgeurs thermostatiques	83
1.19.2	Purgeurs mécaniques.....	84
1.19.3	Purgeurs thermodynamiques	84
1.19.4	Comparaisons	85

Chapitre 2 - Purge critique des échangeurs **86**

2.1	Qu'entend-on par condition critique ?	86
2.1.1	Problèmes à court terme	87
2.1.2	Problèmes à long terme	87
2.2	Comment se produit une condition critique ?.....	88
2.3	Quels sont les symptômes et les conséquences d'une condition critique ?	89
2.4	Tous les échangeurs de chaleur souffrent-ils d'une condition critique ?	90
2.5	Comment prévoir une condition critique ?.....	91
2.6	Que peut-on faire d'une condition critique ?.....	95
2.6.1	Méthode de la hauteur statique et du casse-vide	95
2.6.2	Méthode de la purge auxiliaire.....	96
2.6.3	Une pompe et un purgeur installés en combinaison.....	97
2.6.4	Un système purgeur-pompe	98
2.6.4.1	Exemple 1.....	98
2.6.4.2	Exemple 2.....	99
2.6.4.3	Exemple 3.....	99
2.6.4.4	Abaque classique d'inversion de pression différentielle	100
2.7	Conclusion	101

Chapitre 3 - Récupération de condensat et de vapeur de revaporisation 102

3.1	Retour de condensat	102
3.1.1	Pourquoi retourner le condensat et le réutiliser ?	102
3.1.2	Exemple d'économie en récupérant le condensat	104
3.2	Ligne de retour de condensat	107
3.2.1	Lignes de retour vers des purgeurs	107
3.2.2	Lignes de retour après des purgeurs	108
3.2.3	Purge dans des lignes de retour noyées	108
3.2.4	Lignes de retour communes	109
3.2.5	Dimensionner les lignes de condensat	111
3.2.6	Dimensionner les lignes de retour après des purgeurs	112
3.2.7	Recommandations concernant les lignes d'évacuation des purgeurs	115
3.2.8	Abaque de dimensionnement des tuyauteries de condensat	117
3.2.9	Utiliser l'abaque	117
3.2.9.1	Exemple 1	119
3.2.9.2	Exemple 2	120
3.2.9.3	Exemple 3	121
3.2.9.4	Exemple 4	122
3.2.9.5	Exemple 5	123
3.2.9.6	Exemple 6	123
3.2.10	Dimensionnement de lignes de retour communes	124
3.2.10.1	Exemple 1	124
3.2.10.2	Exemple 2	125
3.2.11	Dimensionnement de lignes de retour avec pompe	126
3.2.12	Lignes avec pompe de longueurs supérieures à 100 m	126
3.2.13	Installations de pompes dégazées à l'atmosphère, de purgeurs/pompes et de combinaisons pompes/purgeurs	128
3.3	Vapeur de revaporisation	129
3.3.1	Qu'est-ce que la vapeur de revaporisation et pourquoi doit-elle être utilisée ?	129
3.3.2	Combien de vapeur de revaporisation ?	130
3.3.3	Condensat sous-refroidi	132
3.3.4	Condensat sous pression	132
3.3.5	Le vase de revaporisation	133
3.3.6	Dimensionner les réservoirs de récupération de vapeur de revaporisation	133
3.3.7	Conditions pour réussir des applications utilisant de la vapeur de revaporisation	135
3.3.8	Régulation de la pression de la vapeur de revaporisation	136
3.4	Applications classiques de la vapeur de revaporisation	137
3.4.1	Alimentation de vapeur de revaporisation et demande en cascade	137
3.4.2	Alimentation de vapeur de revaporisation et demande non simultanée	140
3.5	Tables de la vapeur	141
3.6	Abaque de dimensionnement des lignes de condensat	144

Chapitre 1

Purge de vapeur et purge d'air

1.1 Fonctionnement des purgeurs de vapeur

Avant d'étudier plus attentivement la sélection des purgeurs, il sera précieux de comprendre leur fonctionnement. Il existe trois types fondamentaux de purgeurs classifiés par la norme internationale NF EN 26704.

1.1.1 Types de purgeurs de vapeur

Thermostatique (fonctionnant à partir des changements de température)

La température de la vapeur saturée est déterminée par sa pression. Dans l'espace vapeur, la vapeur libère son enthalpie d'évaporation (chaleur), produisant du condensat à la température de la vapeur. Soumise à toute perte ultérieure de chaleur, la température du condensat diminuera. Un purgeur thermostatique évacuera le condensat lorsque cette différence de température se produit. Lorsque la vapeur atteint le purgeur, la température augmente et le purgeur se ferme.

Mécanique (fonctionnant à partir des changements de masse volumique du fluide)

Cette gamme de purgeur fonctionne sous l'effet de la différence de masse volumique entre la vapeur et le condensat. Ces purgeurs se divisent en deux catégories : " les purgeurs à flotteur fermé" et "les purgeurs à flotteur inversé ouvert ". Dans le purgeur à flotteur fermé, le flotteur monte en présence du condensat pour ouvrir un clapet qui laisse passer le condensat. Avec le purgeur à flotteur inversé ouvert, le flotteur inversé flotte quand la vapeur entre sous le flotteur et ferme un clapet. Les deux sont essentiellement mécaniques dans leur méthode de fonctionnement.

Thermodynamique (fonctionnant à partir de changements de la dynamique des fluides)

Le fonctionnement des purgeurs thermodynamiques est la conséquence de la formation de vapeur de revaporisation à partir du condensat. Ce groupe de purgeur inclut les purgeurs thermodynamiques, à disque, à impulsion et à labyrinthe. "Les purgeurs à orifice calibré" sont également inclus dans cette section mais ils ne peuvent pas être clairement définis comme des mécanismes automatiques dans la mesure où il existe juste un orifice à diamètre fixe réglé pour laisser passer une certaine quantité de condensat sous certaines conditions. Tous sont basés sur le fait que le condensat chaud, libéré sous une pression dynamique, se revaporisera pour donner un mélange de vapeur et d'eau.

Une étude plus approfondie des différents types de purgeur de vapeur sera utile.

1.1.2 Principales méthodes de purge

L'utilisation de purgeurs est la méthode la plus efficace pour évacuer le condensat d'un système de distribution de vapeur.

Les purgeurs utilisés doivent être adaptés au réseau, et avoir une capacité suffisante pour passer les quantités de condensat les atteignant avec les pressions différentielles présentes à tous les instants.

La première caractéristique est facile à sélectionner; la pression de service maximale au purgeur doit être soit connue soit pouvoir être facilement trouvée. La seconde caractéristique concernant les débits de condensat atteignant le purgeur aux conditions de service, lorsque uniquement les pertes de chaleur de la tuyauterie entraînent la condensation de la vapeur, peuvent être calculées, ou lues avec suffisamment de précision sur le Tableau 1.

Il faut se rappeler que des purgeurs purgeant un barillet de distribution peuvent de temps à autre devoir évacuer de l'eau venant de la chaudière avec la vapeur. Un débit total jusqu'à 10% de la capacité de la chaudière est généralement raisonnable. Dans le cas des autres purgeurs installés le long du réseau, le Tableau 3, montre qu'à condition que les points ne soient pas espacés de plus de 50 mètres, les débits de condensat seront généralement inférieurs aux débits d'un purgeur de faible débit de 15 mm. Seulement dans les rares applications de pressions très élevées (supérieures à 70 bar), combinées à de grandes tailles de tuyauterie, des purgeurs avec de débits plus grands seront nécessaires.

Un peu plus d'attention doit quelquefois être portée aux tuyauteries qui sont fréquemment arrêtées et remises en marche. Les quantités de vapeur condensée lorsque les tuyauteries sont réchauffées d'une température froide à la température de service sont aussi données sur le Tableau 3. Comme il s'agit de masses de vapeur plutôt que des débits horaires, le temps alloué à la mise en température doit aussi être pris en compte. Par exemple, si une tuyauterie est amenée à une pression de service en 20 minutes, le taux horaire sera alors de 60/20, ou 3 fois supérieur au débit indiqué sur le Tableau.

Pendant la première partie de la mise en température, le taux de condensation sera au moins égal au taux moyen. Toutefois, la pression à l'intérieur de la tuyauterie sera seulement très peu supérieure à la pression atmosphérique, peut être de l'ordre de 0,05 bar. Cela signifie que le débit du purgeur sera réduit en conséquence. Dans les cas où les démarrages sont fréquents, un purgeur DN15 avec un débit normal sera un choix plus approprié.

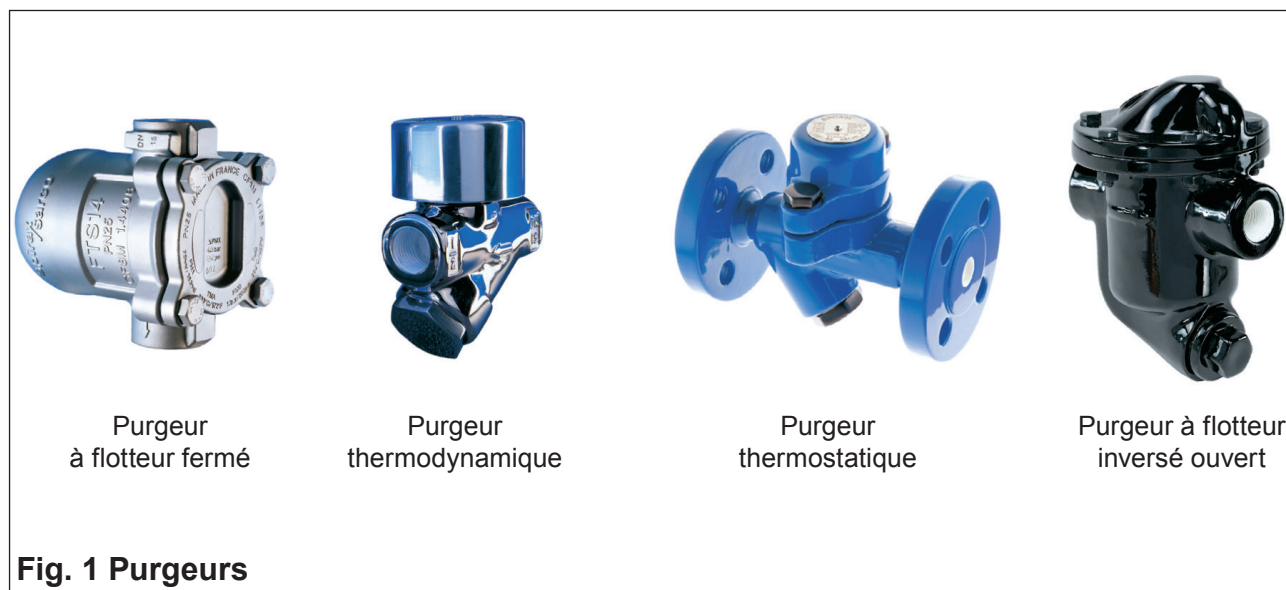
Cela met en évidence un autre avantage d'un pot de purge dimensionné du même diamètre que la tuyauterie, qui, au démarrage, peut se remplir de condensat lorsque la pression de la vapeur n'est pas assez élevée pour le pousser hors du purgeur.

1.1.3 Sélectionner un purgeur

Le choix d'un purgeur pour tuyauteries principales d'un réseau vapeur dépend de plusieurs facteurs :

- Le purgeur doit évacuer à, ou très près de la température de saturation, à moins que des lignes de refroidissement longues ne soient utilisées entre le point de purge et le purgeur. Cela signifie que le choix se fera souvent entre des purgeurs mécaniques, comme le purgeur à flotteur fermé ou le purgeur à flotteur inversé ouvert ou des purgeurs thermodynamiques.
- Lorsque les réseaux sont situés à l'extérieur des bâtiments et que le risque de détérioration par le gel est possible, le purgeur thermodynamique est prééminent. Même si l'installation est telle que l'eau reste dans le purgeur pendant les arrêts et qu'il gèle, le purgeur thermodynamique ne subira aucune détérioration et fonctionnera normalement une fois dégelé.
- Par expérience, dans des installations pauvrement équipées où les coups de bélier sont courants, les purgeurs à flotteur fermé ne sont pas le choix idéal à cause des détériorations possibles du flotteur. Néanmoins la conception et les techniques de fabrication actuelles produisent aujourd'hui des éléments extrêmement robustes pour différentes applications de purge. Les purgeurs à flotteur fermé sont certainement le premier choix pour la purge des séparateurs. Les débits importants qu'ils atteignent, et la réponse presque instantanée aux augmentations rapides de débits, sont des caractéristiques avantageuses.
- Les purgeurs thermodynamiques sont aussi appropriés pour purger des réseaux de grande longueur et de grand diamètre, spécialement lorsque les tuyauteries sont en service continu.

Les purgeurs classiques utilisés pour évacuer les condensats des réseaux sont présentés Figure 1.



1.1.4 Fuites de vapeur

La fuite de vapeur est trop souvent ignorée. Toutefois, les fuites peuvent se révéler coûteuses tant pour les finances que pour l'environnement et nécessitent donc une attention rapide pour garantir le fonctionnement du réseau vapeur à son rendement optimal avec un impact minimal sur l'environnement.

Par exemple, pour chaque litre de fuel lourd brûlé inutilement pour compenser une fuite de vapeur, environ 3 kg de dioxyde de carbone sont émis dans l'atmosphère.

La Figure 1 illustre les pertes de vapeur pour différentes tailles d'orifices et cette perte peut rapidement être convertie en économie d'énergie annuelle sur la base de 8400 ou 2000 heures de service par an.

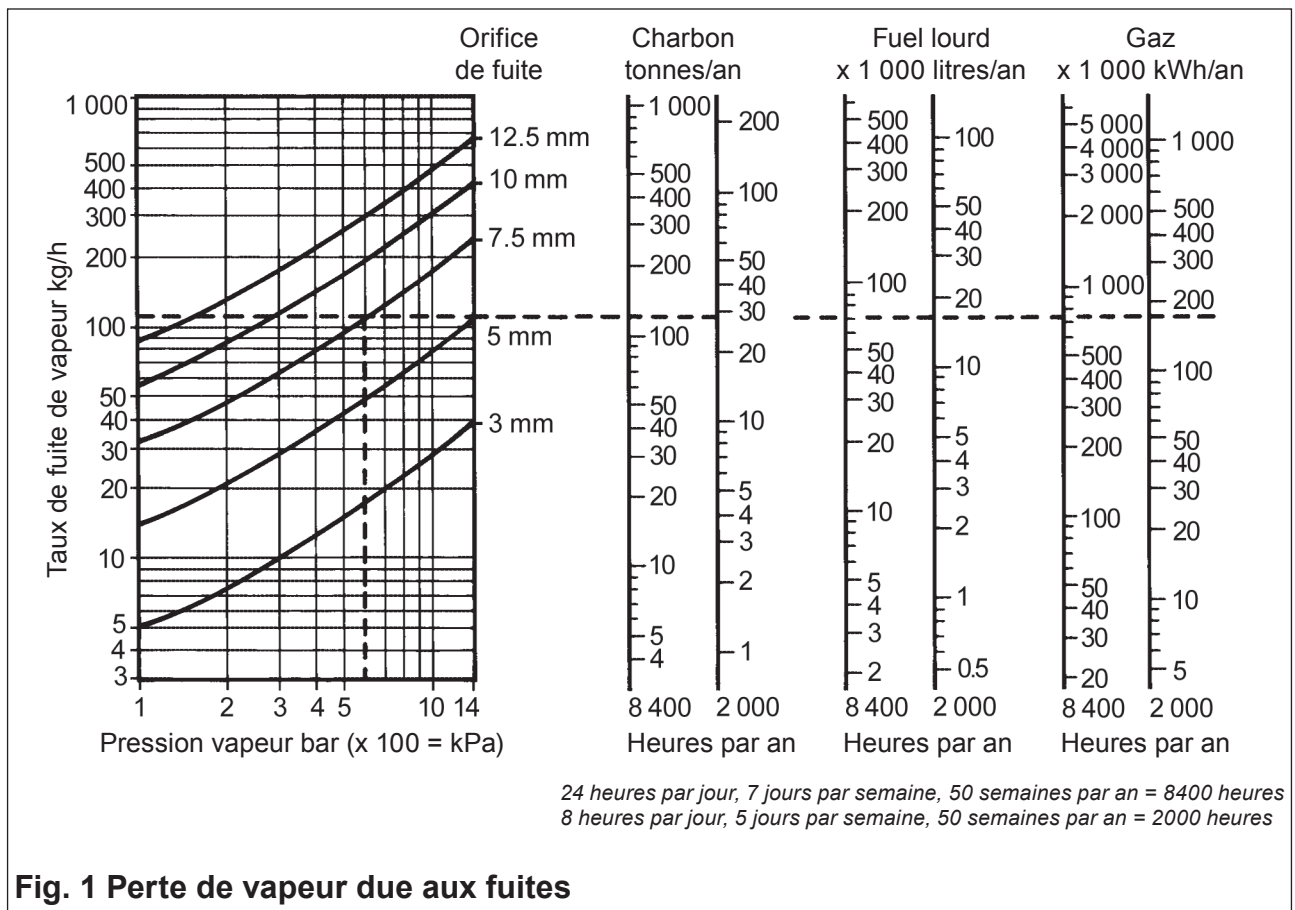


Fig. 1 Perte de vapeur due aux fuites

Tableau 1 Débits de réchauffage/en régime établi pour 50 mètres de réseau vapeur

Débits de réchauffage (mise en route) pour 50 mètres de collecteur vapeur (kg/h)

Pression vapeur bar eff.	Diamètre réseau - mm														Facteur correcteur -18°C
	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
1	5	9	11	16	22	28	44	60	79	94	123	155	182	254	1.39
2	6	10	13	19	25	33	49	69	92	108	142	179	210	296	1.35
3	7	11	14	20	25	36	54	79	101	120	156	197	232	324	1.32
4	8	12	16	22	30	39	59	83	110	131	170	215	254	353	1.29
5	8	13	17	24	33	42	63	70	119	142	185	233	275	382	1.28
6	9	13	18	25	34	43	66	93	124	147	198	242	285	396	1.27
7	9	14	18	26	35	45	68	97	128	151	197	250	294	410	1.26
8	9	14	19	27	37	47	71	101	134	158	207	261	307	428	1.25
9	10	15	20	28	38	50	74	105	139	164	216	272	320	436	1.24
10	10	16	20	29	40	51	77	109	144	171	224	282	332	463	1.24
12	10	17	22	31	42	54	84	115	152	180	236	298	350	488	1.23
14	11	17	23	32	44	57	85	120	160	189	247	311	366	510	1.22
16	12	19	24	35	47	61	91	128	172	203	265	334	393	548	1.21
18	17	23	31	45	62	84	127	187	355	305	393	492	596	708	1.21
20	17	26	35	51	71	97	148	220	302	362	465	582	712	806	1.20
25	19	29	39	56	78	108	164	243	333	400	533	642	786	978	1.19
30	21	32	41	62	86	117	179	265	364	437	571	702	859	1150	1.18
40	22	34	46	67	93	127	194	287	395	473	608	762	834	1322	1.16
50	24	37	50	73	101	139	212	214	432	518	665	834	1020	1450	1.15
60	27	41	54	79	135	181	305	445	626	752	960	1218	1480	2140	1.15
70	29	44	59	86	156	208	346	510	717	861	1100	1396	1694	2455	1.15
80	32	49	65	95	172	232	386	568	800	960	1220	1550	1890	2730	1.14
90	34	51	69	100	181	245	409	598	842	1011	1288	1635	1990	2880	1.14
100	35	54	72	106	190	257	427	628	884	1062	1355	1720	2690	3030	1.14
120	42	64	86	126	227	305	508	748	1052	1265	1610	2050	2490	3600	1.13

Débits en régime établi pour 50 mètres de collecteur vapeur (kg/h)

Pression vapeur bar eff.	Diamètre réseau - mm														Facteur correcteur -18°C
	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
1	5	5	7	9	10	13	16	19	23	25	28	31	35	41	1.54
2	5	6	8	10	12	14	18	22	26	28	32	35	39	46	1.50
3	6	7	9	11	14	16	20	25	30	32	37	40	45	54	1.48
4	7	9	10	12	16	18	23	28	33	37	42	46	51	61	1.45
5	7	9	11	13	17	20	24	30	36	40	46	49	55	66	1.43
6	8	10	11	14	18	21	26	33	39	43	49	53	59	71	1.42
7	8	10	12	15	19	23	28	35	42	46	52	56	63	76	1.41
8	9	11	14	16	20	24	30	37	44	49	57	61	68	82	1.40
9	9	11	14	17	21	25	32	39	47	52	60	64	72	88	1.39
10	10	12	15	17	21	25	33	41	49	54	62	67	75	90	1.38
12	11	13	16	18	23	26	36	45	53	59	67	73	81	97	1.38
14	12	14	17	20	26	30	39	49	58	64	73	79	93	106	1.37
16	12	15	18	23	29	34	42	52	62	68	78	85	95	114	1.36
18	14	16	19	24	30	36	44	55	66	72	82	90	100	120	1.36
20	15	17	21	25	31	37	46	58	69	76	86	94	105	125	1.35
25	15	19	23	28	35	42	52	66	78	86	97	106	119	141	1.34
30	17	21	25	31	39	47	51	73	87	96	108	118	132	157	1.33
40	20	25	30	38	46	56	70	87	104	114	130	142	158	189	1.31
50	24	29	34	44	54	65	82	102	121	133	151	165	184	220	1.29
60	27	32	39	50	62	74	95	119	140	155	177	199	222	265	1.28
70	29	35	43	56	70	82	106	133	157	173	198	222	248	296	1.27
80	34	42	51	66	81	97	126	156	187	205	234	263	293	350	1.26
90	38	46	56	72	89	106	134	171	204	224	265	287	320	284	1.26
100	41	50	61	78	96	114	149	186	220	242	277	311	347	416	1.25
120	52	63	77	99	122	145	189	236	280	308	352	395	440	527	1.22

Nota : Débits de réchauffage et en régime établi basés sur une température ambiante de 20°C, et un calorifugeage efficace à 80%.

1.2 Purgeurs thermostatiques

1.2.1 Purgeur à dilatation de liquide

C'est l'un des purgeurs thermostatiques les plus simples. Il est représenté Figure 2. Un élément rempli de pétrole se dilate lorsqu'il est chauffé et rapproche le clapet contre le siège. Le réglage permet de modifier la température de la purge de 60°C à 100°C, ce qui rend le purgeur idéalement approprié pour évacuer de grandes quantités d'air et de condensat froid au démarrage.

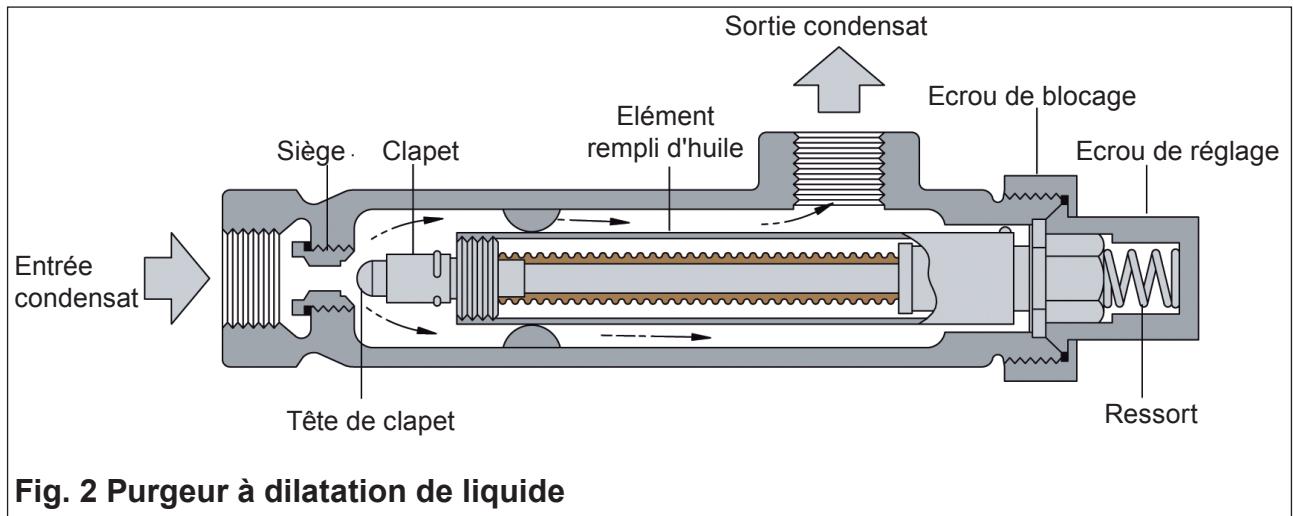


Fig. 2 Purgeur à dilatation de liquide

La température de la vapeur varie avec la pression. La Figure 3 présente la courbe de saturation pour la vapeur, ainsi que la ligne de réponse à température fixe (X – X) du purgeur à dilatation de liquide.

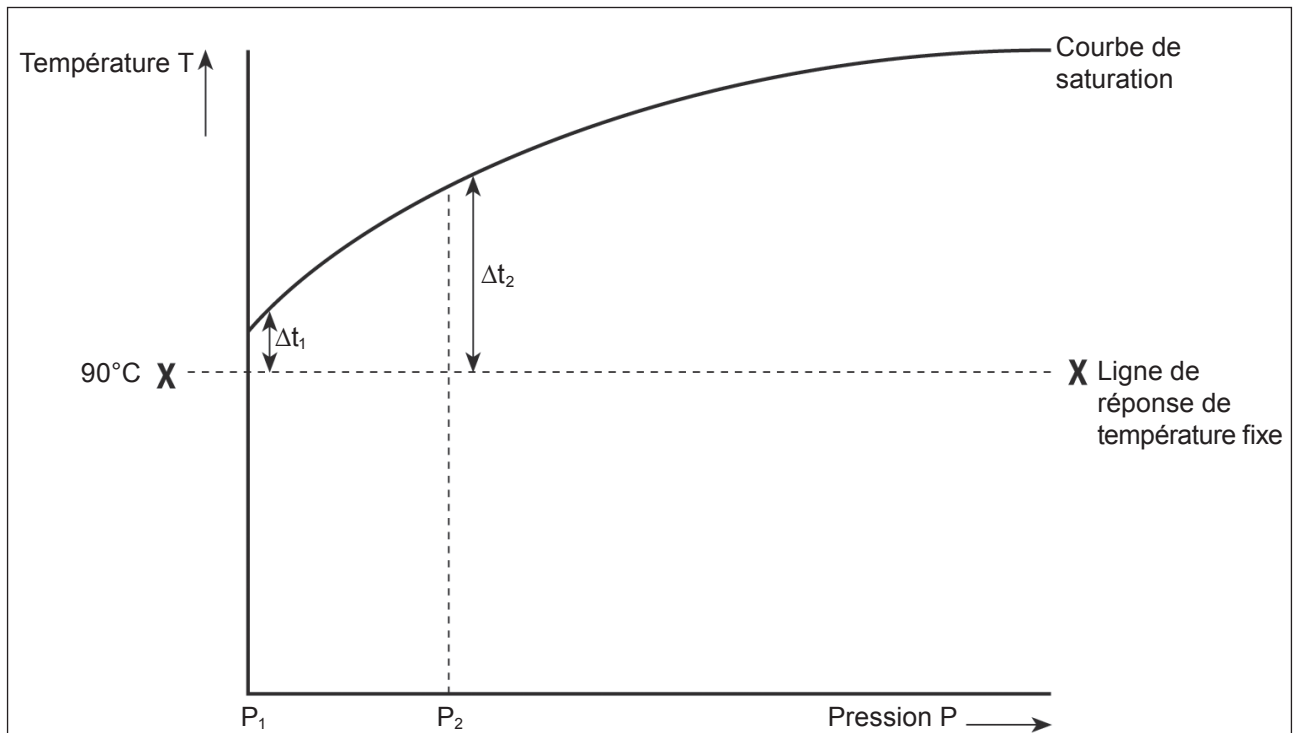
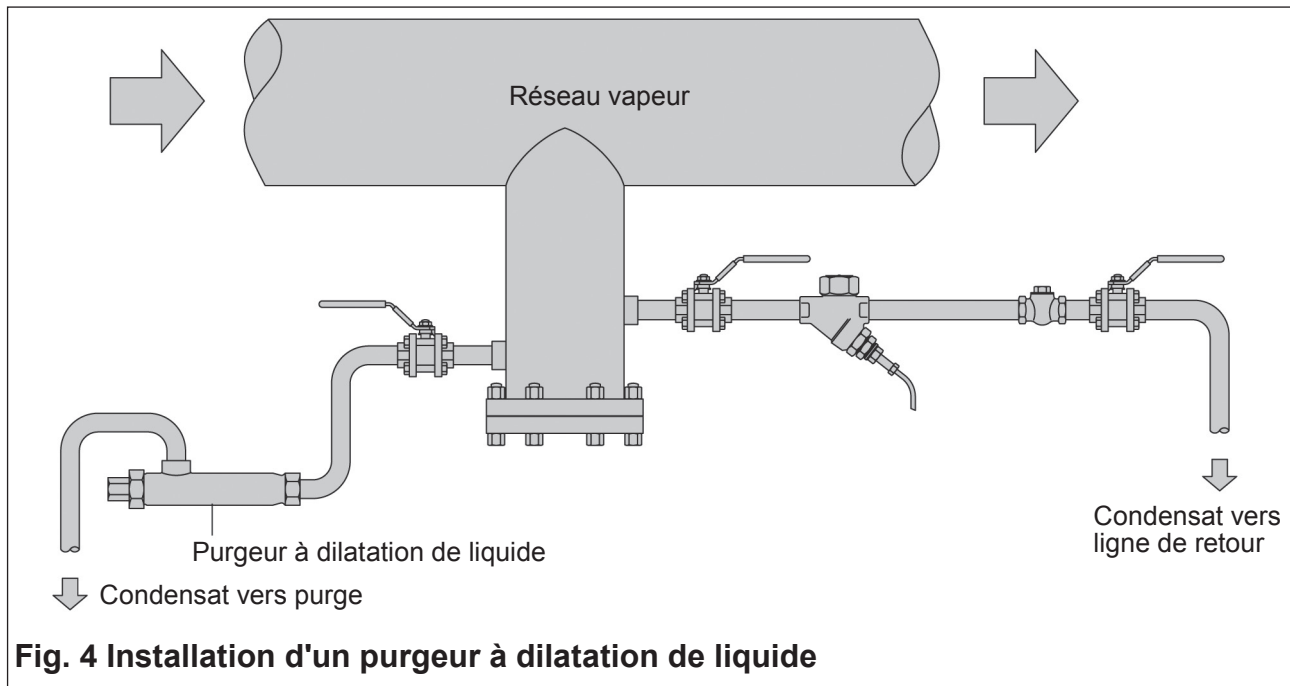


Fig. 3 Réaction d'un purgeur à dilatation de liquide X - X

A la pression P_1 , le condensat sera refroidi d'une faible valeur (Dt_1), et la purge sera acceptable. Toutefois, si la pression augmente à P_2 , le condensat doit être plus refroidi (Dt_2) avant d'être évacué par le purgeur, entraînant ainsi une retenue d'eau. A cause de sa caractéristique d'évacuation à température fixe, le purgeur à dilatation de liquide peut être utilement employé comme "purgeur de vidange lors de l'arrêt de l'installation". Dans ce cas, la sortie doit toujours être placée vers le haut, comme indiqué sur la Figure 4, pour permettre une immersion continue de l'élément rempli de pétrole, et être dirigée via un point de purge à l'extrémité ouverte placée en dessous de son corps, vers un endroit sans danger. Comme il peut évacuer uniquement entre 60°C et 10°C, il doit être installé avec un purgeur de réseau "normal" qui pourra être raccordé à une ligne de retour de condensat.



1.2.1.1 Avantages du purgeur à dilatation de liquide

- Les purgeurs à dilatation de liquide peuvent être réglés pour évacuer à des températures très basses, donnant une possibilité excellente de "purge à froid" (vidange).
- Comme pour le purgeur thermostatique à pression équilibrée, le purgeur à dilatation de liquide est complètement ouvert à froid, donnant une bonne évacuation de l'air et un débit maximal de condensat pour les démarrages.
- Le purgeur à dilatation de liquide peut être utilisé comme un purgeur de démarrage pour des réseaux de vapeur surchauffée basse pression lorsqu'une longue ligne de refroidissement assure la mise en eau. Il résiste aux vibrations et aux coups de bélier.

1.2.1.2 Inconvénients du purgeur à dilatation de liquide

- Le tube ondulé de l'élément peut être détruit par les condensats corrosifs.
- Comme le purgeur à dilatation de liquide évacue le condensat à une température inférieure ou égale à 100°C, il ne doit jamais être utilisé pour des applications qui nécessitent une évacuation immédiate des condensats de l'espace vapeur.
- S'il est soumis au gel, le purgeur à dilatation de liquide et la tuyauterie sur lequel il est installé doivent être calorifugés.
- Le purgeur à dilatation de liquide n'est généralement pas une solution pour purger seul, il nécessite souvent un autre purgeur installé en parallèle. Cependant, il peut souvent être utilisé lorsque le débit de démarrage n'est pas important comme la purge de serpentins de chauffage de petits réservoirs (comme présenté Fig. 77).

1.2.2 Purgeurs thermostatiques à pression équilibrée

Une amélioration importante du fonctionnement des purgeurs à dilatation de liquide est apportée par le purgeur thermostatique à pression équilibrée représenté Figure 5. Comme son nom le suggère, il est "équilibré" pour faire face aux variations de pression (et donc de température). L'élément de fonctionnement est une capsule contenant une petite quantité d'un liquide spécial dont le point d'ébullition est inférieur à celui de l'eau. Dans le cas de conditions froides qui existent au démarrage, la capsule est détendue. Le clapet ne repose pas sur son siège qui est grand ouvert, permettant une évacuation sans restriction de l'air. C'est une caractéristique de tous les purgeurs à pression équilibrée qui explique leur bonne adaptation à la purge d'air.

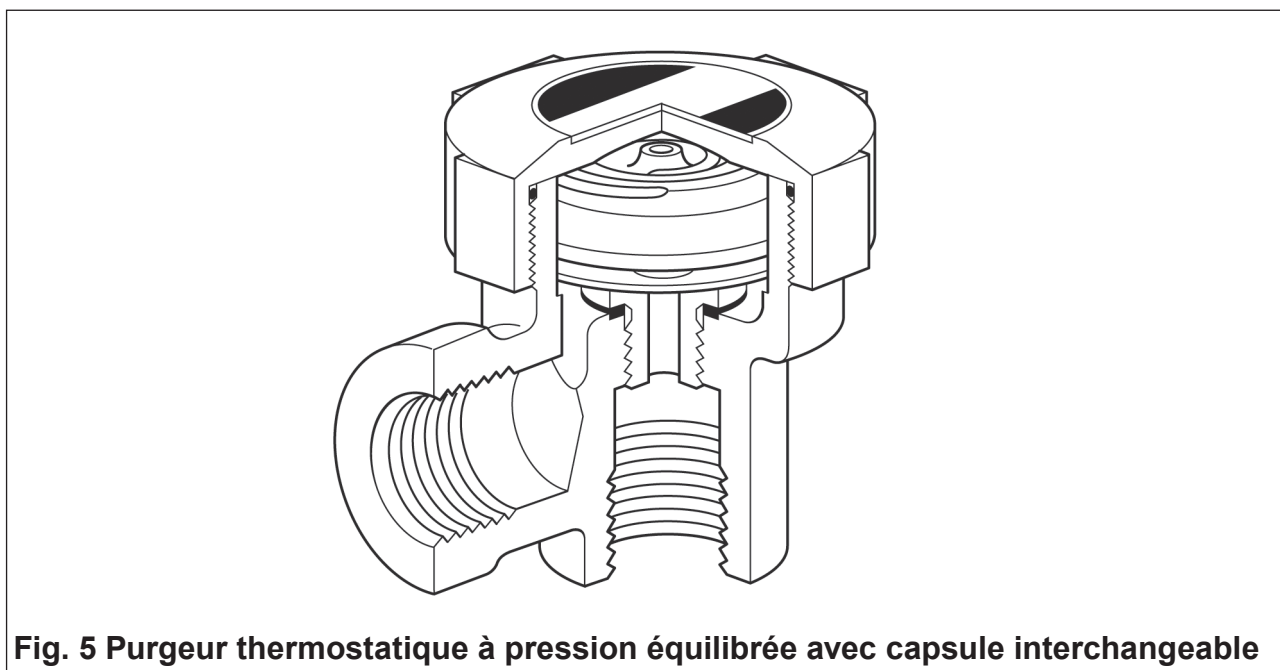


Fig. 5 Purgeur thermostatique à pression équilibrée avec capsule interchangeable

Lorsque le condensat passe dans le purgeur thermostatique à pression équilibrée, la chaleur est transférée au liquide de la capsule. Le liquide de remplissage se vaporise avant que la vapeur n'atteigne le purgeur. La pression de la vapeur à l'intérieur de la capsule provoque sa dilatation et le purgeur se ferme. La perte de chaleur du purgeur refroidit ensuite l'eau environnant la capsule, le liquide de remplissage se condense et la capsule se contracte, ouvrant le clapet et relâchant le condensat jusqu'à ce que la température s'élève de nouveau à une valeur telle que le cycle recommence (Figure 6).

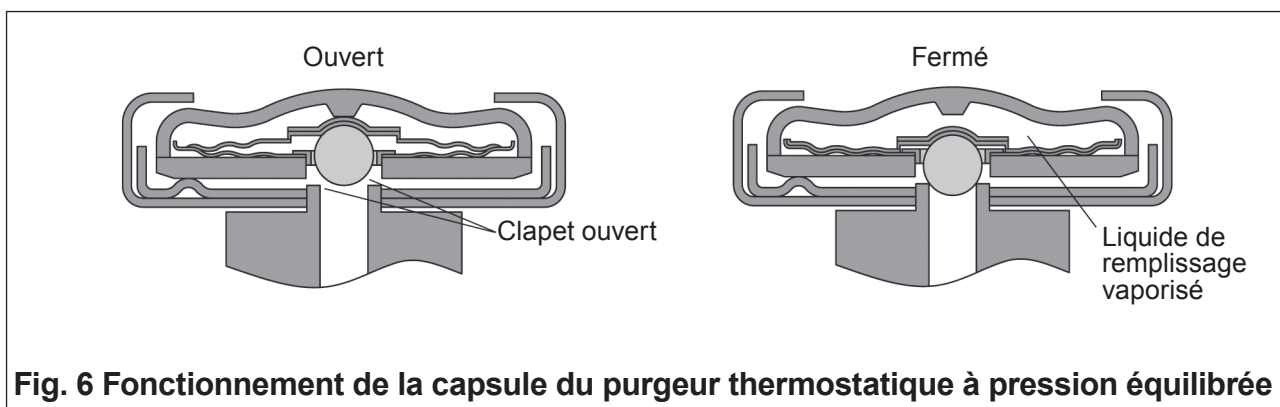


Fig. 6 Fonctionnement de la capsule du purgeur thermostatique à pression équilibrée

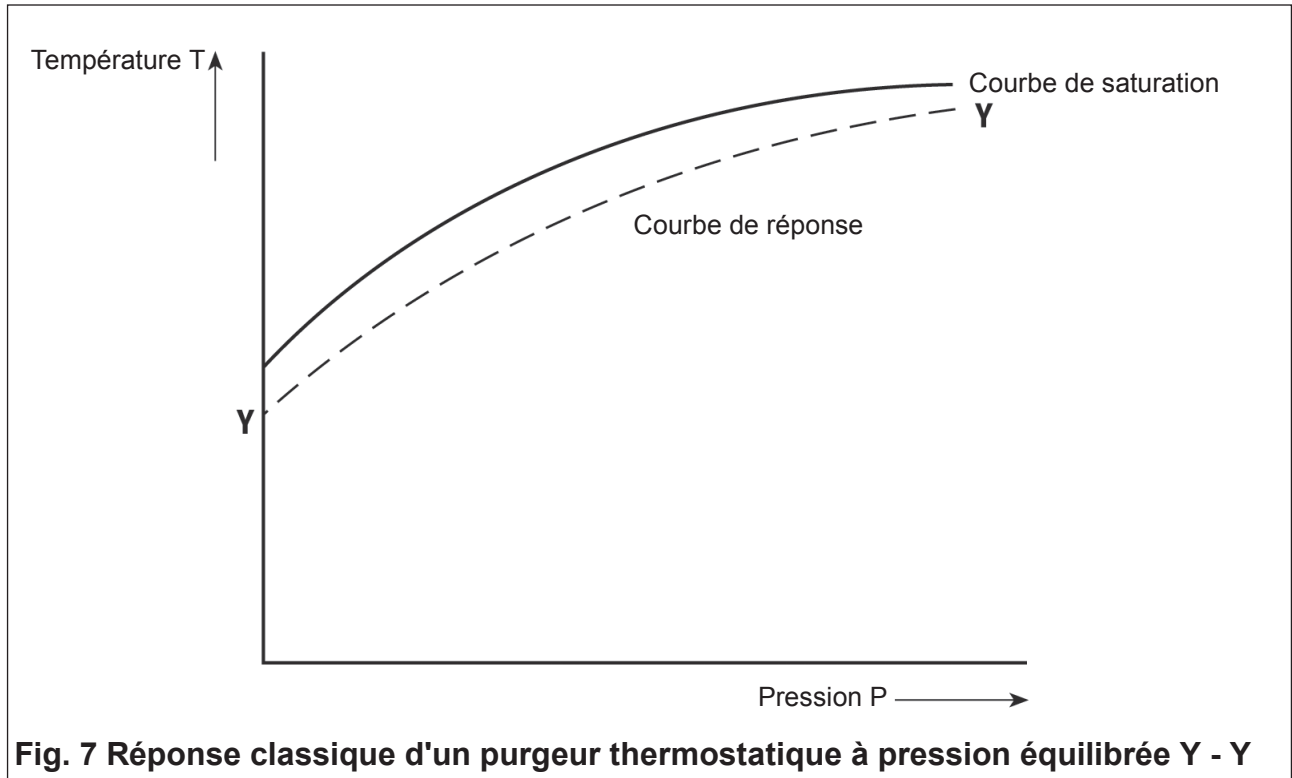


Fig. 7 Réponse classique d'un purgeur thermostatique à pression équilibrée Y - Y

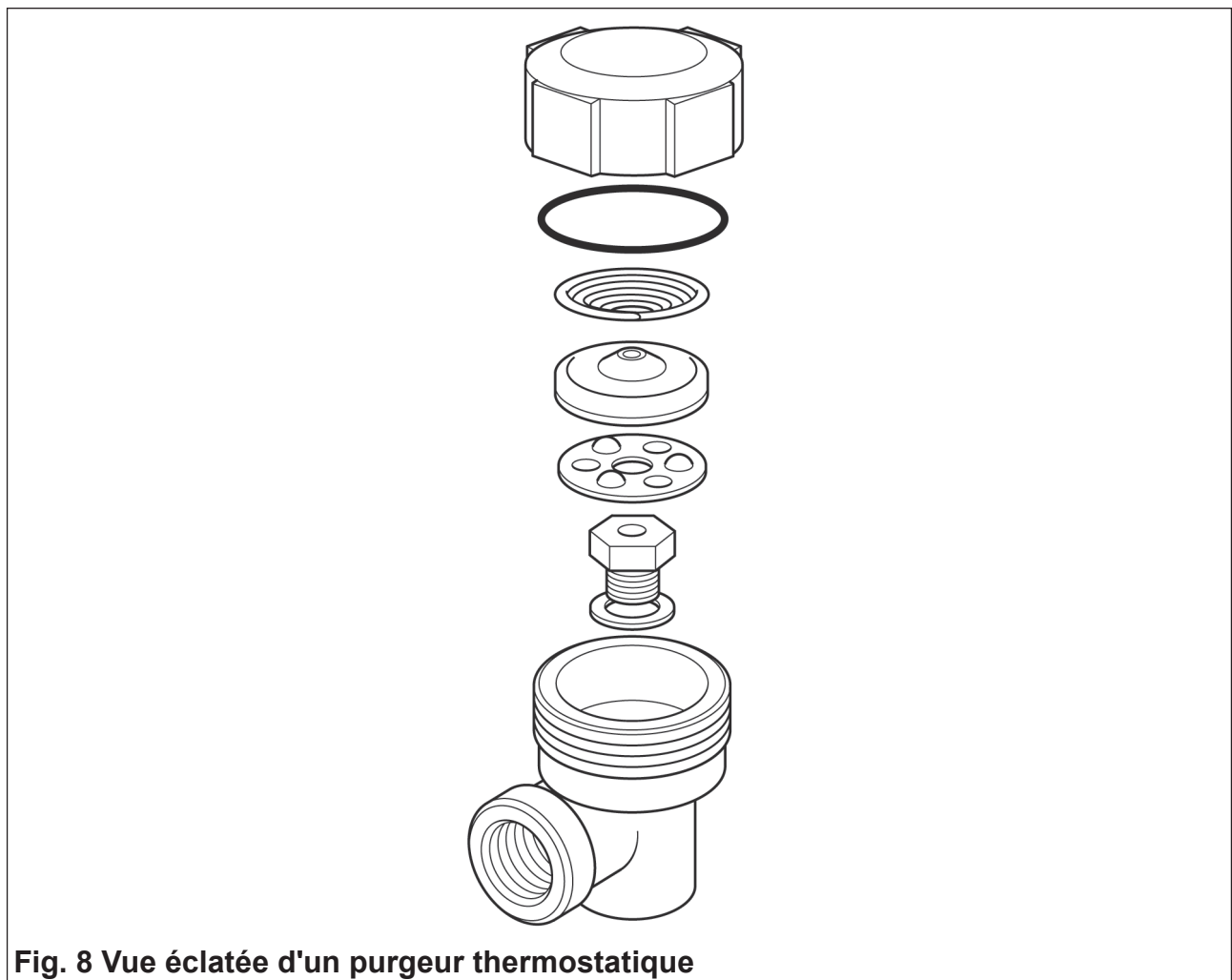


Fig. 8 Vue éclatée d'un purgeur thermostatique

1.2.2.1 Avantages du purgeur thermostatique à pression équilibrée

Le différentiel inférieur à la température de vapeur auquel le purgeur fonctionne est géré par la concentration du liquide de remplissage de la capsule. Le fait que l'élément ait des parois très fines permet une réponse rapide aux changements de pression et de température. Le résultat donne la ligne de réponse visible sur la Figure 7.

Dans le passé, l'élément interne sous forme de soufflet en matériau non ferreux était susceptible d'être détérioré par les coups de bélier. L'introduction d'éléments en acier inoxydable améliore la situation. La Figure 8, page 17 présente une vue éclatée d'un purgeur thermostatique à pression équilibrée moderne qui a une résistance considérable à la détérioration par les coups de bélier, la surchauffe et la corrosion.

- Ces purgeurs sont petits, légers et ont un grand débit pour leur taille. Le clapet est complètement ouvert au démarrage, permettant à l'air et aux autres gaz incondensables d'être évacués librement et donnant une évacuation maximale du condensat lorsque le débit est le plus grand.
- Ce type de purgeur n'est pas sensible au gel lorsqu'il fonctionne dans des conditions exposées (à moins qu'il y ait une remontée de la tuyauterie après le purgeur, ce qui permettrait à l'eau de revenir et de noyer le purgeur lorsqu'il n'y a pas de vapeur).
- Le purgeur à pression équilibré moderne s'adapte automatiquement aux variations de pression de la vapeur jusqu'à sa pression maximale de service. Il tolère aussi jusqu'à 70°C de surchauffe.
- L'entretien des purgeurs est simple. La capsule et le siège s'enlèvent facilement et leur remplacement peut être réalisé en quelques minutes sans démonter le purgeur de la tuyauterie.

1.2.2.2 Inconvénients du purgeur thermostatique à pression équilibrée

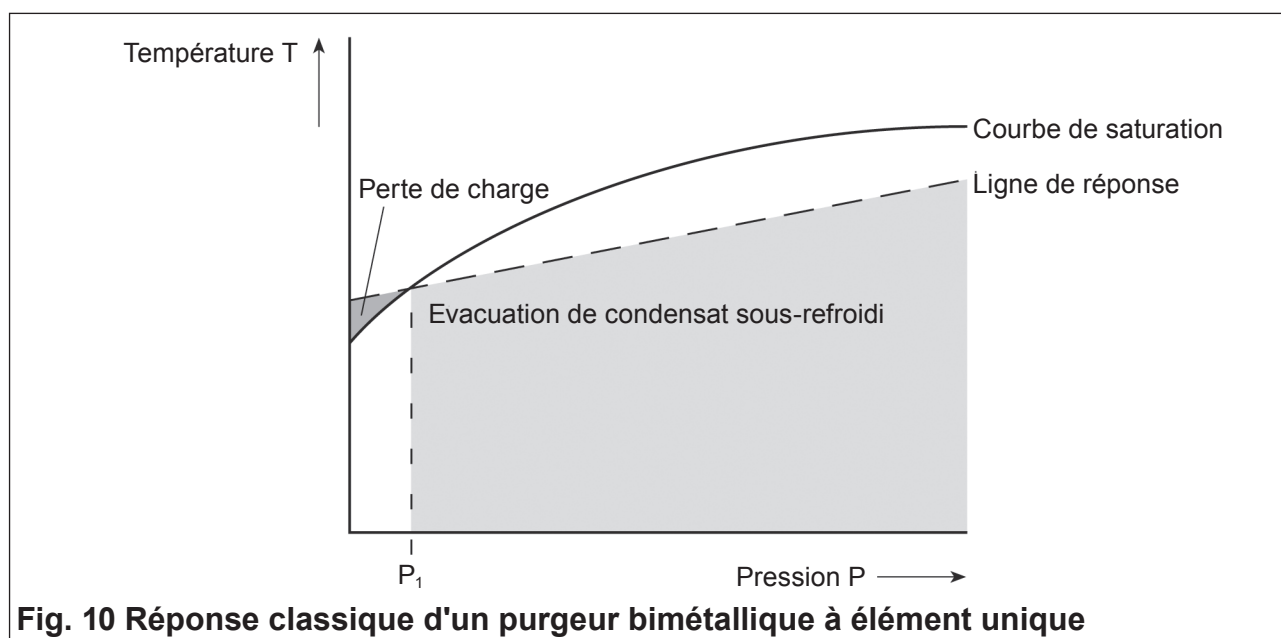
- Les purgeurs d'ancienne génération avaient des éléments flexibles qui pouvaient être détériorés par des coups de bélier ou des condensats corrosifs. Les capsules en acier inoxydable soudées introduites les années récentes tolèrent mieux de telles conditions.
- Les vieux purgeurs ne peuvent pas être utilisés sur de la vapeur surchauffée. La température excessive crée une pression dans l'élément thermostatique qui n'est pas équilibrée par la pression l'environnant. Cela entraîne des détériorations irrémédiables de l'élément. Toutefois, les éléments modernes sous forme de capsule par exemple Figures 6, 7 et 8, sont capables de supporter des conditions de surchauffe.
- De même que les autres purgeurs thermostatiques, le purgeur thermostatique à pression équilibrée ne s'ouvre pas tant que la température du condensat n'est pas inférieure à la température de la vapeur (l'écart exact de température est déterminé par le fluide utilisé pour le remplissage de la capsule). Il s'agit d'un véritable inconvénient si le purgeur est sélectionné pour une application qui ne tolère pas l'engorgement de l'espace vapeur, comme par exemple, la purge de lignes principales ou le traçage critique.

1.2.3 Purgeur bimétallique

Comme son nom le laisse entendre, les purgeurs bimétalliques sont construits en utilisant deux bandes de métaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents (bilame) soudées ensemble en un seul élément qui se cintre lorsqu'il est chauffé (Figure 9).



Deux points importants caractérisant ce simple élément. D'une part, le fonctionnement du purgeur a lieu à une certaine température fixée qui peut ne pas répondre aux conditions d'un système vapeur fonctionnant souvent à des pressions et des températures variables. D'autre part, parce que la puissance exercée par un bilame unique est faible, plusieurs bilames seront nécessaires et cette masse de métal entraînera une réaction lente aux changements de température dans le réseau vapeur.



Le fonctionnement de tout purgeur peut être rattaché à sa réponse à la relation pression/température de la courbe de saturation de vapeur. La réponse idéale suivra étroitement la courbe et sera juste inférieure. Un élément bimétallique simple répondra plutôt de façon linéaire aux changements de température des condensats.

La Figure 10 présente comment la caractéristique rectiligne d'un élément bimétallique simple se situe par rapport à la courbe de saturation de vapeur. Lorsque la pression de la vapeur augmente au-delà de P_1 , la différence entre la température de saturation de la vapeur et la température d'ouverture du purgeur augmente. Cela entraînera plus de retenue d'eau lorsque la pression dans le réseau augmente, soulignant l'incapacité du purgeur à répondre aux conditions de changement de pression.

Notez aussi que pour des pressions inférieures à P_1 , la température d'ouverture du purgeur est supérieure à la température de saturation. Cela signifie que le purgeur laissera passer de la vapeur vive à ces pressions plus faibles. Il peut être possible que le purgeur soit réglé lors de sa fabrication pour que la portion de la courbe de saturation soit toujours au-dessus de la ligne caractéristique du purgeur. Toutefois, à cause de l'action linéaire de l'élément, la différence entre les deux augmentera toujours avec l'augmentation de la pression du réseau, entraînant toujours des retenues d'eau plus importantes.

Clairement, le fonctionnement de tout purgeur de ce type n'est pas satisfaisant et différentes tentatives ont été faites par les fabricants de ce type pour améliorer la situation. Certains ont utilisés des combinaisons de plusieurs paires de bilames sous forme d'empilage pour fonctionner à différentes températures (Figure 11).

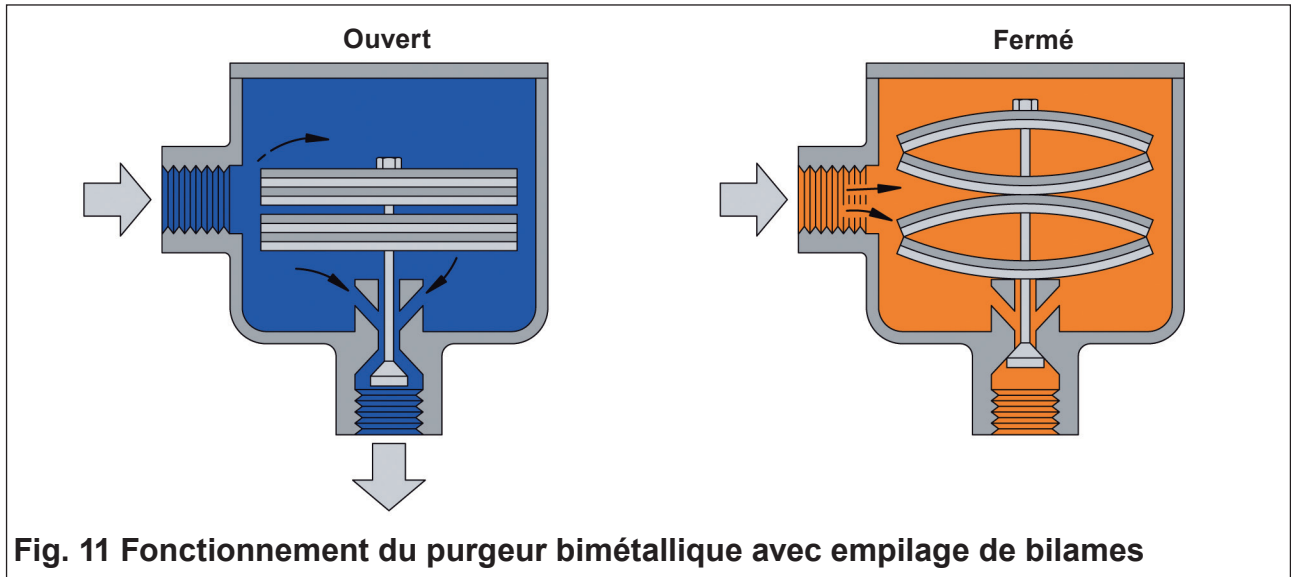


Fig. 11 Fonctionnement du purgeur bimétallique avec empilage de bilames

Le résultat classique est une courbe de réponse brisée similaire à celle présentée Figure 12. Il s'agit d'une amélioration par rapport à la Figure 11, mais elle ne suit toujours pas étroitement la courbe de saturation. L'un des ensembles de bilames se cintre pour donner la réponse P_1 à P_2 . A une température plus élevée, un deuxième ensemble de bilames contribue à donner la réponse P_2 à P_3 . Manifestement, malgré une amélioration par rapport à l'ancienne conception, cette disposition n'est toujours pas satisfaisante pour le suivi de la courbe de saturation.

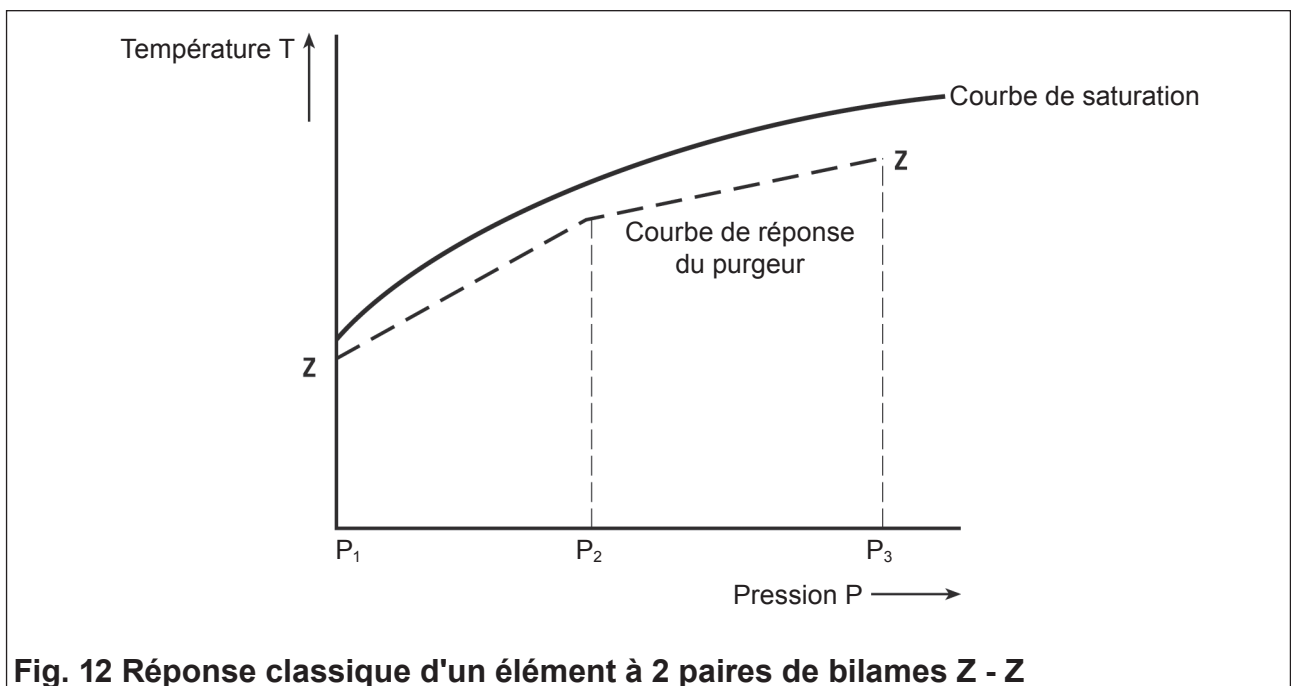


Fig. 12 Réponse classique d'un élément à 2 paires de bilames Z - Z

L'élément multi-croix présenté Figure 13 est une conception plus réussie. La Figure indique comment trois bras de différentes longueurs fonctionnent à différentes températures, chaque bras donnant une force plus grande pour fermer l'orifice du purgeur lorsque la température du condensat augmente.

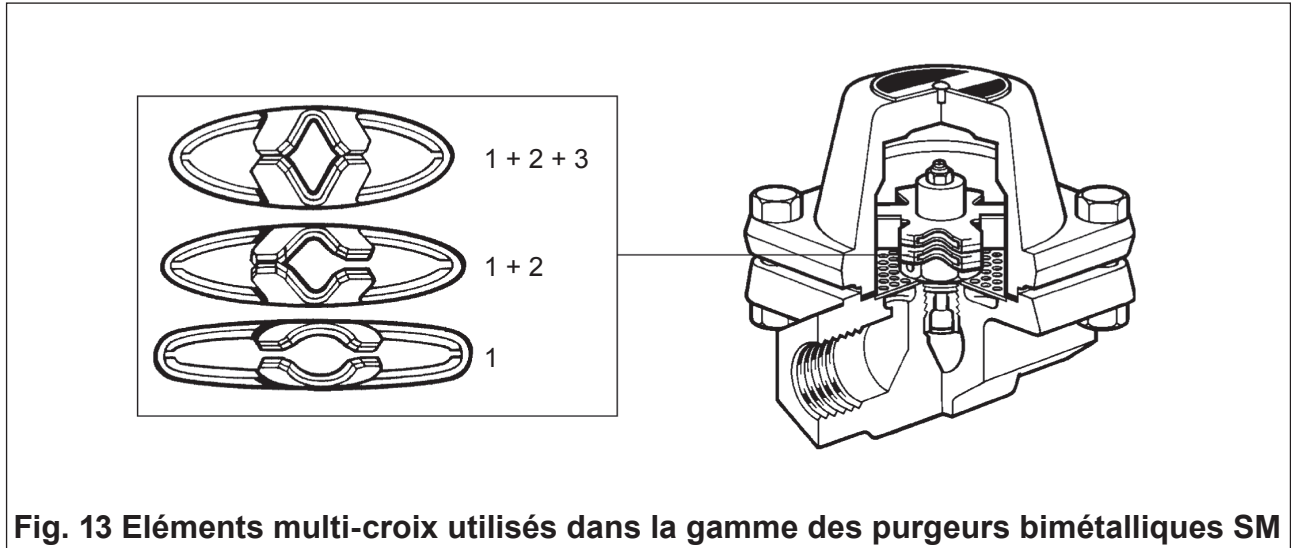


Fig. 13 Eléments multi-croix utilisés dans la gamme des purgeurs biméalliques SM

Cela a pour effet d'ajouter une force de plus en plus grande en trois étapes progressives pour fermer l'orifice. Sur la Figure 14, entre P_1 et P_2 , seule une paire opposée se touche et produit une force de fermeture. Entre P_2 et P_3 , deux paires opposées se touchent et donnent une force de fermeture plus grande, et entre P_3 et P_4 , les trois branches opposées se touchent et produisent la force la plus élevée. Le refroidissement produit l'effet opposé, et l'orifice du purgeur s'ouvre. Ce type de conception produit un bon suivi de la courbe de saturation (Figure 14).

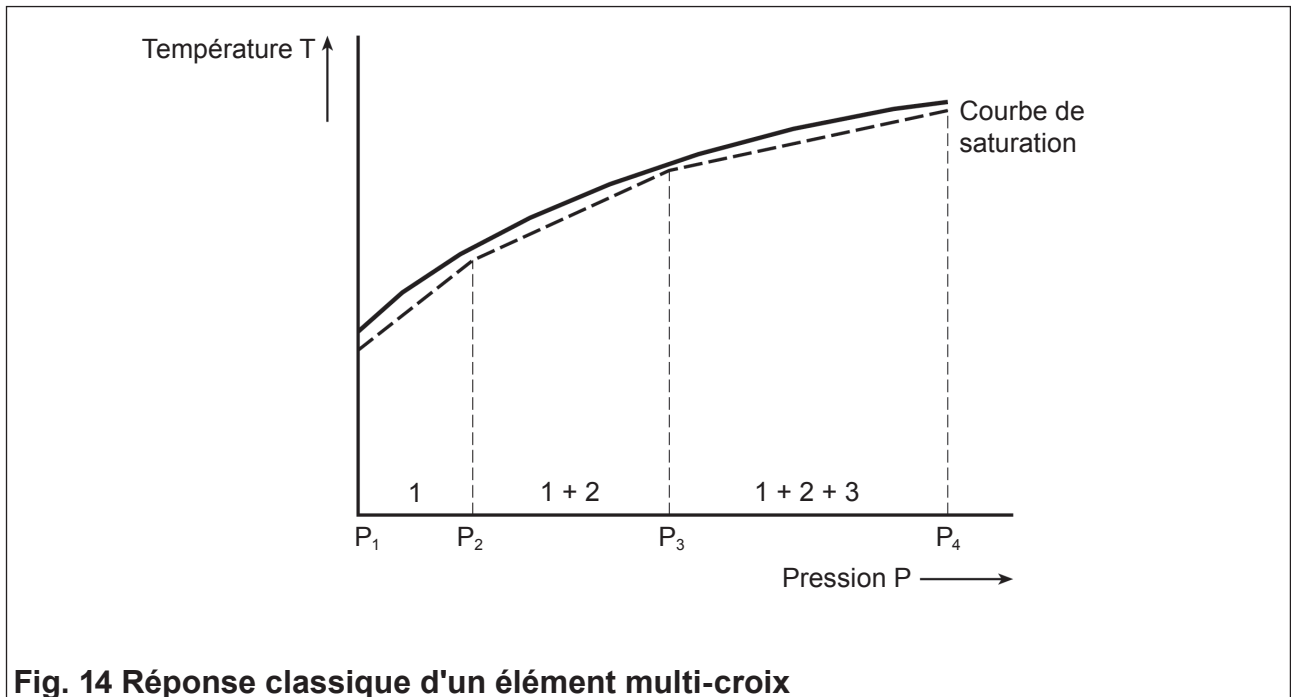


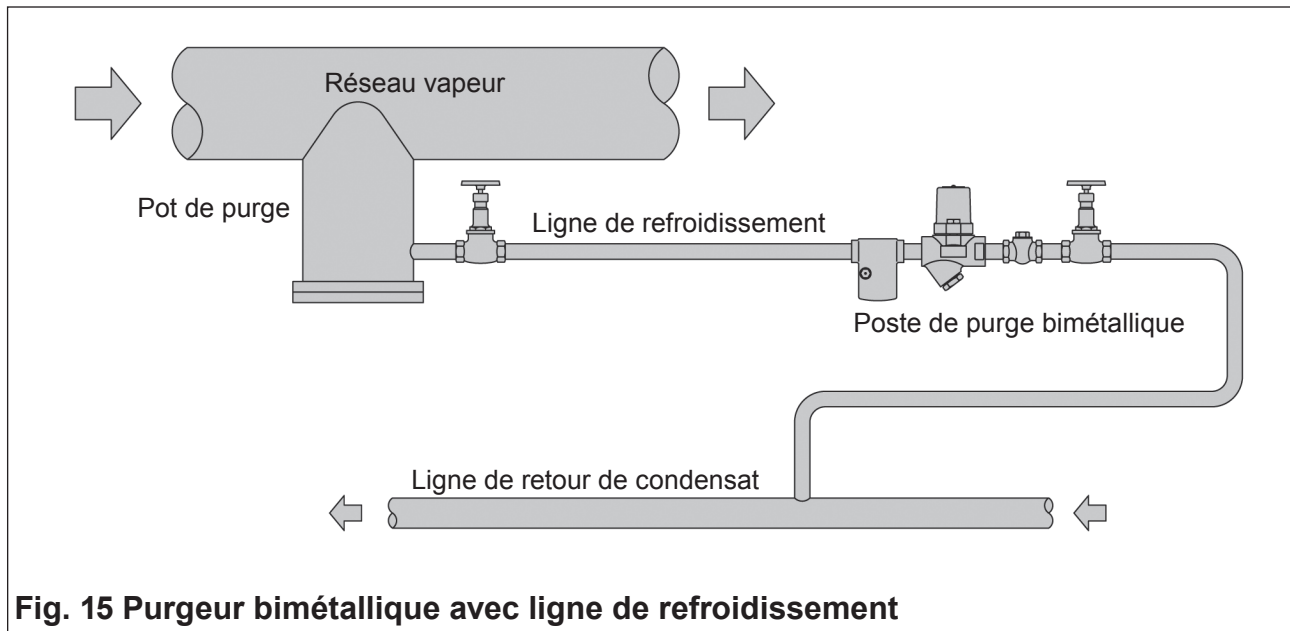
Fig. 14 Réponse classique d'un élément multi-croix

1.2.3.1 Avantages du purgeur bimétallique

- Les purgeurs bimétalliques sont généralement compacts. Ils peuvent avoir des débits importants de condensat.
- Le clapet est complètement ouvert lorsque le purgeur est froid, donnant une bonne purge d'air et une évacuation maximale du condensat au démarrage.
- Comme les condensats ont tendance à s'évacuer librement vers la sortie, ce type de purgeur ne gèle pas lorsqu'il est en service dans des conditions exposées. Les corps de certains purgeurs bimétalliques sont conçus de telle façon qu'ils ne se détériorent pas même en cas de gel.
- Les purgeurs bimétalliques peuvent généralement supporter les coups de bélier, les condensats corrosifs, et des pressions élevées.
- Les éléments bimétalliques peuvent fonctionner sur une large plage de pressions sans besoin de changer la taille de l'orifice du siège.
- Si le clapet est placée du côté aval du siège, il peut agir comme un clapet anti-retour et prévenir toute inversion de l'écoulement dans le purgeur.
- Comme le condensat est évacué à des températures variables inférieures à la température de saturation, une certaine quantité de l'enthalpie de l'eau saturée peut être transférée à l'installation, si la retenue d'eau dans l'espace vapeur peut être tolérée. Ainsi, un maximum d'énergie est extrait du condensat avant son évacuation.
- L'entretien de ce type de purgeur présente peu de problèmes et les pièces internes peuvent être remplacées sans ôter le corps de la tuyauterie.

1.2.3.2 Inconvénients du purgeur bimétallique

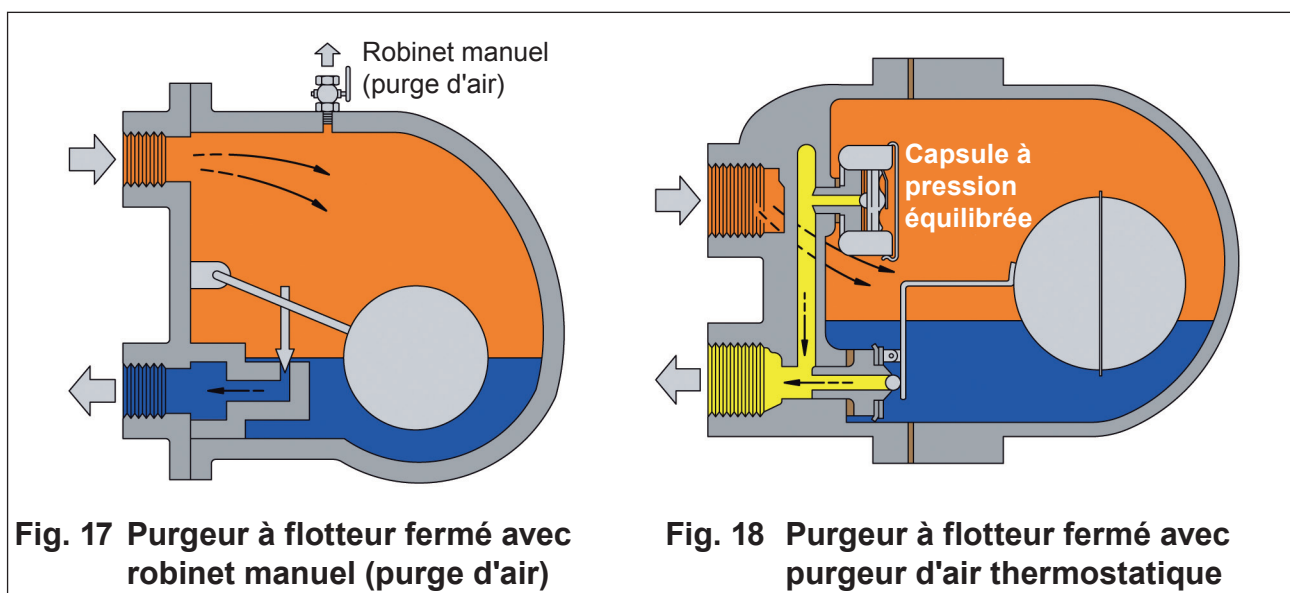
- Les purgeurs bimétalliques ne répondent pas rapidement aux changements de débits et de pression car l'élément est lent à répondre.
- Comme les condensats sont évacués à une température inférieure à la température de la vapeur, l'espace vapeur est saturé d'eau à moins que le purgeur ne soit fixé à l'extrémité d'une ligne de refroidissement longue, généralement 2 à 3 mètres de tuyauterie non calorifugée. Les purgeurs bimétalliques ne sont pas appropriés pour des installations process où l'évacuation immédiate du condensat est vitale si un rendement maximal est recherché. Ce qui est particulièrement justifié pour des installations dont la température est régulée.
- Le purgeur bimétallique peut être bloqué par des impuretés du fait de la faible vitesse interne d'écoulement.
- Si le purgeur bimétallique doit évacuer avec une contrepression, le condensat doit être refroidi à une température inférieure à celle normalement requise avant que le clapet ne s'ouvre. Une contre pression de 50% peut diminuer de 50°C la température d'évacuation. Il peut être nécessaire d'augmenter la longueur de la ligne de refroidissement pour répondre à cette condition, comme indiqué Figure 15.
- La vapeur de revaporisation produite lorsque le condensat est évacué d'une pression élevée vers une pression moins élevée, provoquera une augmentation de la contrepression dans la ligne condensat. La ligne de refroidissement permet de refroidir les condensats, produisant ainsi moins de vapeur de revaporisation dans la ligne de condensat, et réduisant donc la contrepression.



1.3 Purgeurs mécaniques

1.3.1 Purgeur à flotteur fermé

Comme tous les autres purgeurs mécaniques, le purgeur à flotteur fermé sonde la différence de masse volumique entre la vapeur et le condensat. Dans le cas du purgeur présenté Figure 17, le condensat atteignant le purgeur provoquera la montée du flotteur, déplaçant le clapet du siège et laissant échapper les condensats. Comme on peut le voir, le clapet est toujours noyé et ni la vapeur ni l'air ne peuvent passer, aussi les premiers purgeurs de ce type furent équipés d'un robinet manuel placé au sommet du purgeur pour évacuer l'air et les incondensables. Les purgeurs modernes sont équipés d'un purgeur thermostatique comme représenté Figure 18. Cela permet à l'air initial de passer pendant que le purgeur gère les condensats.



Le purgeur d'air utilise le même élément à capsule à pression équilibrée qu'un purgeur thermostatique, et il est placé dans l'espace vapeur, au-dessus du niveau de condensat. Après s'être débarrassé de l'air initial, il restera fermé jusqu'à ce que l'air ou d'autres gaz s'accumulent durant le fonctionnement normal et provoquent à nouveau son ouverture. Le purgeur d'air thermostatique offre l'avantage supplémentaire d'augmenter significativement le débit de condensat en cas de démarrage froid.

Autrefois, le purgeur d'air thermostatique constituait une faiblesse lorsqu'il y avait des coups de bélier dans le système. De même, le flotteur fermé peut être détérioré si les coups de bélier sont intenses. Toutefois, dans les purgeurs à flotteur fermé modernes, le purgeur d'air est une capsule compacte en acier inoxydable, très solide, et les techniques modernes de soudure utilisées pour le flotteur fermé rendent le purgeur à flotteur fermé avec événement thermostatique fiable et très solide dans des situations difficiles, présentant des risques de coups de bélier.

Dans de nombreux cas, le purgeur à flotteur fermé avec événement thermostatique est le plus proche du purgeur idéal. Il évacue facilement les condensats dès leur formation, et il est insensible aux changements de pression.

1.3.1.1 Avantages du purgeur à flotteur fermé avec événement thermostatique

- Il donne une évacuation continue du condensat à la température de la vapeur. Il constitue ainsi le premier choix pour des applications recherchant le taux de transfert thermique le plus élevé pour la surface de chauffe disponible.
- Il peut gérer de façon égale des débits faibles ou importants de condensats et il n'est pas affecté par des fluctuations importantes ou soudaines de pression ou de débit.
- Dans la mesure où un purgeur d'air automatique est incorporé, il peut évacuer l'air sans contrainte.
- Il a un grand débit pour sa taille.
- Les versions équipées d'un robinet anti-bouchon de vapeur en font le type unique de purgeur approprié aux applications où des bouchons de vapeur peuvent exister.
- Il résiste aux coups de bélier.

1.3.1.2 Inconvénients du purgeur à flotteur fermé avec événement thermostatique

- Bien que moins sensible que le purgeur à flotteur inversé ouvert, il peut être détérioré par des gels rigoureux et le corps doit être bien calorifugé, et/ou complété d'un petit purgeur thermostatique supplémentaire, s'il doit être installé dans une position exposée.
- Des pièces internes différentes sont nécessaires pour permettre un fonctionnement sur des plages de pressions variables.

1.3.2 Purgeur à flotteur inversé ouvert

Le purgeur à flotteur inversé ouvert est représenté Figure 19. Comme son nom l'indique, la partie travaillant consiste en un flotteur inversé ouvert relié par un levier à un clapet. Le petit évent en haut du flotteur est une partie essentielle du purgeur. La Figure 19 présente son fonctionnement. Sur le schéma (i), le flotteur coule en tirant le clapet loin de son siège. Le condensat s'accumule sous la base du flotteur remplissant le corps et s'écoule à travers la sortie. Sur le schéma (ii), l'arrivée de la vapeur sous le flotteur provoque sa flottaison. Il s'élève dans le corps du purgeur et provoque la fermeture du clapet. En (iii), le purgeur reste fermé jusqu'à ce que la vapeur dans le flotteur se condense ou dégage des bulles à travers l'orifice de l'évent vers le sommet du corps du purgeur. Le flotteur va alors couler, tirant le clapet loin du siège. Les condensats accumulés sont évacués et le cycle recommence.

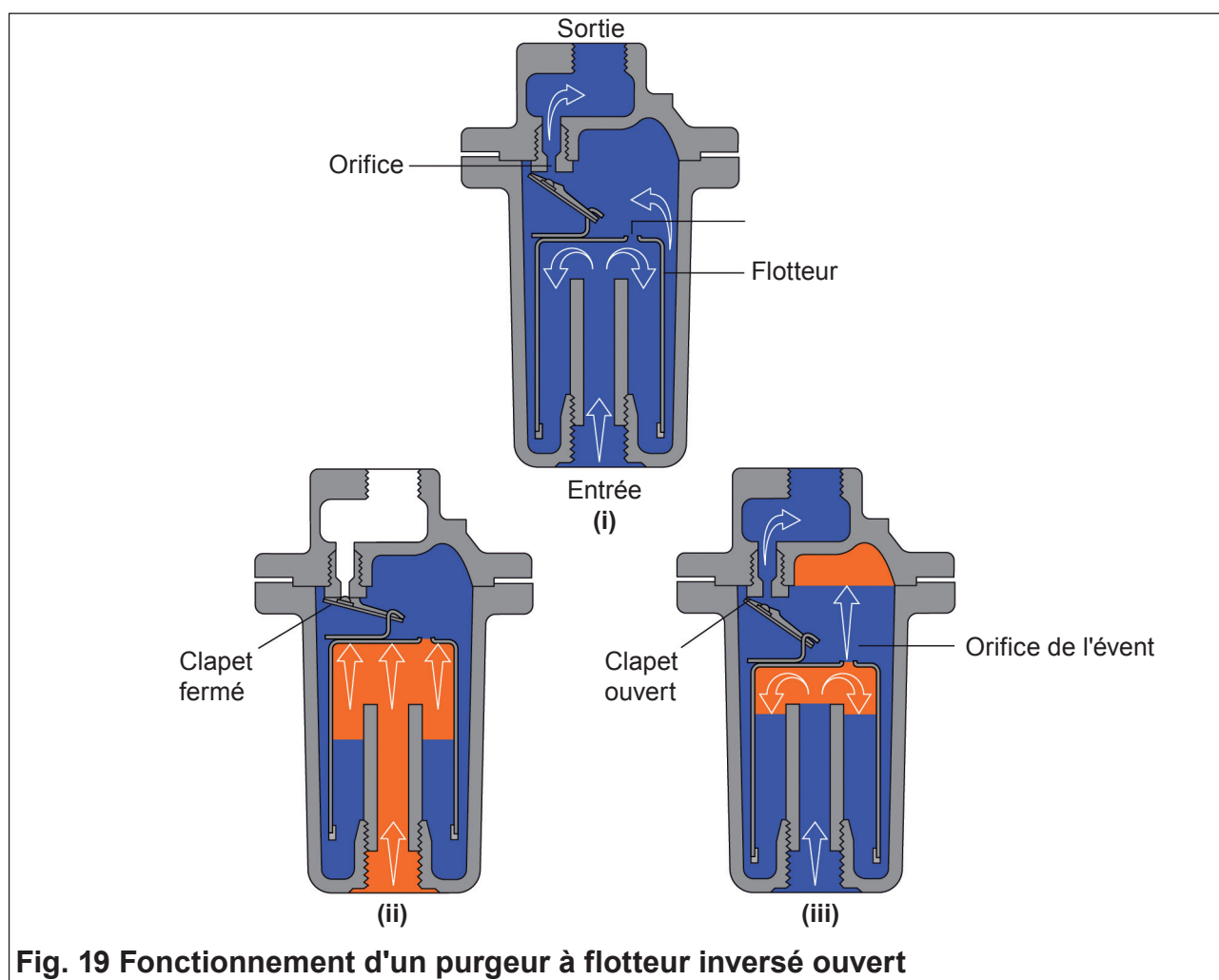


Fig. 19 Fonctionnement d'un purgeur à flotteur inversé ouvert

Sur le schéma (ii), l'air atteignant le purgeur au démarrage force aussi le flotteur à flotter et ferme le clapet. L'orifice de l'évent est essentiel pour permettre à l'air de s'échapper dans le sommet du purgeur pour une évacuation éventuelle à travers le siège. L'orifice est petit et la pression différentielle faible, le purgeur est donc relativement lent à évacuer l'air. En même temps, il doit laisser passer, et donc gaspiller une certaine quantité de vapeur pour que le purgeur fonctionne une fois l'air évacué ; après chaque flottaison du flotteur, la vapeur s'écoule au travers l'évent. Elle s'accumule au sommet du purgeur et est évacuée à chaque ouverture. Un purgeur d'air parallèle monté à l'extérieur du purgeur réduira les temps de démarrage.

1.3.2.1 Avantages du purgeur à flotteur inversé ouvert

- Le purgeur à flotteur inversé ouvert peut être réalisé pour supporter des pressions élevées.
- Comme le purgeur à flotteur fermé avec événement thermostatique, il supporte bien les coups de bélier.
- Il peut être utilisé sur des lignes de vapeur surchauffée avec l'addition d'un clapet anti-retour efficace à l'entrée.

1.3.2.2 Inconvénients du purgeur à flotteur inversé ouvert

- La petite taille de l'évent en haut du flotteur signifie que ce type de purgeur évacue l'air très lentement. L'orifice ne peut pas être élargi, car la vapeur passerait à travers trop rapidement pendant le fonctionnement normal.
- Il doit toujours y avoir assez d'eau dans le corps du purgeur pour agir comme un joint autour du flotteur. Si le purgeur perd ce joint d'eau, de la vapeur peut s'écouler à travers le siège du purgeur. Cela peut arriver avec des applications où il peut exister une soudaine perte de pression, provoquant la revaporisation d'une partie des condensats dans le corps du purgeur. Le flotteur perd sa capacité de flottaison et coule, permettant à la vapeur vive d'être évacuée à travers l'orifice du purgeur. Seule une certaine quantité de condensat atteignant le purgeur permettra la nouvelle formation du joint d'eau, et évitera le gaspillage de vapeur.
- Si un purgeur à flotteur inversé ouvert est utilisé sur une application où peuvent se produire des fluctuations de pression, un clapet anti-retour efficace doit être monté sur la ligne entrée en amont du purgeur. La vapeur et l'eau sont libres de s'écouler dans la direction normale d'écoulement, alors que le débit en sens inverse est impossible car le clapet anti-retour serait plaqué sur son siège.
- La température extrême de la vapeur surchauffée peut souvent provoquer la perte du joint d'eau. Un clapet anti-retour est essentiel dans de telles conditions. Certains purgeurs à flotteur inversé ouvert Spirax Sarco sont fabriqués avec un clapet anti-retour incorporé en standard.
- Le purgeur à flotteur inversé ouvert peut vraiment souffrir du gel s'il est installé dans des conditions exposées susceptibles d'avoir des conditions ambiantes inférieures à 0°C. Comme pour d'autres types de purgeurs mécaniques, un calorifugeage approprié peut surmonter ce problème si les conditions ne sont pas trop rigoureuses. Si des conditions ambiantes réellement inférieures à 0°C sont possibles, il peut être prudent de choisir un type de purgeur plus résistant. Dans le cas de purge de lignes, un purgeur thermodynamique sera le choix approprié.

1.4 Purgeurs thermodynamiques

Il s'agit d'un purgeur extrêmement robuste avec un fonctionnement simple. Il repose sur le fait que les condensats chauds évacués sous pression produiront de la vapeur de revaporisation se déplaçant à vitesse élevée. Comme la Figure 20 le montre, il se compose d'un corps avec une portée d'étanchéité plane ayant un orifice d'entrée central et trois orifices de sortie périphériques (deux sont représentés). Le disque placé au-dessus de la portée plane à l'intérieur de la chambre de contrôle ou couvercle est la seule partie mobile. La Figure 21 présente son fonctionnement.

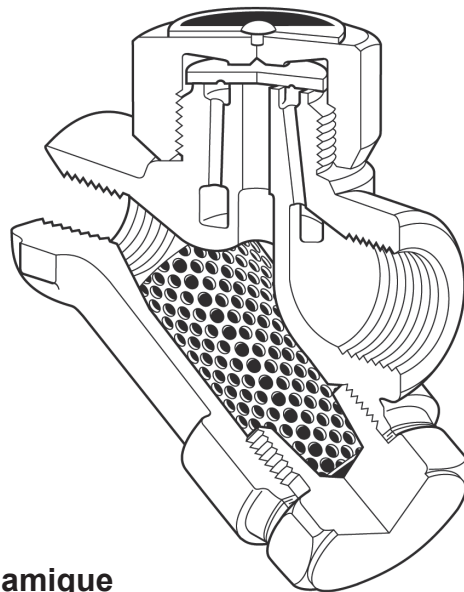


Fig. 20 Purgeur thermodynamique

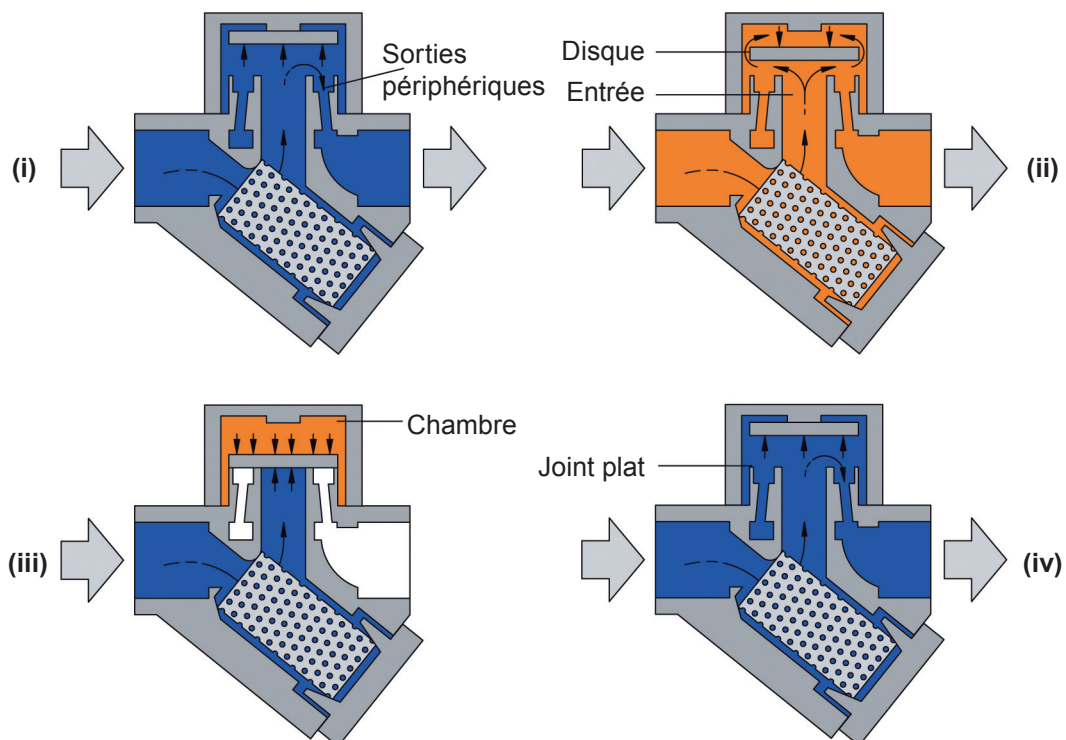


Fig. 21 Fonctionnement d'un purgeur thermodynamique

Au démarrage, la pression entrante soulève le disque et les condensats froids et l'air sont immédiatement évacués vers l'extérieur par les trois sorties périphériques (i).

Le condensat chaud s'écoulant depuis l'entrée vers la chambre, sous le disque, chute en pression et libère de la vapeur de revaporisation. La vitesse relativement élevée de la vapeur de revaporisation crée une dépression sous le disque, ce qui plaque celui-ci sur son siège (ii).

Au même moment, il se crée une augmentation de la pression due à la vapeur de revaporisation dans la chambre au-dessus du disque, qui s'oppose aux condensats entrant et maintient le disque sur les sièges internes et externes. A ce point, la pression au-dessus du disque est égale à la pression agissant sur la face inférieure du disque provenant de l'orifice central interne. Cependant, il s'exerce sur la partie supérieure du disque une force plus importante que celle agissant sur la partie inférieure car la surface de la partie supérieure soumise à cette pression est plus grande.

La pression dans la chambre supérieure diminue sous l'effet de la condensation de la vapeur de revaporisation et le disque est soulevé, répétant ainsi le cycle (iv).

Le cycle de fonctionnement dépend de la température de la vapeur et des conditions ambiantes. La plupart des purgeurs resteront fermés pendant 20 à 40 secondes. Si ces purgeurs s'ouvrent trop fréquemment, à cause peut être d'un emplacement froid et venté, la fréquence d'ouverture peut être ralentie simplement en montant un chapeau isolant. Cet accessoire est fourni en standard sur les purgeurs haute pression.

1.4.1 Avantages du purgeur thermodynamique

- Les purgeurs thermodynamiques peuvent fonctionner dans toute leur plage de service sans aucun réglage ou changement de clapet.
- Ils sont compacts, simples, légers et ont un important débit de condensat pour leur taille.
- Ce type de purgeur peut être utilisé pour des hautes pressions et de la vapeur surchauffée, et n'est pas détérioré par les coups de bélier ou les vibrations. Leur construction en acier inoxydable offre un degré élevé de résistance aux condensats corrosifs.
- Ils ne sont pas détériorés par le gel et ne gèlent pas s'ils sont installés avec le disque sur un plan vertical et évacuant librement à l'atmosphère. Toutefois, le fonctionnement dans cette position peut entraîner une usure des bords du disque, raccourcissant d'autant la durée de vie du produit.
- Comme le disque est la seule partie mobile, l'entretien est réalisé facilement sans ôter le purgeur de la ligne.
- Le cliquetis audible à l'ouverture et à la fermeture du purgeur rend le contrôle de son fonctionnement très aisé.

1.4.2 Inconvénients du purgeur thermodynamique

- Les purgeurs thermodynamiques ne fonctionnent pas correctement à des pressions différentielles très basses, car la vitesse d'écoulement sous le disque est trop réduite pour provoquer la dépression nécessaire.
Ils sont limités à une pression d'entrée minimale (généralement 0,25 bar eff.) mais peuvent supporter une contrepression de 80 % de la pression d'entrée.
- Ils peuvent évacuer une quantité importante d'air au démarrage si la pression d'entrée augmente lentement. Toutefois, une augmentation rapide de la pression entraînera une vitesse d'air élevée qui fermera le purgeur de la même façon que la vapeur, et il sera "bloqué à l'air". Dans ce cas, un purgeur d'air thermostatique peut être installé en parallèle. Les purgeurs thermodynamiques peuvent être équipés d'un disque anti blocage par air qui évite l'augmentation de la pression de l'air au-dessus du disque et permet l'évacuation de l'air (Figure 22).
- La décharge du purgeur peut être un peu bruyante et ce facteur peut empêcher l'utilisation du purgeur thermodynamique dans certains endroits. Si cela est un réel problème, un diffuseur peut être installé et il réduira considérablement le bruit d'évacuation.
- Il ne faut pas surdimensionner un purgeur thermodynamique. Cela peut augmenter les cycles et entraîner une usure prématurée. Pour la purge de ligne, on pourra se contenter de la version à faible débit, dans la mesure où on a pris la précaution de bien installer des pots de purge.

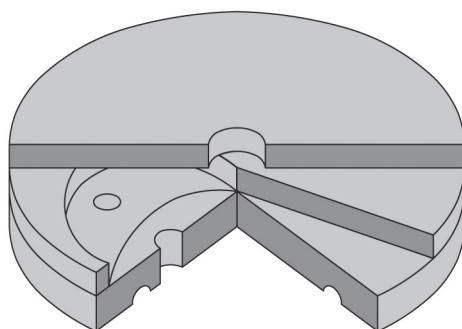


Fig. 22 Disque anti-blocage à l'air

1.5 Sélection des purgeurs

A - Meilleur choix, B - alternative acceptable, Voir remarques en bas du tableau, page 32.

Purgeurs de vapeur	FT à flotteur fermé avec évent thermost.	FT-C à flotteur fermé avec système anti- bouchon de vapeur	TD thermodynamique	BPT thermostatique à pression équilibrée	SM bimétallique	N°8 dilatation de liquide	IB à flotteur inversé ouvert
Appareils de cuisson							
Bacs de cuisson - fixes	A	B	B ¹	B			
Bacs de cuisson - inclinables		B		A ^{2,5}			
Bacs de cuisson - sur socle	B			A ^{2,5}			
Fours à injection de vapeur				A ^{2,5}			
Plaques chauffantes	B			A ^{2,5}			
Transfert/stockage d'hydrocarbures							
Réservoirs de stockage du pétrole	A						B ¹
Réchauffeurs de ligne	A						B ¹
Réchauffeurs de soutirage	A						B ¹
Lignes de traçage			B	A	B ² (seulement non critique)		B
Tuyauteries à double enveloppe			B ^{1,6}	A ⁵			B ¹
Equipements pour hôpitaux							
Autoclaves et stérilisateurs	B	B		A ⁵			
Sécheurs industriels							
Sécheurs à air chaud	A		B ¹	B			
Serpentins de séchage			B ¹	A			B ¹
Cylindres réchauffés rotatifs	B	A					B ¹
Sécheurs à faisceaux multiples	A		B ¹	B			B ¹
Sécheurs multi-cylindres	B	A					B ¹
Appareils pour blanchisserie							
Presses pour vêtements	B	B	A ⁶				
Machines à repasser et calandres	B	A	B ¹	B ⁵			
Sécheurs tambour	A	B					
Machines de nettoyage à sec	A		B ¹				
Presses							
Presses multi-plateaux (raccordement en parallèle)	B		A ⁶				
Presses multi-plateaux (raccordement en série)			A ^{1,6}				
Presses à vulcanisation	B		B ¹	A			B ¹
Appareils pour process industriels							
Bacs de cuisson - fixes	A	B	B ¹	B			
Cuves de process - inclinables	B	A					
Cuves à brasser	A ¹	B					
Digesteurs	A ¹		B ¹				
Evaporateurs	A ¹	B					B ¹
Tables chauffantes	B		B ⁶	A ²			
Autoclaves	A						
Réservoirs de stockage	A						B ¹
Vulcanisateurs	A		B ¹ (double enveloppe)				B ¹

A - Meilleur choix, **B** - alternative acceptable. Voir remarques en bas du tableau.

Purgeurs de vapeur	FT à flotteur fermé avec évent thermost.	FT-C à flotteur fermé avec système anti- bouchon de vapeur	TD thermodynamique	BPT thermostatique à pression équilibrée	SM bimétallique	N°8 dilatation de liquide	IB à flotteur inversé ouvert
--------------------	--	--	------------------------------	---	---------------------------	--	---

Appareils pour chauffage d'ambiance

Réchauffeurs	A ⁴						
Batteries de réchauffage	A ⁴						
Panneaux et faisceaux radiants	A	B ¹	B ¹				B ¹
Radiateurs et armoires de chauffage	B			A	B		
Serpentins suspendus	B			A			B ¹

Réseaux vapeur

Horizontaux	B		A				B
Séparateurs	A		B				B
Bouts de lignes	B		A ¹				B ¹
Purge à l'arrêt (protection contre le gel)				B ³	B	A	
Purge de barillet de distribution	A		B ⁶				B

Réservoirs et cuves

Cuves process (tuyauteries d'évacuation ascendante)	B	B	A	B ⁵			B
Cuves process (évacuation en bas)	A		B ⁶	B ⁵			
Petits réservoirs chauffés par serpentin (chauffage rapide)	A			B ⁵			
Petits réservoirs chauffés par serpentin (chauffage lent)					B	A	

¹ - Avec un purgeur d'air en parallèle.

² - A l'extrémité d'une ligne de retenue d'eau non calorifugée. Longueur minimale 1 m

³ - Utiliser des purgeurs de traçage spécifiques qui offrent une option d'évacuation à température fixe.

⁴ - Si la température de l'appareil est régulée, une combinaison purgeur/pompe condensat peut être nécessaire.

⁵ - Avec la capsule réglée proche de la température de saturation.

⁶ - Monté avec un disque anti-blocage à l'air.

1.6 Appareils de cuisson

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹ (purgeur d'air en parallèle), ² (avec ligne de refroidissement de 1 m), ⁵ (capsule "réglée proche de la température de vapeur")

Application	Purgeur à flotteur fermé + évent thermostatique	Purgeur à flotteur fermé FT-C	Purgeur thermodynamique	Purgeur à pression équilibrée	Purgeur bimétallique	Purgeur à dilatation de liquide	Purgeur à flotteur inversé ouvert
Bacs de cuisson - fixes	A	B	B ¹	B			
Bacs de cuisson - inclinables		B		A ^{2,5}			
Bacs de cuisson - sur socle	B			A ^{2,5}			
Fours à vapeur				A ^{2,5}			
Plaques chauffantes	B			A ^{2,5}			

1.6.1 Bacs de cuisson fixes

Bien que leur construction soit similaire à celle des cuves process à double enveloppe, elles n'ont généralement pas le même besoin de réchauffage rapide, par conséquent la pression de la vapeur est normalement plus faible. Les débits de condensats seront aussi beaucoup plus faibles. Bien que l'évacuation de l'air et du condensat ne soit pas critique, des purgeurs d'air peuvent être utiles pour réduire les temps de réchauffage.

1.6.2 Bacs de cuisson inclinables

La Figure 23 présente un purgeur thermostatique à pression équilibrée avec un filtre purgeant un bac de cuisson lente inclinable. Un purgeur d'air à pression équilibrée (monté comme représenté) réduira la cuisson, par exemple, de 140 litres de soupe d'environ 20 minutes. Si le fonctionnement de la cuisine y trouve un avantage, monter un purgeur d'air. Là où la vitesse de cuisson est généralement un facteur important, une autre amélioration peut être faite en installant un purgeur à flotteur fermé avec mécanisme anti-bouchon de vapeur (FT-C) et un purgeur d'air.

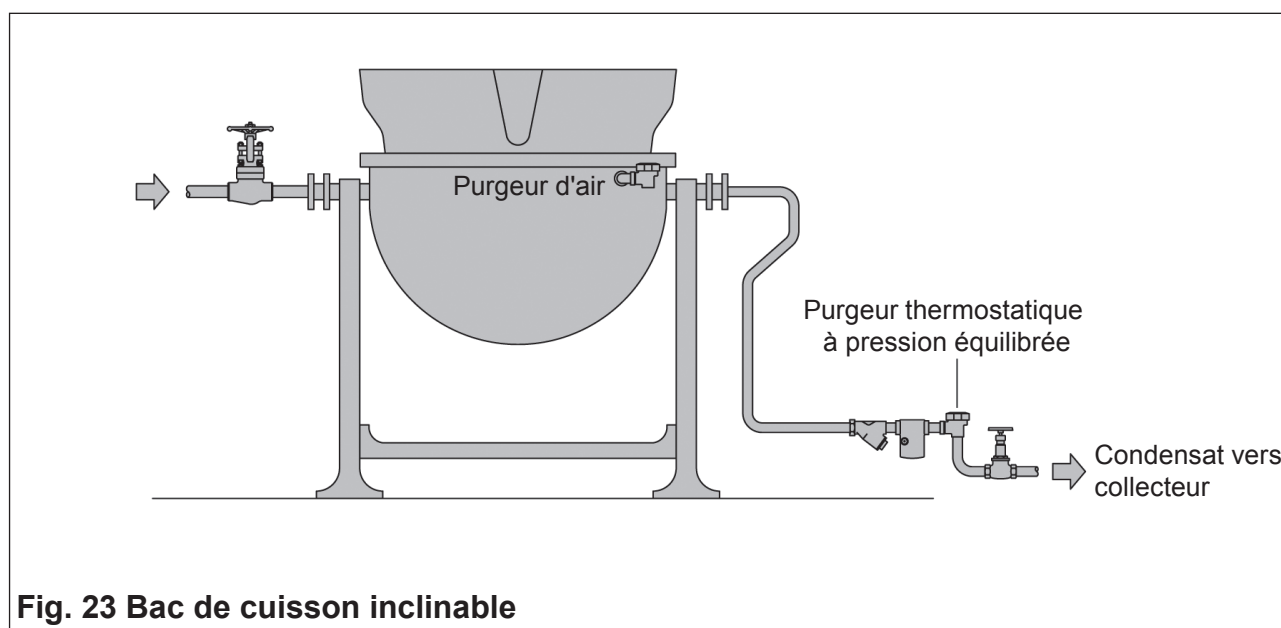
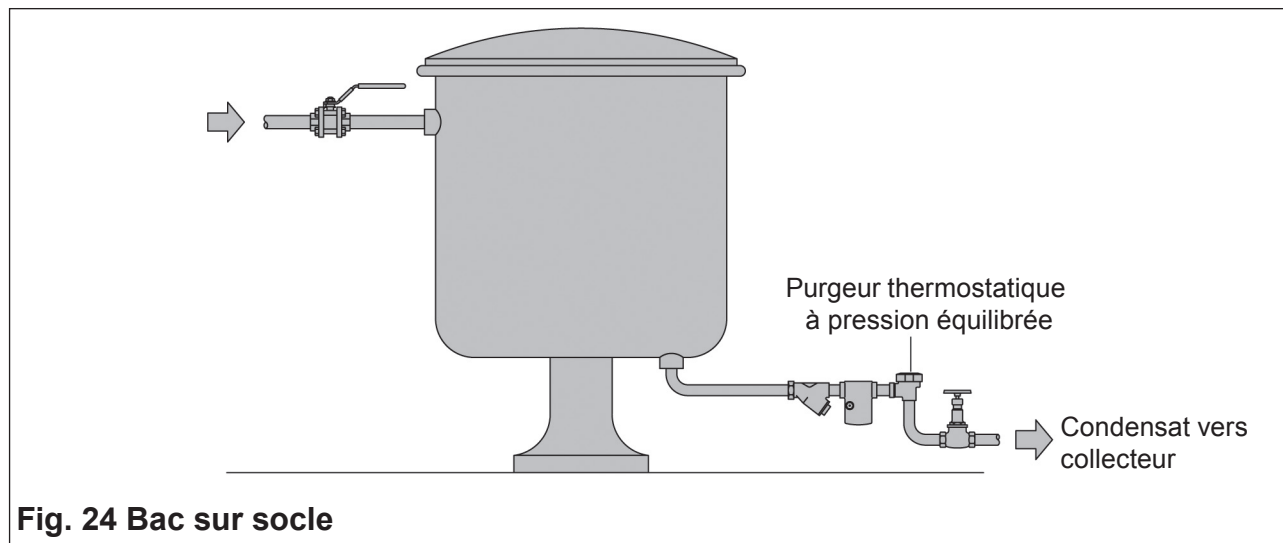


Fig. 23 Bac de cuisson inclinable

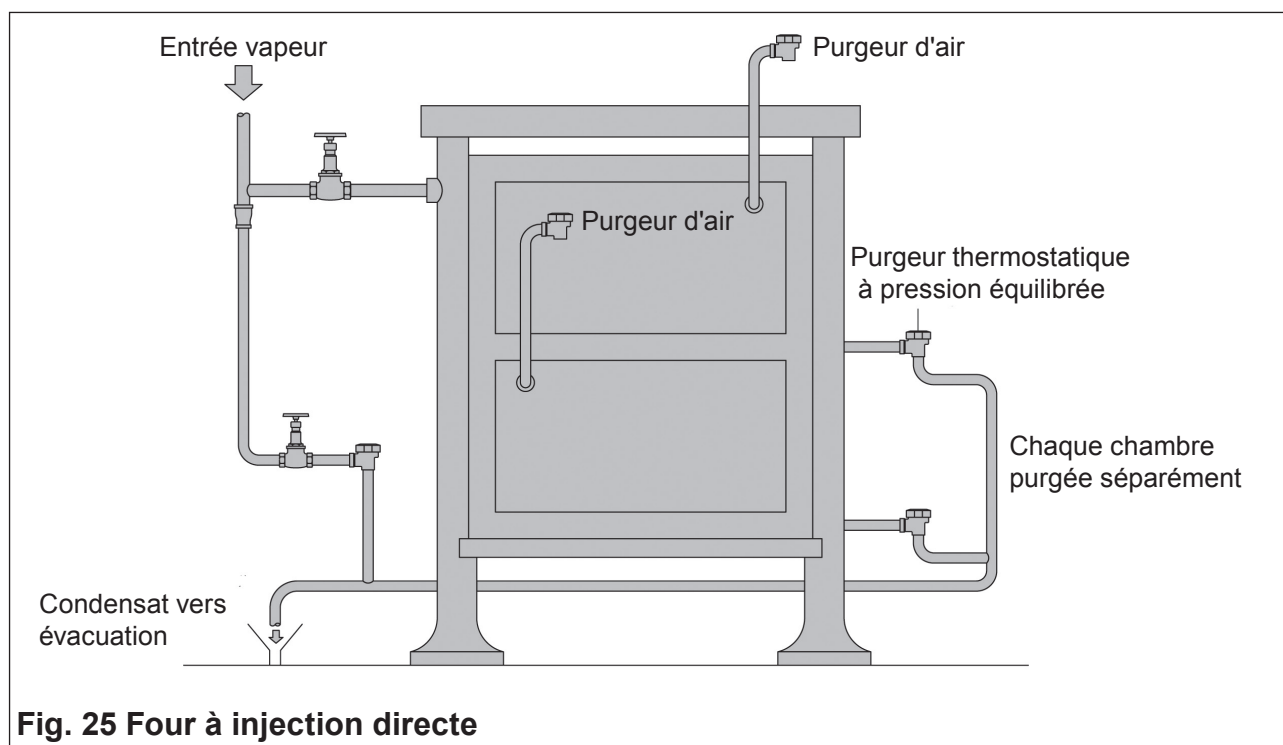
1.6.3 Bacs de cuisson sur socle

La manière correcte de purger des bacs de cuisson sur socle est obtenue avec un purgeur thermostatique à pression équilibrée et un filtre. Pour un fonctionnement efficace, il doit être installé à environ 1 mètre de la sortie à l'extrémité d'une ligne de refroidissement (Figure 24). Nul besoin d'installer un purgeur d'air sur ce type de bac.



1.6.4 Fours à injection de vapeur et plaques chauffantes

La Figure 25 représente une installation idéale pour la purge du condensat et la purge d'air des fours à injection directe de vapeur. Deux particularités sont vitales. L'entrée de la vapeur doit être purgée juste avant la vanne d'entrée par un purgeur thermostatique à pression équilibrée. Chaque sortie de chambre doit avoir un purgeur similaire directement à la sortie, mais sans filtre (pour laisser passer les condensats gras avant que la graisse ne refroidisse). Les purgeurs purgent les chambres, et les purgeurs d'air doivent être installés avec des éléments réglés proches de la température à la vapeur. Les fours doivent être balayés par la vapeur à la fin de la cuisson.



La Figure 26 présente une plaque chauffante de cuisine installée avec un filtre couplé à un purgeur thermostatique à pression équilibrée, combinaison idéale pour cette application.

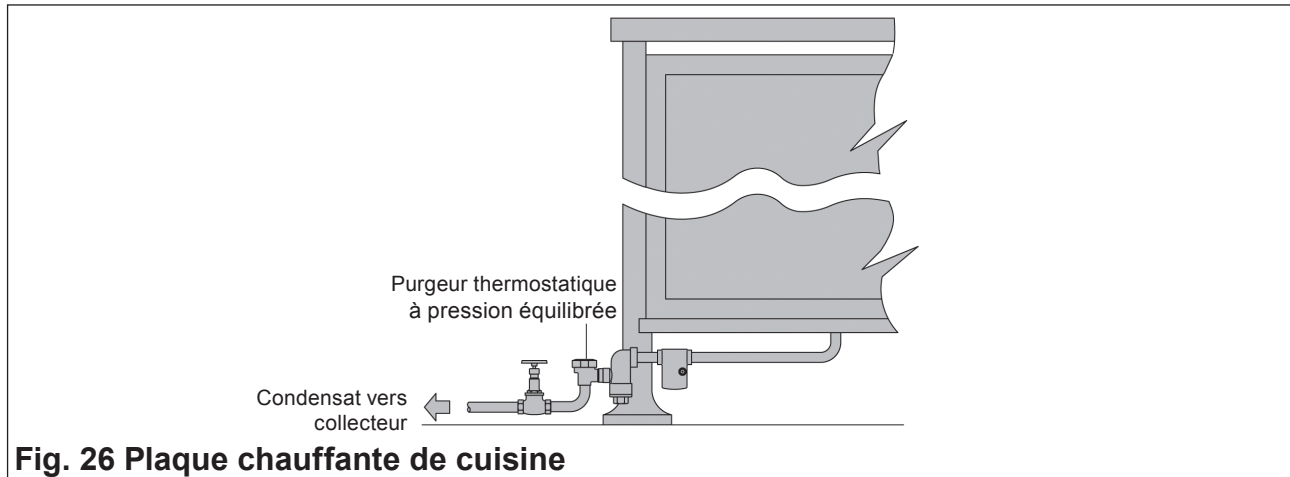


Fig. 26 Plaque chauffante de cuisine

1.7 Transfert et stockage d'hydrocarbures

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹ (purgeur d'air en parallèle), ² (avec ligne de refroidissement de 1m), ⁵ (capsule "réglage proche de la température de vapeur"), ⁶ (disque anti-blocage par air)

	à flotteur fermé + évent hermostatique	à flotteur fermé FT-C	thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Réservoirs de stockage	A						B ¹
Réchauffeurs de ligne	A						B ¹
Réchauffeurs de soutirage	A						B ¹
Lignes de traçage			B	A	B ² (seulement non critique)		B
Tuyauterie à double enveloppe			B ^{1,6}	A ⁵			B ¹

1.7.1 Réservoirs de stockage

Le pétrole et les autres fluides sont stockés dans des réservoirs qui sont réchauffés par des serpentins ou d'autres formes de chauffage, soit seuls, soit en combinaison avec des réchauffeurs de soutirage, pour fournir la température correcte pour le pompage. Les réchauffeurs de ligne montent la température du pétrole à celle requise pour le brûleur ou pour utilisation dans le process.

Il existe différentes façons de réchauffer des réservoirs de stockage petits ou moyens, comme ceux équipés de serpentins (Figure 27) déployés en bas du réservoir ou par réchauffeurs "en baïonnette" (Figure 28) fixés sur la paroi du réservoir. La vapeur est fournie à l'extrémité démontable par une tuyauterie interne et le condensat est évacué par l'extrémité la plus proche. Toutefois, sur des réservoirs plus importants, une des méthodes les plus utilisées est d'installer plusieurs réchauffeurs spéciaux alimentés par un réseau circulaire interne comme présenté Figures 29 et 30. Pour toutes les configurations de serpentins, il est essentiel que chaque section de tuyauterie ou chaque réchauffeur soit purgé indépendamment.

Les longs serpentins sont sensibles aux coups de bélier, car ils vont inévitablement collecter les condensats sur leur longueur, à moins qu'ils ne soient particulièrement bien conçus avec une inclinaison constante dans la direction de l'écoulement vapeur. Le purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique est équipé pour supporter des niveaux élevés de coups de bélier, mais si les symptômes sont extrêmes, le purgeur à flotteur inversé ouvert sera le bon choix. Il peut être nécessaire de calorifuger les purgeurs à flotteur fermé pour les protéger du gel, le purgeur à flotteur inversé ouvert peut nécessiter un purgeur d'air indépendant monté en parallèle pour évacuer l'air du serpentin lors du démarrage.

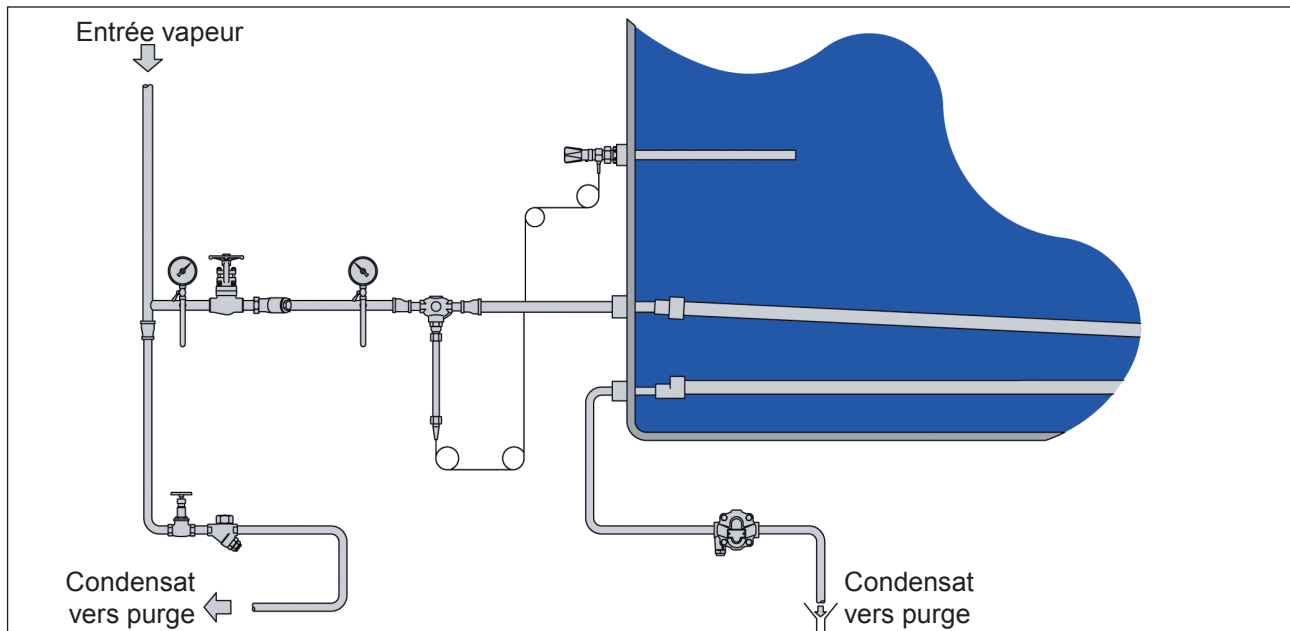


Fig. 27 Réservoir de stockage de pétrole - serpentins

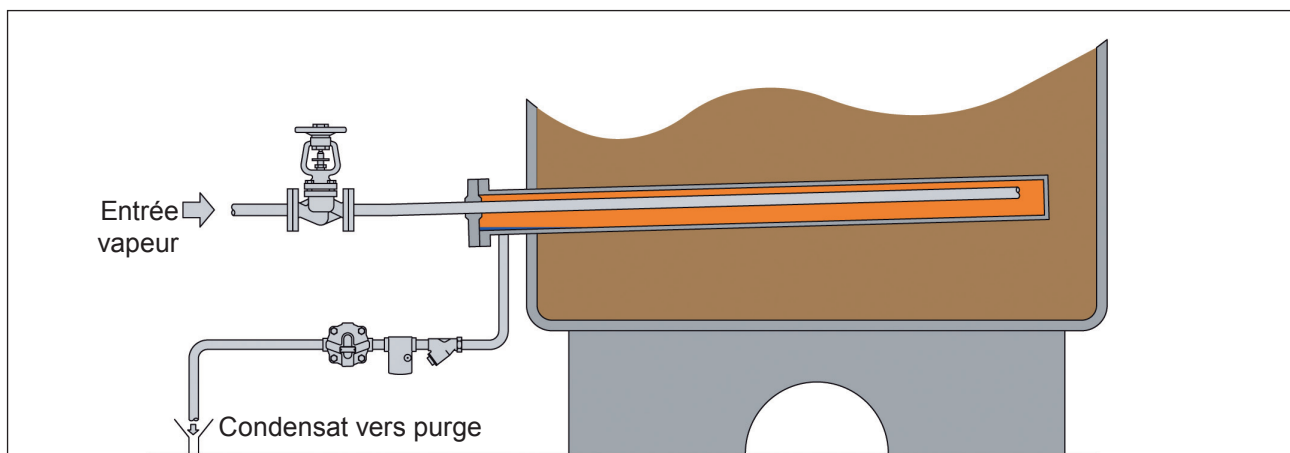


Fig. 28 Réservoir de pétrole - réchauffeur en baïonnette

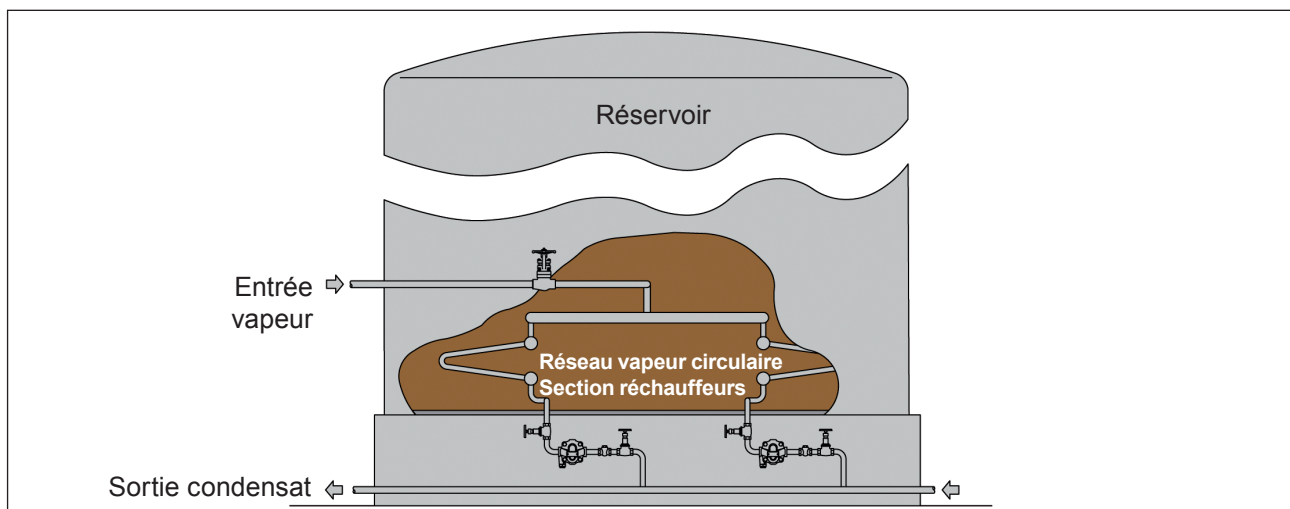
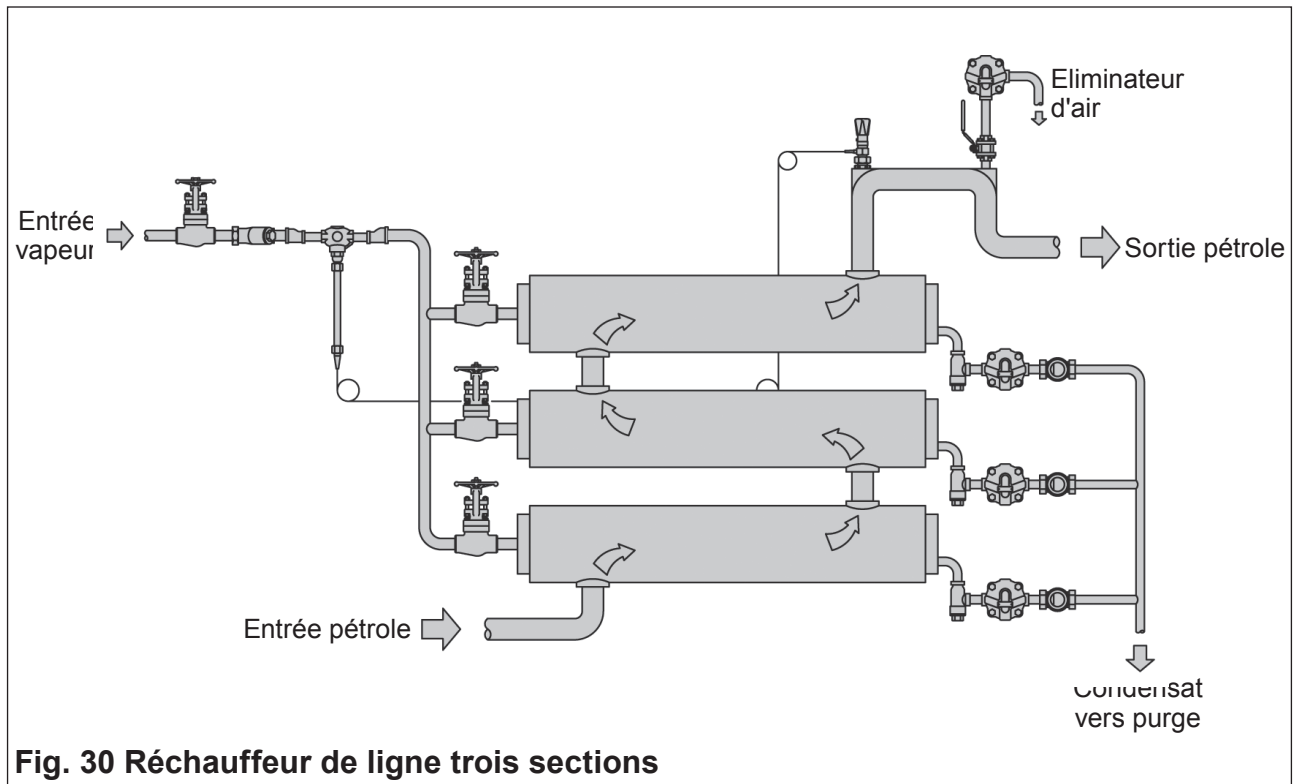


Fig. 29 Gros réservoir de pétrole avec réchauffeurs multiples



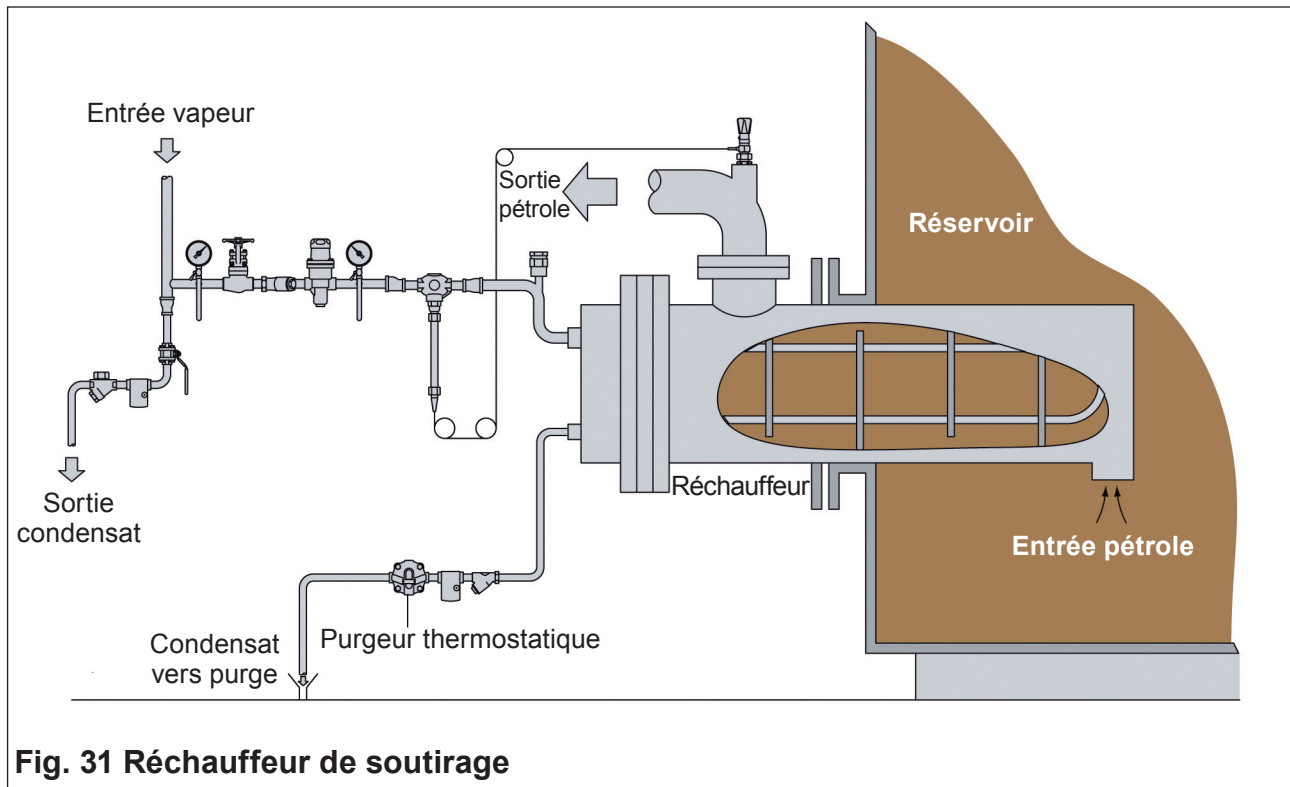
1.7.2 Réchauffeurs de ligne

Ce sont des échangeurs de chaleur simples ou multiples qui doivent être traités selon le même procédé que les réchauffeurs de soutirage. Chaque étage doit être purgé indépendamment et comme les échangeurs sont souvent installés à l'extérieur et que les purgeurs ne doivent pas geler, les purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique sont le meilleur choix.

1.7.3 Réchauffeurs de soutirage

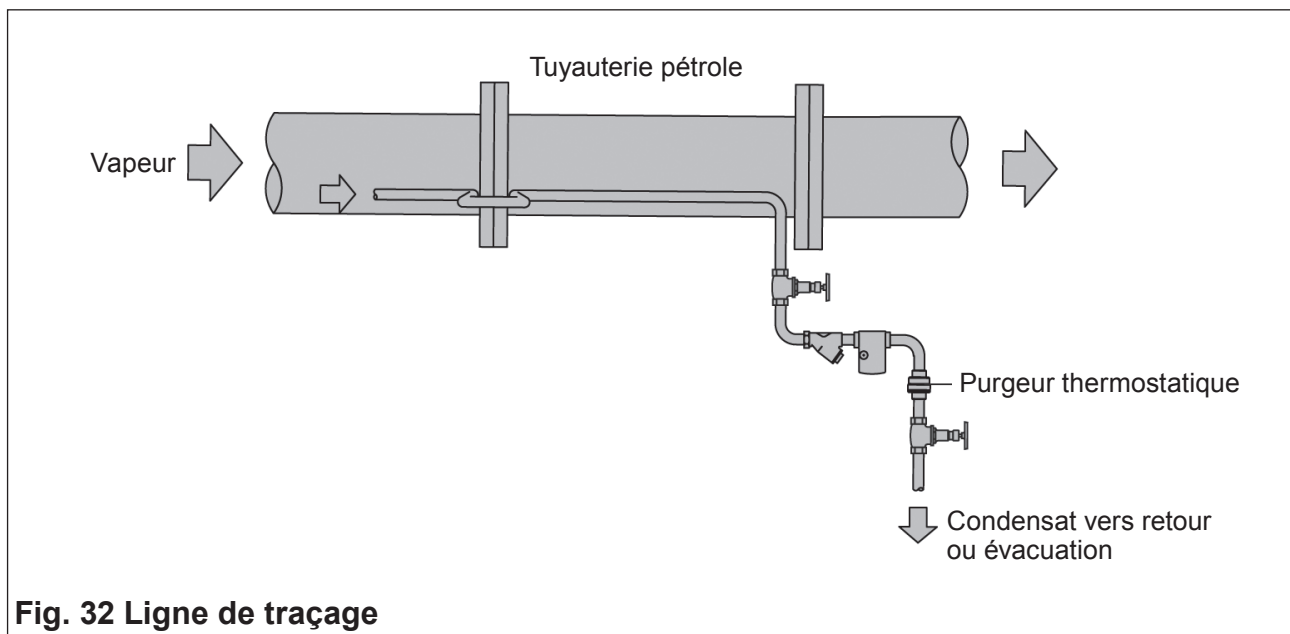
Un réchauffeur de soutirage (Fig. 31) est un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire installé sur le côté des réservoirs de stockage pour réchauffer le pétrole localement lorsqu'il est pompé hors du réservoir. Une régulation de température autonome est classique et la Figure 39 représente une régulation autonome avec la sonde au niveau de la sortie du pétrole pilotant une vanne sur l'alimentation vapeur.

Le premier choix est d'utiliser un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique. S'il peut être détérioré par le gel, il peut être purgé par un autre petit purgeur thermostatique additionnel. Il n'est pas recommandé que le condensat soit remonté après le purgeur par sa propre pression, car l'engorgement et des coups de bélier peuvent se produire à faibles débits. L'installation d'une pompe/purgeur peut être nécessaire dans ces conditions.



1.7.4 Lignes de traçage

Les lignes de traçage doivent être installées avec écoulement dans la direction du débit de vapeur et ne doivent pas dépasser une longueur de 25 mètres pour des traçeurs de 10 mm ou 50 mètres pour les autres tailles, chaque longueur étant purgée par un purgeur de traçage thermostatique à pression équilibrée (Figure 32) ou un purgeur thermodynamique TD. Les traceurs simples fonctionnent mieux le long de la génératrice inférieure de la ligne produit et lorsqu'il est nécessaire de passer des brides, cela doit être fait avec une boucle horizontale pour maintenir une inclinaison continue vers le purgeur.



Le traçage des tuyauteries d'hydrocarbure est généralement jugé non critique, et lorsque le condensat est évacué à l'égout, un purgeur bimétallique ou un purgeur à pression équilibré en mode d'évacuation à température constante peut être utilisé, conservant ainsi l'énergie et évitant la création de vapeur de revaporisation. Cependant, si un traçage critique est essentiel, un purgeur TD ou BPT évacuant près de la saturation de la vapeur doit être utilisé.

Une méthode pratique pour alimenter en vapeur et évacuer les condensats de nombreux traceurs sur des lignes process est d'utiliser des manifolds de distribution et de collecte, installés avec des purgeurs à connecteur universel sur des postes de purge avec des robinets d'isolement intégrés (voir Figure 33).

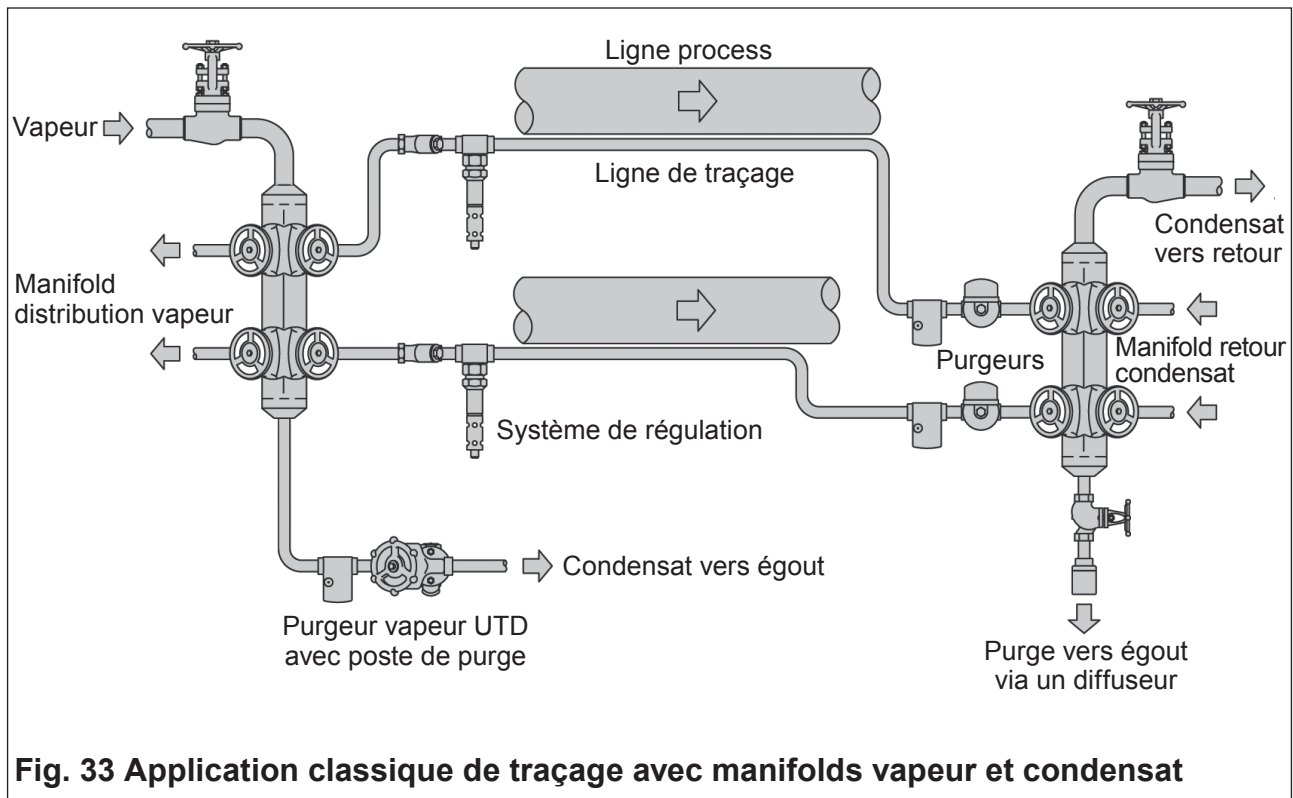
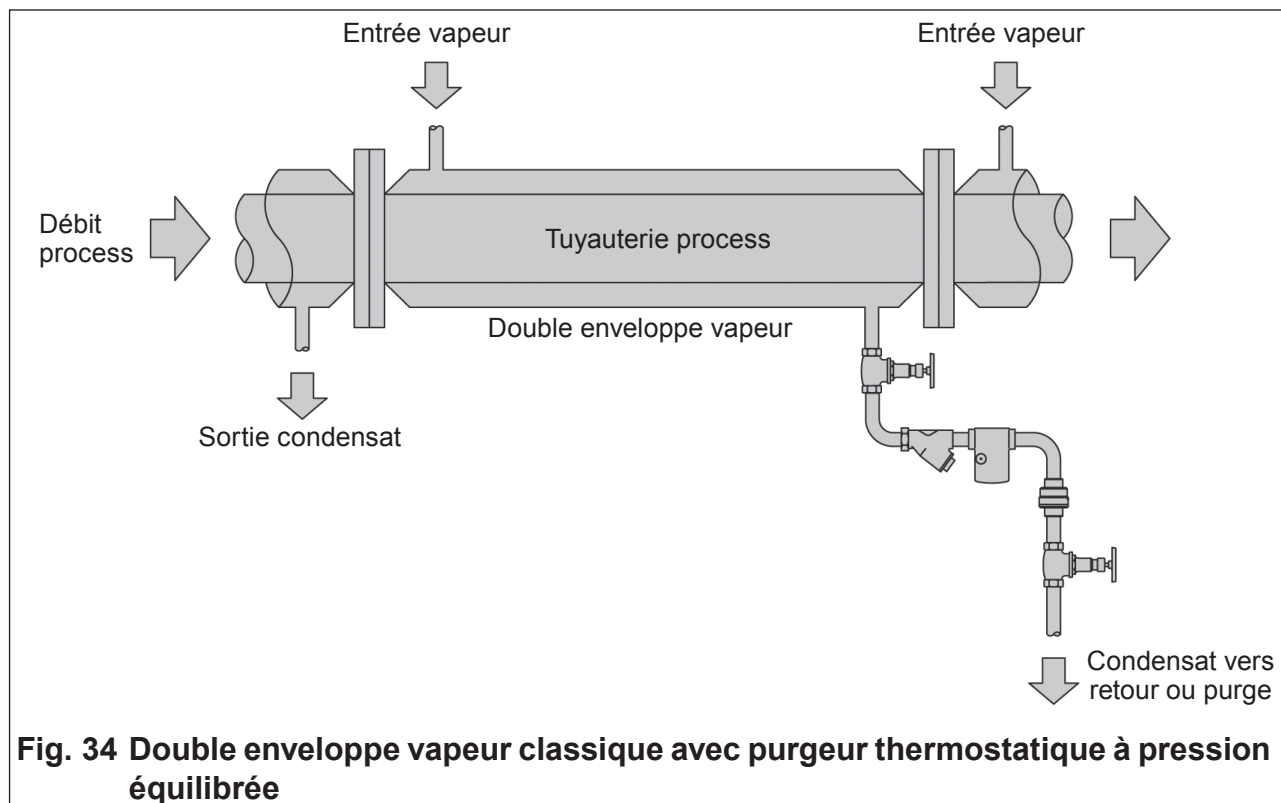


Fig. 33 Application classique de traçage avec manifolds vapeur et condensat

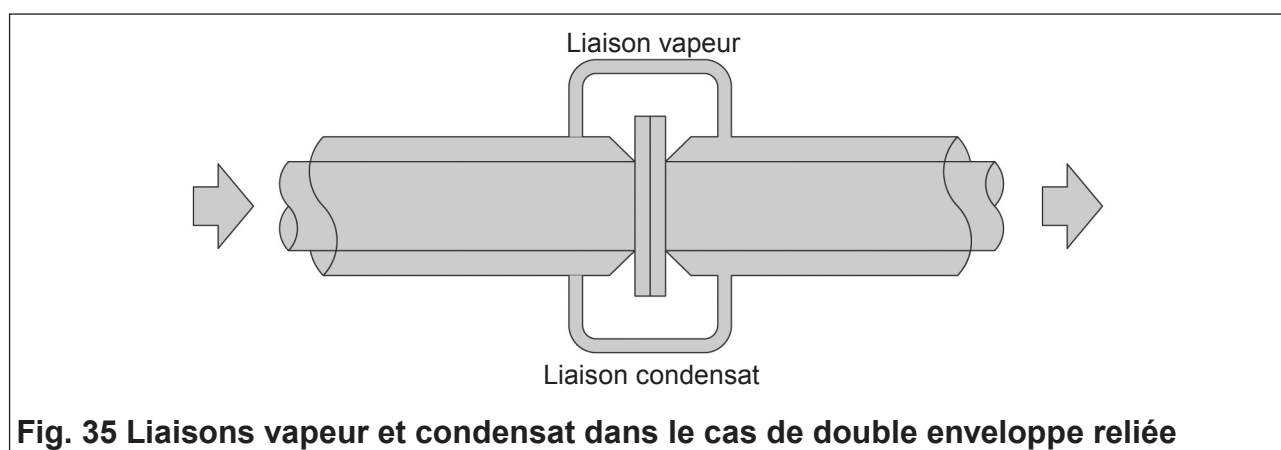
1.7.5 Tuyauterie à double enveloppe

Lorsque la température des produits est vraiment critique, en raison du danger de solidification, de carbonisation ou vaporisation, la tuyauterie produit est complètement tracée avec une double enveloppe vapeur. Cette application est souvent utilisée pour les installations de soufre.



Les tuyauteries à double enveloppe sont généralement construites sur des longueurs inférieures à 6 mètres et normalement, chaque longueur doit être purgée indépendamment par un purgeur de traçage thermostatique à pression équilibrée (Figure 34) ou par un purgeur thermodynamique.

Il est, toutefois, assez pratique de réunir ensemble 4 longueurs, mais il est important de relier les doubles enveloppes en point haut et en bas (figure 35) pour que la vapeur et le condensat puissent s'écouler librement de façon indépendante. Il faut noter, comme la plupart des tuyauteries à double enveloppe sont situées à l'extérieur, que les purgeurs TD et BPT avec des corps en acier ne sont pas détériorés par le gel.



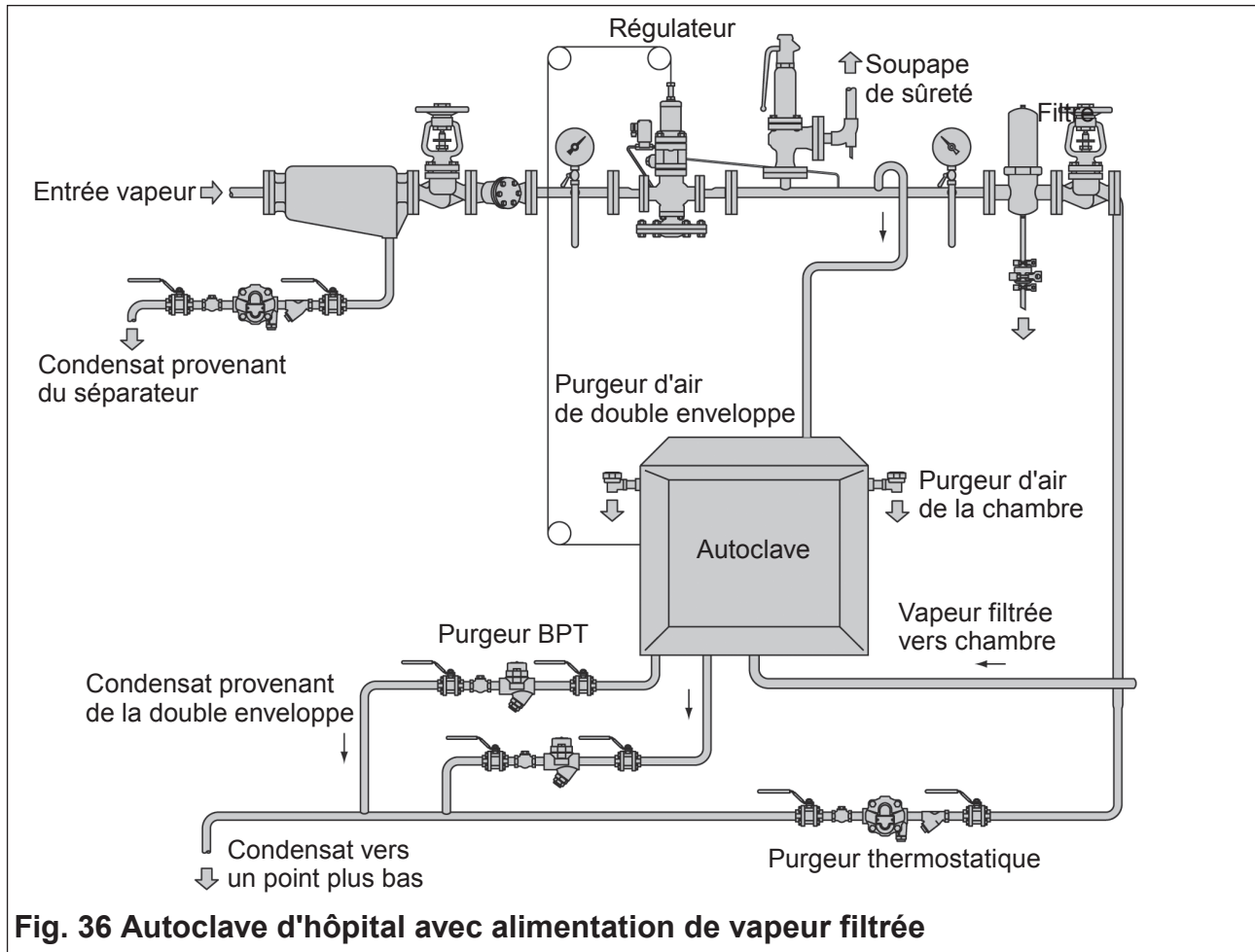
1.8 Equipements pour hôpitaux

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ⁵ (capsule "réglage proche de la température de vapeur")

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Autoclaves et stérilisateur	B	B		A ⁵			

1.8.1 Autoclaves et stérilisateur

L'évacuation des condensats et la purge d'air de stérilisateur sous vide modernes sont très importantes et le fabricant fournit généralement les appareils nécessaires.



La Figure 36 montre un autoclave utilisant une vapeur industrielle pour la double enveloppe, et de la vapeur propre filtrée pour la chambre. La vapeur fournie à la chambre doit être sèche, il faut donc un séparateur purgé par un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique sur la ligne vapeur. Pour la chambre, un purgeur thermostatique à pression équilibrée avec une capsule réglée proche de la température de vapeur est souvent utilisé. Pour de grandes unités, un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique peuvent être nécessaires. Un filtre de protection du purgeur est important, car il piègera matériaux fibreux ou verre brisé. Si l'entrée vapeur de la double enveloppe est en bas ou à une extrémité, un purgeur d'air en haut ou à l'extrémité la plus éloignée donnera un meilleur chauffage. La double enveloppe peut être purgée par un purgeur thermostatique à pression équilibrée avec filtre incorporé.

Sur de nouveaux systèmes, l'utilisation de tuyauteries et de raccords en acier inoxydable est en augmentation pour être en conformité avec les standards européens et internationaux. Dans de nombreux cas, ils nécessitent l'utilisation de purgeurs en 316L.

1.9 Sécheurs industriels

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹ (purgeur d'air en parallèle)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Sécheurs à air chaud (continu)	A		B ¹	B			
Serpentins de séchage (à grille)			B ¹	A			B ¹
Cylindres de réchauffage rotatifs	B	A					B ¹
Sécheurs à table multiple			B ¹	B			B ¹
Sécheurs à cylindres multiples	B	A					B ¹

1.9.1 Sécheurs à chaud

De nombreuses substances sont séchées par l'air chaud. Les machines sont variées, mais il peut s'agir soit de batteries de réchauffage à travers lesquelles l'air est propulsé avant d'être soufflé sur le matériel humide ou de tuyauteries sur lesquelles l'air se réchauffe naturellement par convection (Figure 37). La purge des condensats et la purge d'air sont les mêmes que pour les batteries de réchauffage utilisées pour le chauffage d'ambiance.

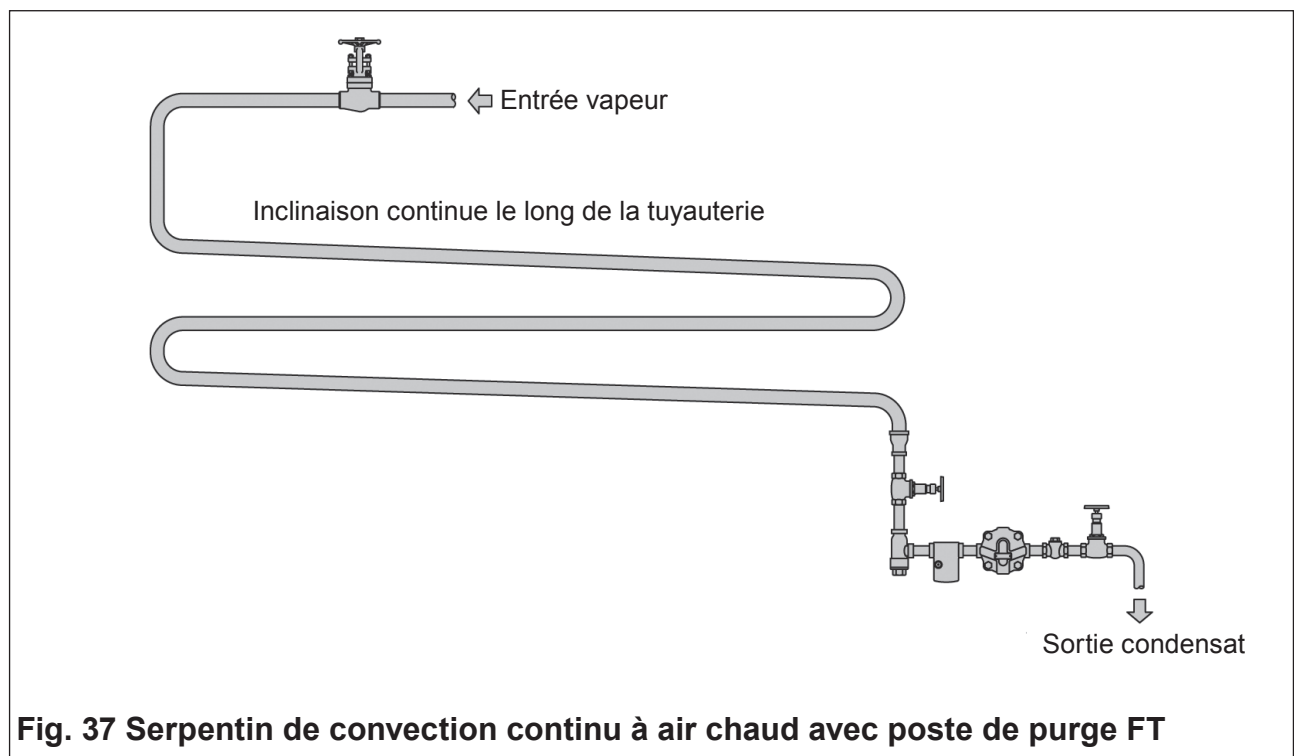
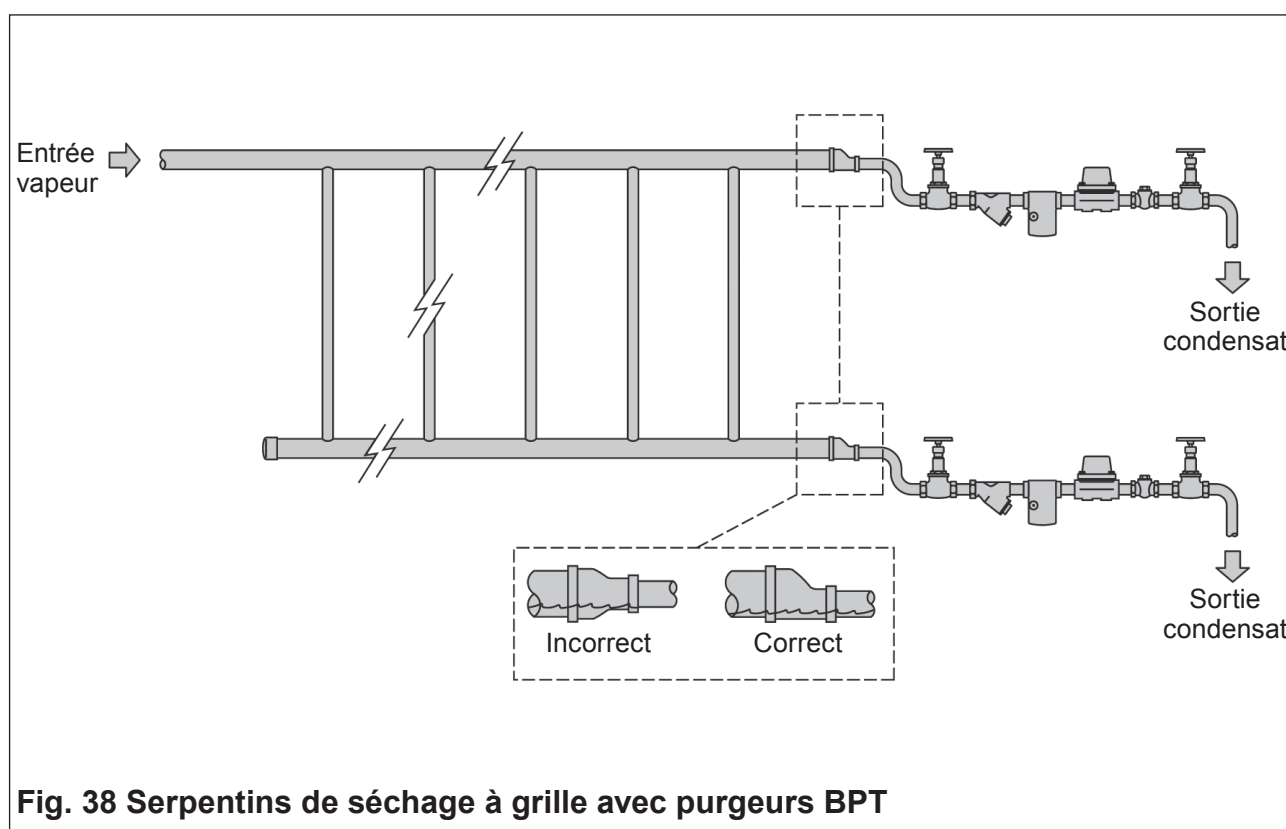


Fig. 37 Serpentin de convection continu à air chaud avec poste de purge FT

1.9.2 Serpentins de séchage

Ils peuvent être continus ou en forme de grille, horizontale ou verticale. Les serpentins continus doivent être courts, avec une inclinaison adéquate dans le sens de l'écoulement vapeur pour que le condensat puisse atteindre facilement le point de purge. Ils peuvent alors être purgés en utilisant un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique ou un purgeur à pression équilibrée BPT. Si le condensat est remonté à la sortie du purgeur uniquement par la pression, des coups de bélier peuvent se produire. Les coups de bélier sont plus probables pour les serpentins en grille à moins que toutes les sections ne soient inclinées vers un point de purge pour permettre aux condensats de s'écouler vers un point plus bas. Les mêmes recommandations s'appliquent aux serpentins continus. Si des purgeurs TD ou IB sont utilisés, un purgeur d'air en by-pass du purgeur raccourcira le temps de mise en régime. Il faut purger séparément le collecteur d'entrée à moins que les tuyauteries transversales soient juste arasantes, ce qui permettra un écoulement libre des condensats du collecteur. Toujours utiliser une réduction excentrique à la sortie du serpentin (Figure 38).



1.9.3 Sécheurs à faisceaux multiples

Les sécheurs à faisceaux multiples sont de vieilles machines utilisées dans les industries textiles et du traitement du bois. Ils sont maintenant remplacés par des sécheurs à air chaud. A l'époque, de très longues tuyauteries étaient utilisées et il était impossible d'obtenir une inclinaison correcte et à cause de l'affaissement des tuyauteries, les engorgements et les coups de bélier étaient courants. Lorsque ce type d'installation perdure, des purgeurs TD peuvent être utilisés avec un purgeur d'air en parallèle. Des sécheurs de ce type, mais plus récents, étaient divisés en deux travées, et cette meilleure disposition réduit la création des coups de bélier. Dans ces cas, les purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique ou les purgeurs thermostatiques à pression équilibrée avec des éléments en acier inoxydable peuvent aussi être utilisés. Ils doivent être installés à l'extérieur de la machine mais aussi près possible de l'extrémité du serpent.

Lorsque les surfaces de réchauffage sont des serpentins horizontaux déployés entre des barillets verticaux, le sommet du barillet vertical de sortie de condensat doit être équipé d'un purgeur d'air indépendant. La base du barillet vertical d'entrée de vapeur doit aussi être purgée (Figure 39)

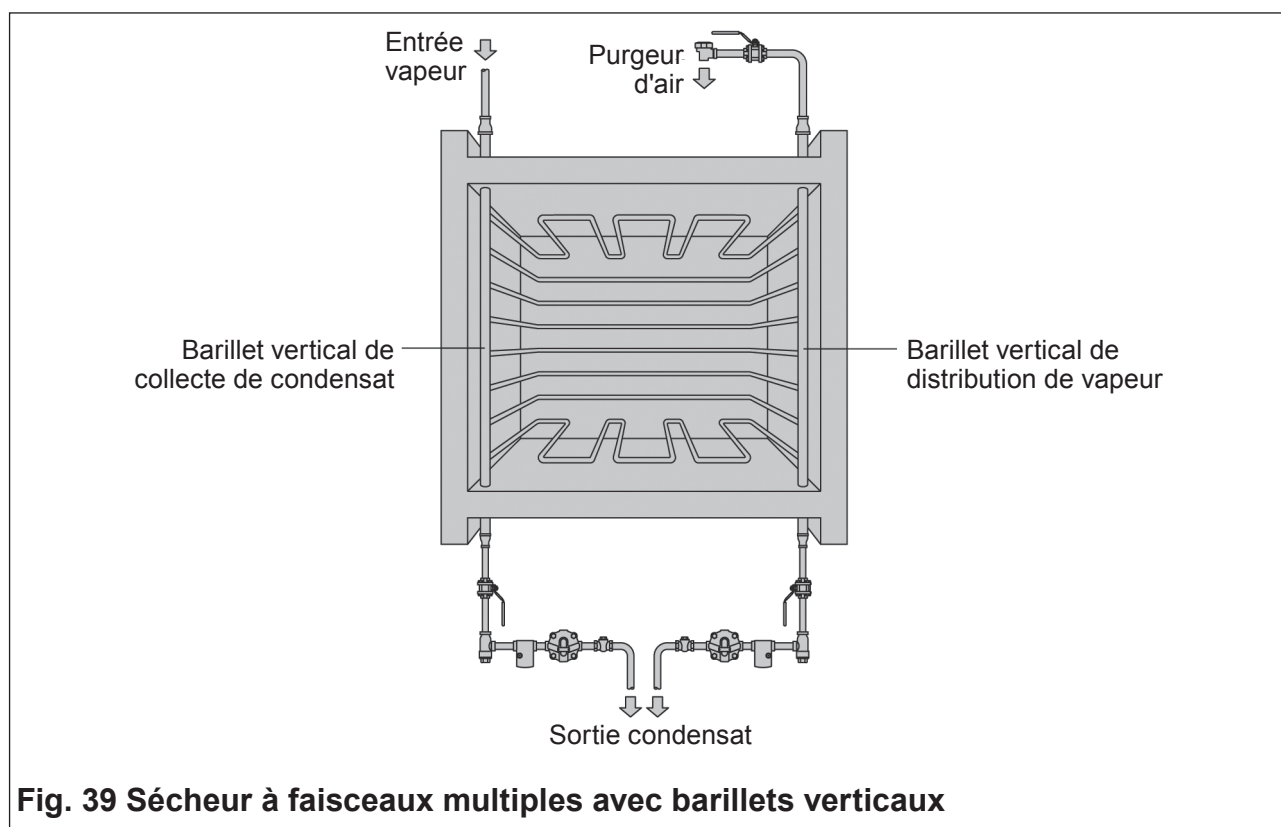
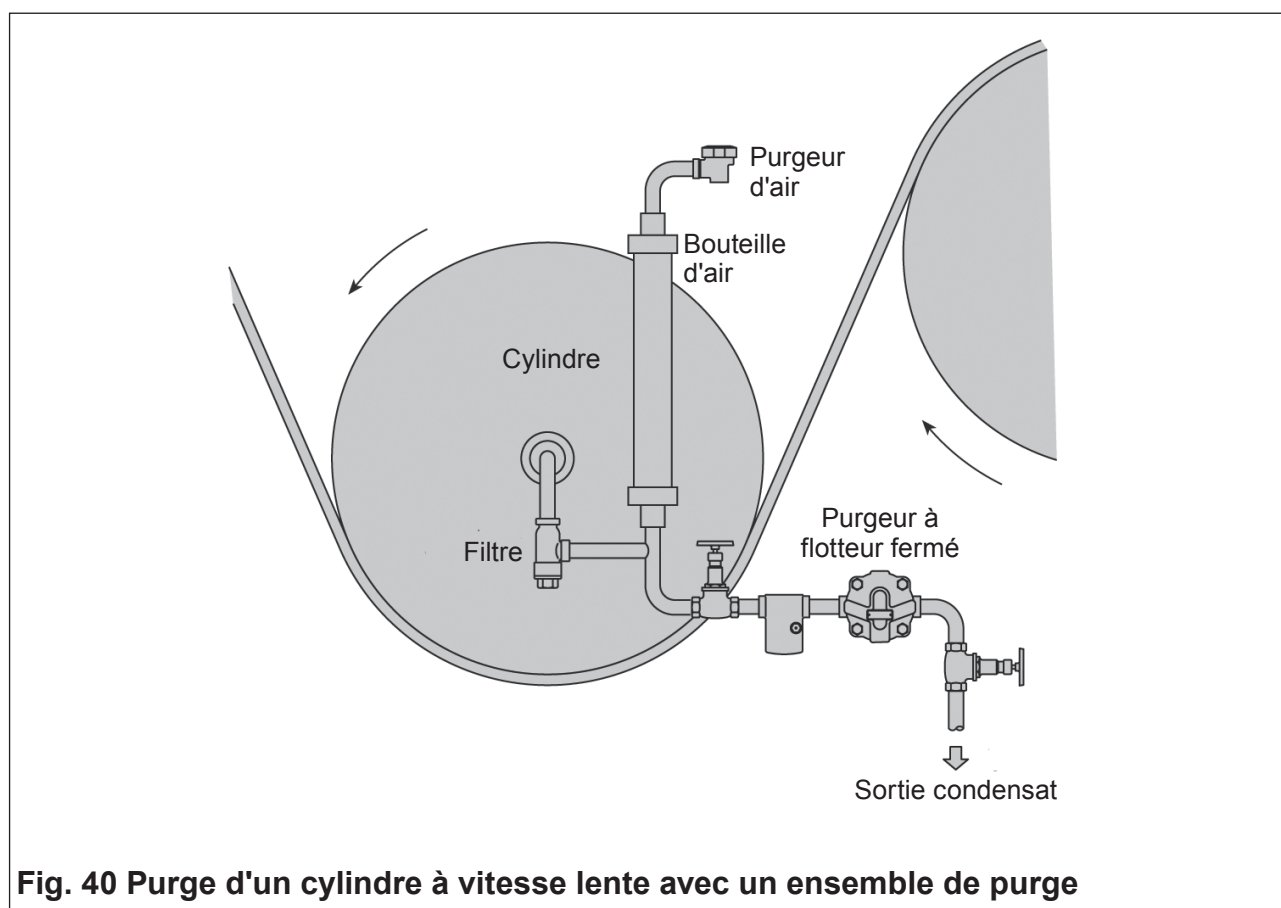


Fig. 39 Sécheur à faisceaux multiples avec barillets verticaux

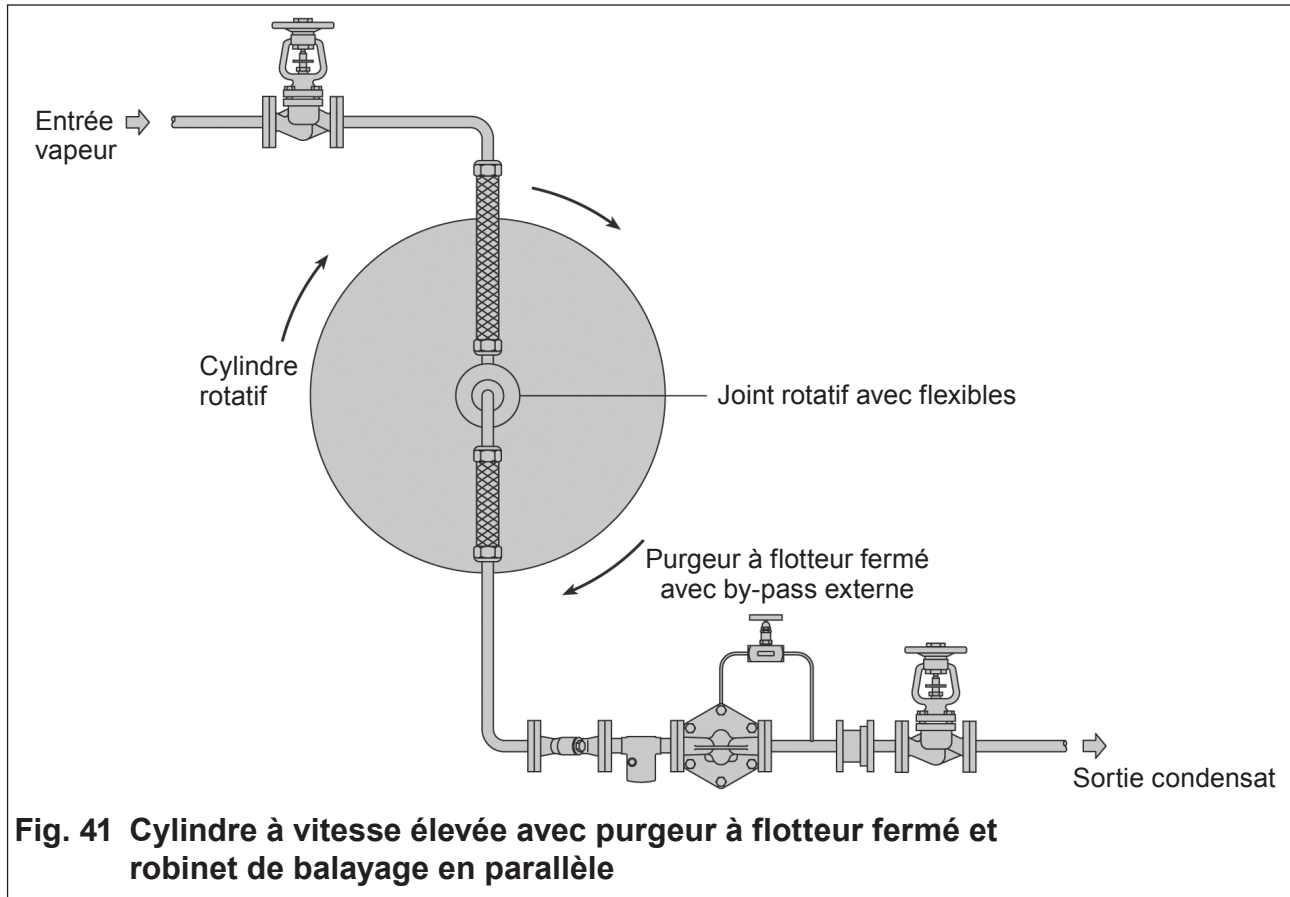
1.9.4 Cylindres rotatifs réchauffés

La taille, la vitesse et les systèmes d'extraction de condensat des cylindres rotatifs réchauffés varient considérablement. Il peut s'agir d'écopes ou de siphons fixes ou rotatifs. Les derniers sont associés à des machines à vitesse élevée et nécessitent un système de purge spécial à balayage. (Se référer aux Figures 40 et 41).

Des cylindres à vitesse lente avec écopes et siphons fixes doivent avoir une purge individuelle des condensats et de l'air, chacun avec une unité comprenant un purgeur à flotteur fermé avec système anti-bouchon de vapeur (FT-C), un filtre, un contrôleur de circulation à glace, un réservoir collecteur d'air et un purgeur d'air assemblés sous différentes formes pour s'adapter aux installations. L'utilisation des unités permet une régulation individuelle du cylindre. Le contrôleur de circulation à glace peut être utilisé pour régler la vanne anti-bouchon de vapeur.



Pour des machines plus rapides, il faut de grandes quantités de vapeur de balayage pour assister l'écoulement du condensat en dehors du cylindre via le tube siphon. Le purgeur à flotteur fermé avec mécanisme anti-bouchon de vapeur interne ne peut pas gérer de telles quantités, et un by-pass externe avec un robinet à pointeau est nécessaire.

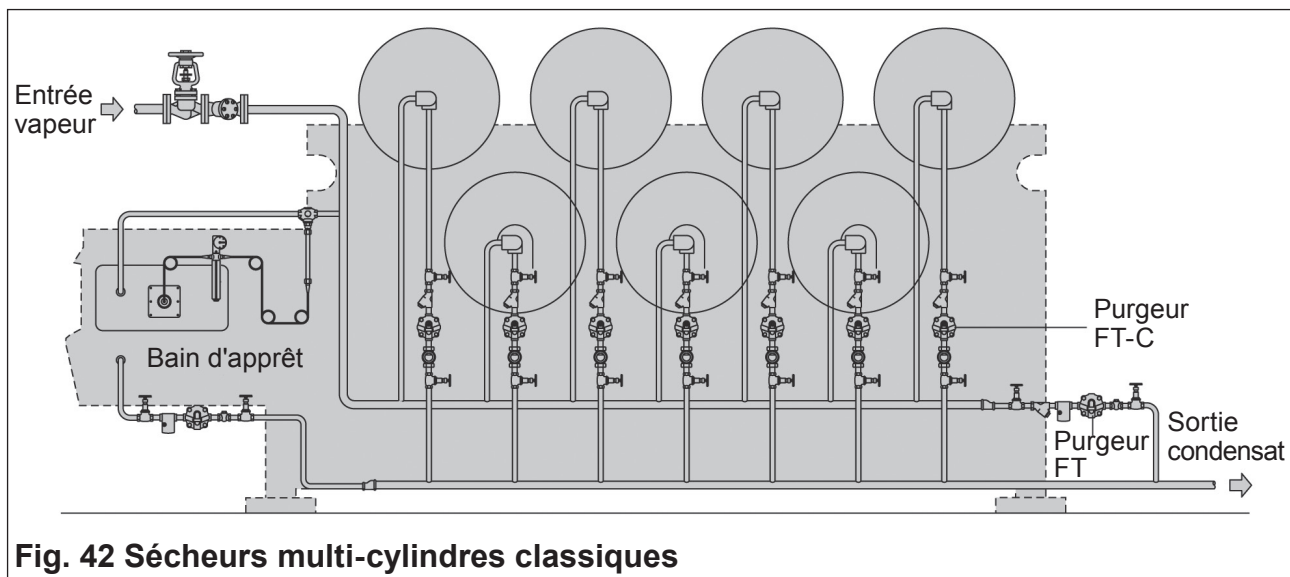


1.9.5 Encolleuse à cylindres multiples

La Figure 42 montre comment purger une batterie multi-cylindres d'encollage de textile classique. Le barillet de distribution alimentant les cylindres est purgé par un purgeur à flotteur fermé ou un purgeur TD.

Les purgeurs FT-C purgent les cylindres, leur conception compacte étant particulièrement appropriée aux faibles encombrements disponibles entre entrée et sortie.

Le bain d'apprêt est généralement réchauffé par injection directe de vapeur ou par serpentin. Dans les deux cas, l'alimentation doit être régulée par une régulation de température appropriée. Le serpentin doit être purgé par un purgeur à flotteur fermé.



1.9.6 Sécheurs multi-cylindres

Les appareils verticaux modernes doivent, si possible, avoir des cylindres purgés individuellement par des purgeurs à flotteur fermé combinés à des systèmes anti-bouchon de vapeur et à des purgeurs d'air en by-pass.

Si les cylindres sont tous purgés vers un collecteur vertical, il faut utiliser un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique en point bas et un purgeur d'air en haut du collecteur.

Le collecteur d'entrée vapeur doit avoir un purgeur de condensat et un purgeur d'air (Figure 43).

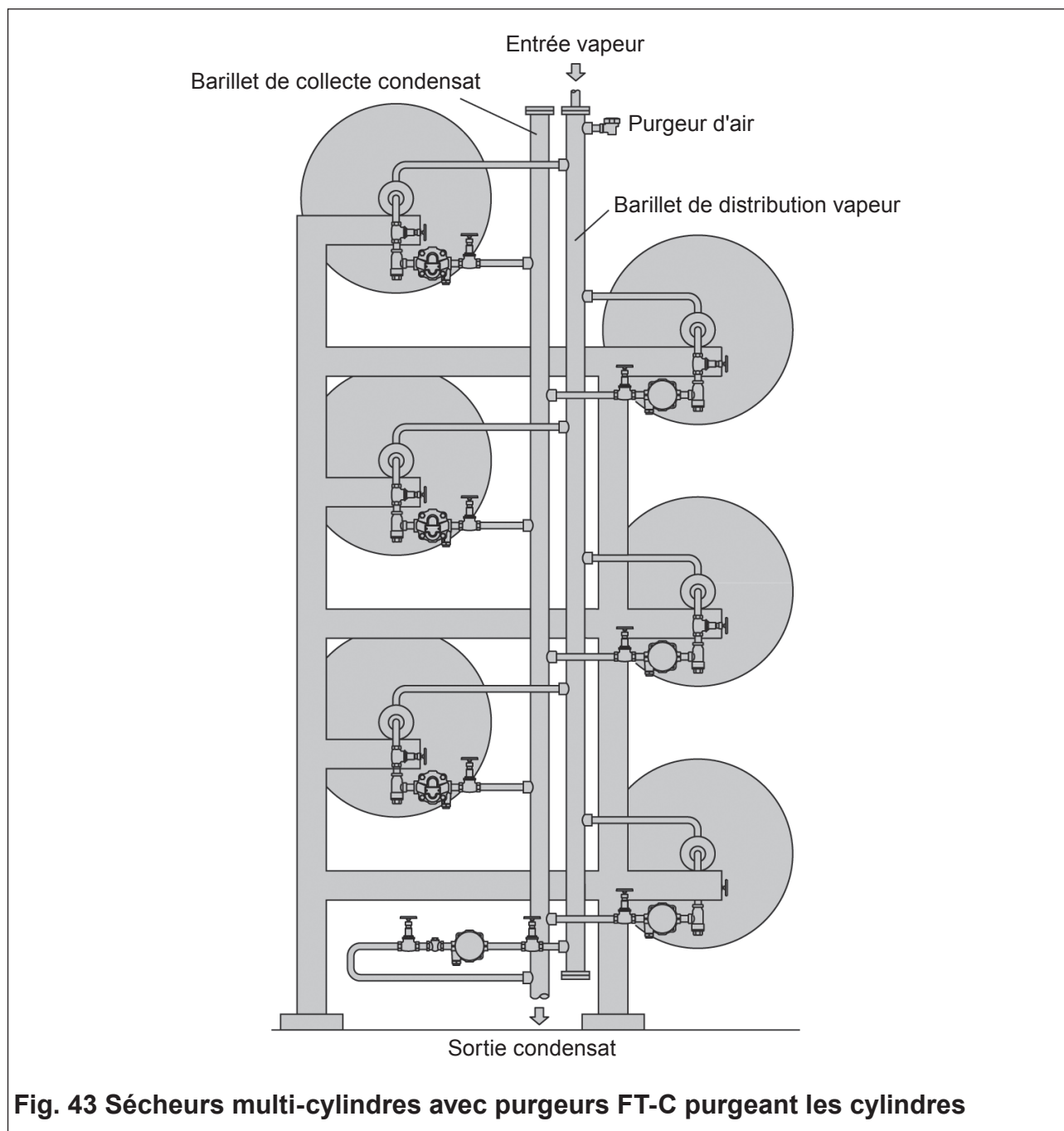


Fig. 43 Sécheurs multi-cylindres avec purgeurs FT-C purgeant les cylindres

1.10 Appareils pour blanchisserie

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹ (purgeur d'air en parallèle), ⁵ (capsule "réglage proche de la température de vapeur"), ⁶ (disque anti-blocage par air)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Presses pour vêtements	B	B	A ⁶				
Machines à repasser et calandres	B	A	B ¹	B ¹			
Sécheurs tambour	A	B					
Machines pour nettoyage à sec	A		B ¹				

1.10.1 Presses pour vêtements

Les purgeurs thermodynamiques, les purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique et les purgeurs BPT peuvent être utilisés. Il est important que chaque presse soit équipée d'un purgeur indépendant (Figure 44). La tête et les tables de presses jumelles doivent aussi être purgées individuellement pour un rendement maximal.

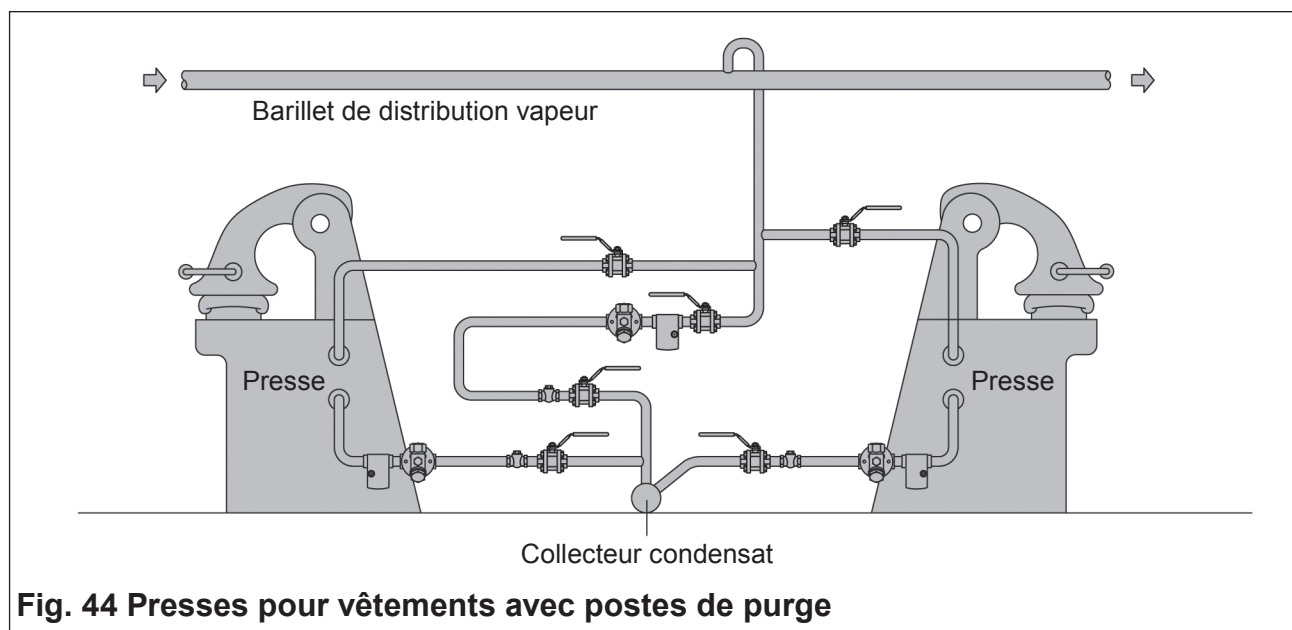


Fig. 44 Presses pour vêtements avec postes de purge

1.10.2 Machines à repasser et calandres

Les machines à repasser sont de conception très variée mais dans tous les cas, une évacuation correcte des condensats et de l'air est vitale pour un rendement optimal. De plus, les appareils avec des lits minces peuvent se déformer et déchirer les tissus si le chauffage est irrégulier à cause des poches d'air ou des engorgements. L'alimentation de vapeur doit toujours être purgée, et l'utilisation d'un séparateur est grandement recommandée.

Les appareils compacts modernes ont souvent des purgeurs installés à une extrémité pour faciliter l'entretien, avec de longues tuyauteries raccordant les purgeurs au milieu de la base des lits, mais dans ce cas, il existe un risque de blocage vapeur. Dans ce cas, les meilleurs résultats sont obtenus par un purgeur à flotteur fermé combiné à un système anti-bouchon de vapeur, type FT-C (Figure 45). Les purgeurs TD peuvent quelquefois être utilisés, mais des purgeurs d'air doivent être installés en parallèle. Purger l'air des lits au point le plus éloigné de l'entrée vapeur, tout comme toute autre zone remplie d'air chaud. Sur le cylindre, s'il est chauffé, un purgeur thermostatique à pression équilibrée installé avec une ligne non calorifugée d'au moins 1 m depuis la sortie est la meilleure solution. Si l'utilisateur le préfère, un TD avec disque anti-blocage par air peut aussi être utilisé.

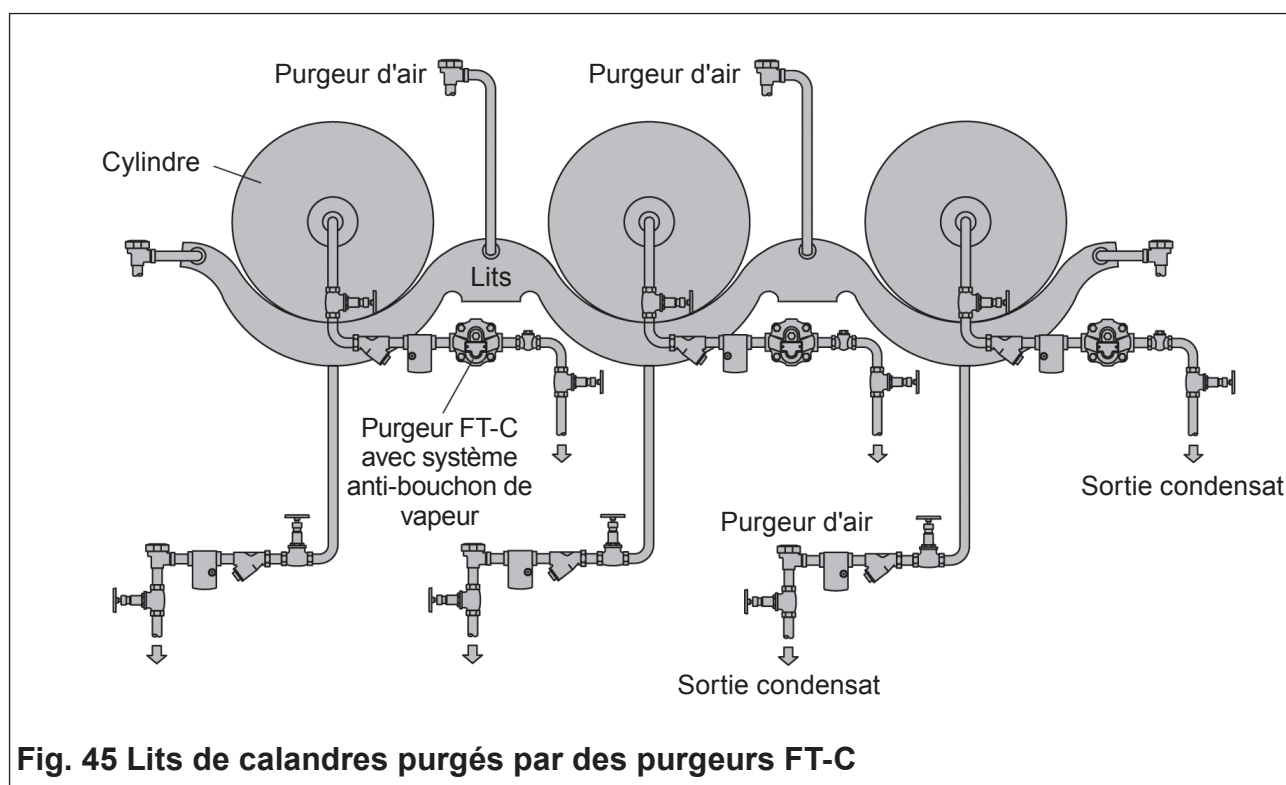


Fig. 45 Lits de calandres purgés par des purgeurs FT-C

1.10.3 Sécheurs tambour

La batterie de réchauffage d'air doit être purgée par un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique mais des purgeurs TD peuvent aussi être utilisés avec un purgeur d'air indépendant.

1.10.4 Machine de nettoyage à sec

La batterie de réchauffage d'air et le serpentin de réchauffage doivent être installés chacun avec un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique (Figure 46). Des purgeurs TD peuvent aussi être utilisés.

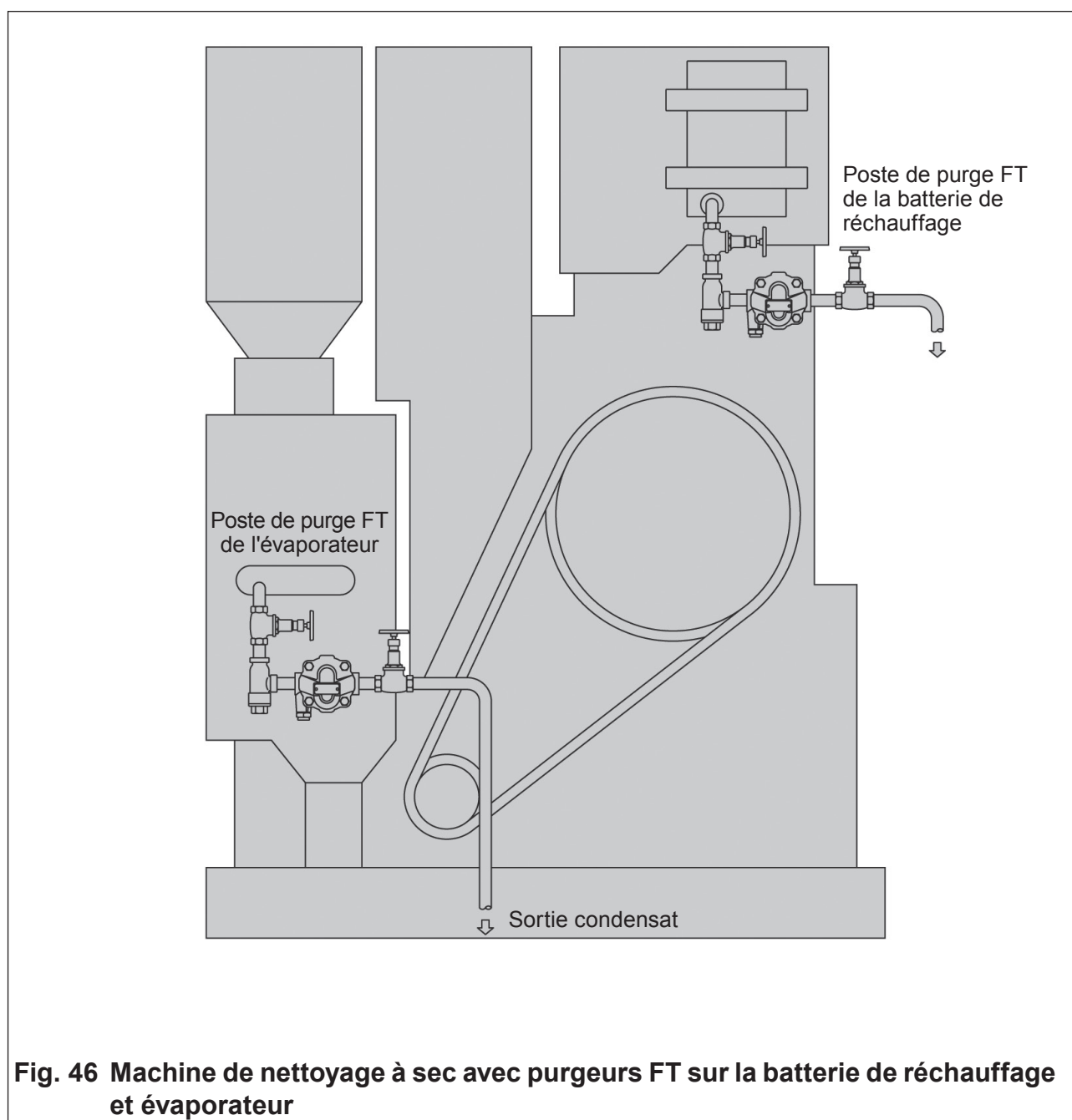


Fig. 46 Machine de nettoyage à sec avec purgeurs FT sur la batterie de réchauffage et évaporateur

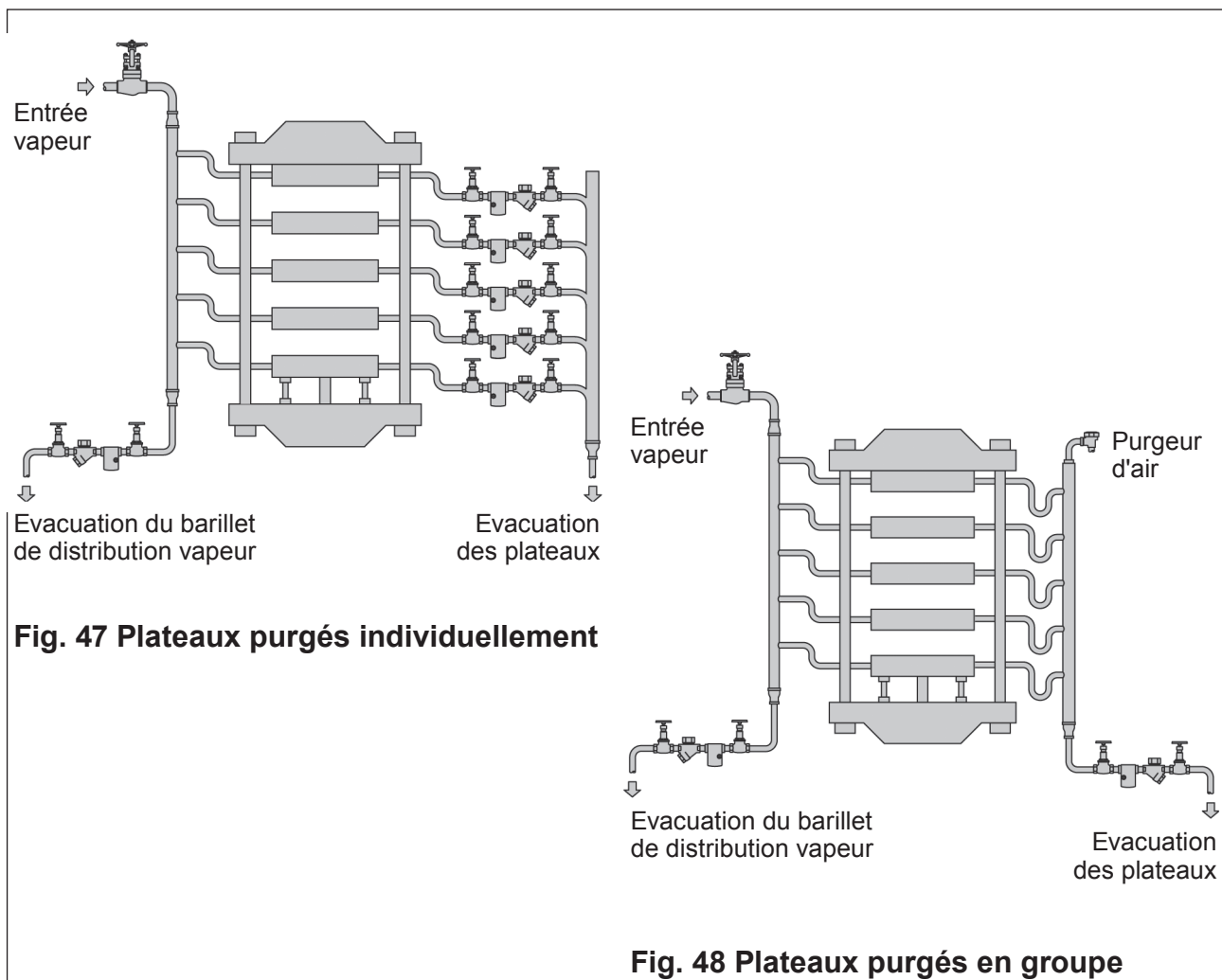
1.11 Presses

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹ (purgeur d'air en parallèle), ⁶ (disque anti-blocage par air)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Presses multi-plateaux (raccordements en parallèle)	B		A ⁶				
Presses multi-plateaux (raccordements en série)			A ^{1, 6}				
Presses à vulcanisation	B		B ¹	A			B ¹

1.11.1 Presses multi-plateaux (raccordements en parallèle)

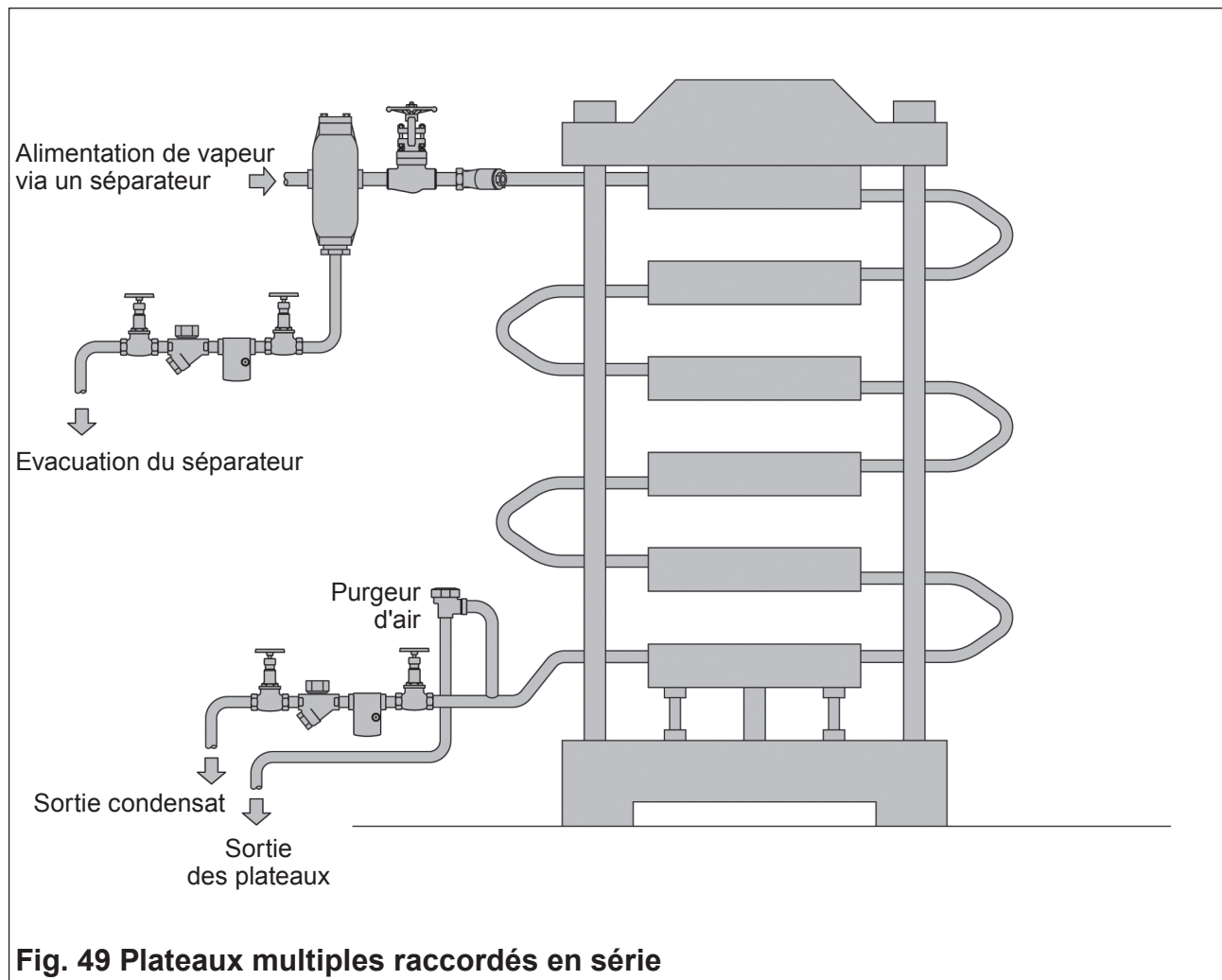
Pour assurer une purge plus correcte des plateaux, le raccordement de l'alimentation de vapeur doit être placé au-dessus des plateaux et la sortie de condensat en dessous. Si possible, chaque plateau doit être équipé de son propre purgeur (Figure 47) mais lorsque des températures précises des plateaux ne sont pas nécessaires, l'installation "d'un poste de purge" présentée Figure 48 peut être envisagée. Le barillet d'entrée de vapeur est purgé par un purgeur TD. C'est idéal aussi pour évacuer les plateaux individuels car chaque plateau a un débit relativement faible. Les purgeurs doivent évacuer dans un grand collecteur de retour par des raccordements en sifflet. Cela élimine la contre pression provoquée par l'évacuation simultanée de plusieurs purgeurs. Si la température de la presse est régulée, il faut utiliser impérativement des purgeurs FT.



Le purgeur TD peut supporter les coups de béliers extrêmes qui se produisent généralement avec ce type de presse à cause des boucles formées dans les flexibles de raccordements de vapeur et de condensat. Toutefois, si ces raccordements sont réalisés de telle façon qu'ils offrent une pente continue, des purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique peuvent être utilisés. Il peut être utile d'installer un purgeur d'air en parallèle à côté du purgeur (Figure 49).

1.11.2 Presses multi-plateaux (raccordements en série)

Cette disposition provoquera presque à coup sûr des poches d'eau dues à l'agencement des tuyauteries et l'écoulement du condensat sur les plateaux sera lent. Pour ces deux raisons, utiliser un purgeur robuste à décharge brusque (Figure 49), qui aidera à évacuer les condensats de chaque plateau. Le schéma présente le TD avec un purgeur d'air installé en by-pass à côté du purgeur, mais un purgeur IB peut aussi être utilisé. L'alimentation de vapeur doit être correctement purgée, et il peut être utile d'installer un séparateur près de l'entrée.



1.11.3 Presses à vulcanisation

De bonnes conditions de température sont vitales pour éviter une vulcanisation imparfaite. Le condensat doit être évacué dès sa formation et une élimination facile de l'air doit être assurée. De l'azote (ou d'autres gaz inertes) sont quelquefois utilisés pour ajouter une pression interne au "bladder" pendant le process de vulcanisation. Le purgeur sélectionné doit donc pouvoir évacuer librement les gaz sinon les temps de vulcanisation seront allongés. En pratique, les purgeurs thermostatiques à pression équilibrée semblent donner les meilleurs résultats mais les purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique et les TD (Figure 50) peuvent aussi être utilisés. Si des électrovannes ou des vannes tout ou rien rapides sont utilisées pour réguler le process, des purgeurs à flotteur inversé ouvert peuvent être utilisés avec succès, associés à des purgeurs d'air indépendants.

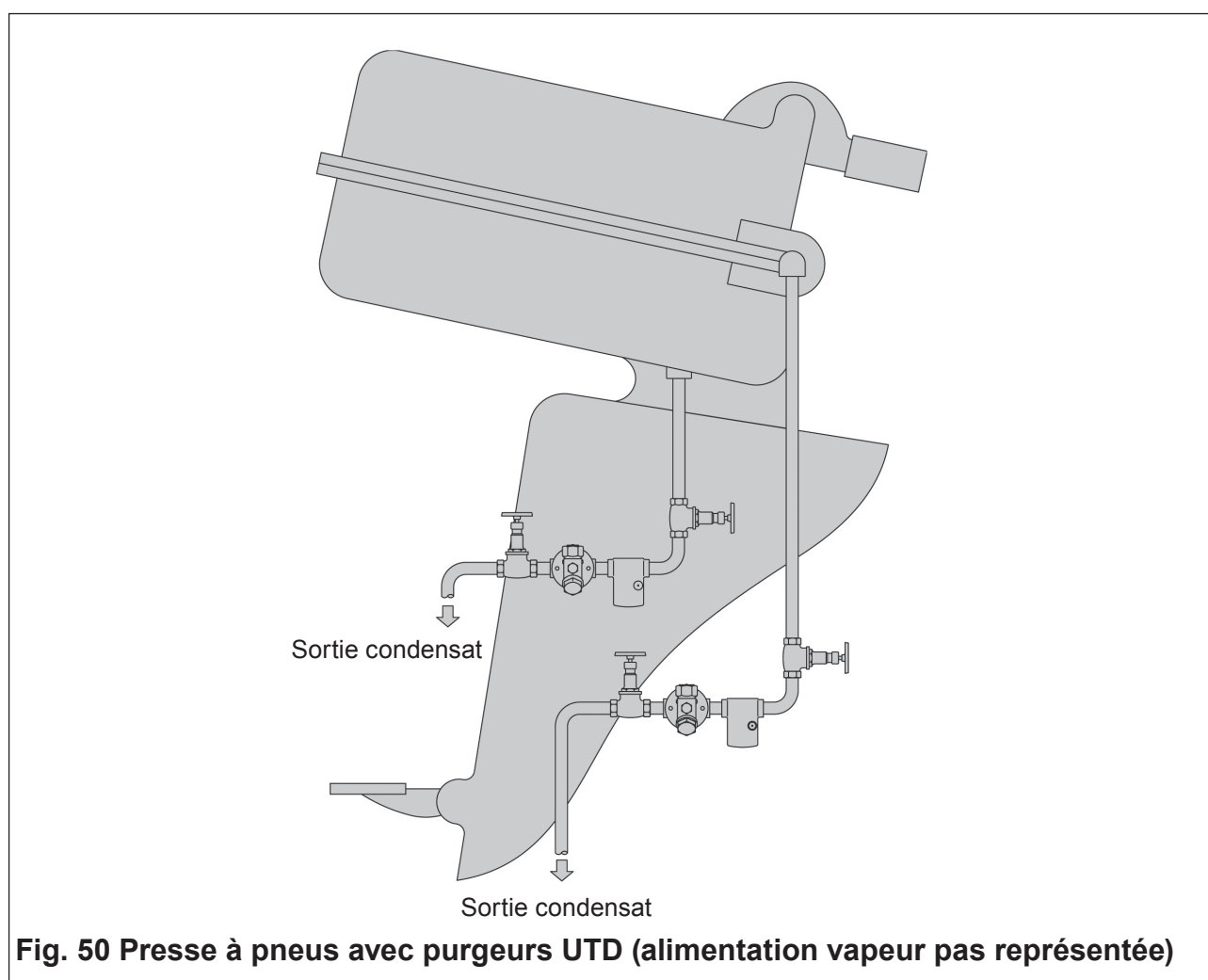


Fig. 50 Presse à pneus avec purgeurs UTD (alimentation vapeur pas représentée)

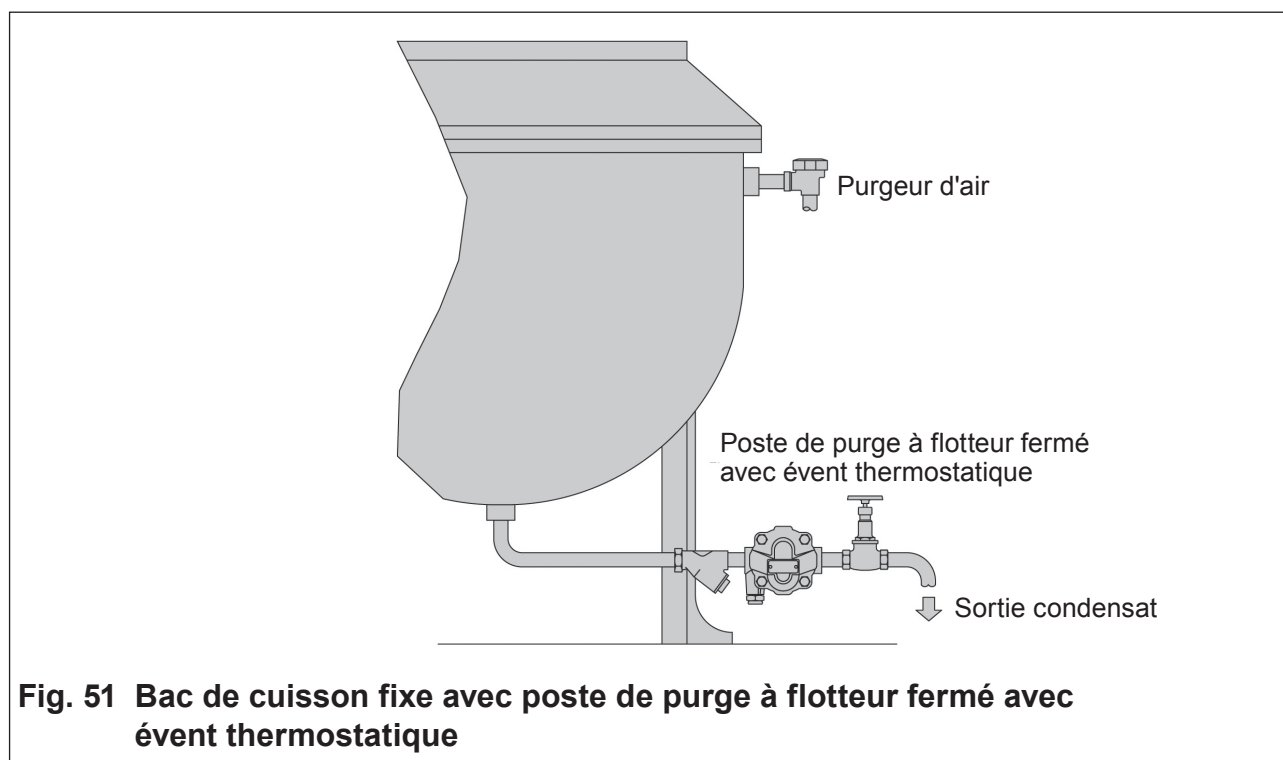
1.12 Appareils pour process industriels

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹(purgeur d'air en parallèle), ²(avec ligne de refroidissement de 1 m)
⁶(disque anti-blocage par air)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Bacs de cuisson fixes	A	B	B ¹	B			
Bacs de cuisson inclinables	B	A					
Cuves à brasser	A ¹	B					
Digesteurs	A ¹		B ¹				
Evaporateurs	A ¹	B					B ¹
Tables chauffantes	B		B ⁶	A ²			
Autoclaves	A						
Réservoirs de stockage	A						B ¹
Vulcanisateurs	A		B ¹				B ¹

1.12.1 Bacs de cuisson fixes

Utilisés dans de nombreuses industries pour chauffer une grande variété de matériaux, les bacs de cuisson doivent souvent réchauffer leur contenu aussi vite que possible. En cela, ils diffèrent des bacs de cuisson de cuisine. Les pressions de vapeur sont généralement plus élevées, et une évacuation efficace de l'air et des condensats est vitale. Les purgeurs installés sur des cuves de production fixes doivent évacuer l'air et les condensats très rapidement et supporter les variations importantes de débit entre les conditions de démarrage et de fonctionnement. Le purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique est le choix idéal. La double enveloppe démarrera plus rapidement si une purge d'air est placée à l'opposé de l'entrée de vapeur.



La Figure 51 représente un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique. Le purgeur TD peut être une alternative utile particulièrement lorsque la sortie est proche du sol, mais il peut être nécessaire d'installer un purgeur d'air en by-pass près du TD pour un rendement maximal. Les purgeurs thermostatiques à pression équilibrée peuvent aussi être utilisés sur des petites cuves mais ils nécessitent des lignes de refroidissement non calorifugées.

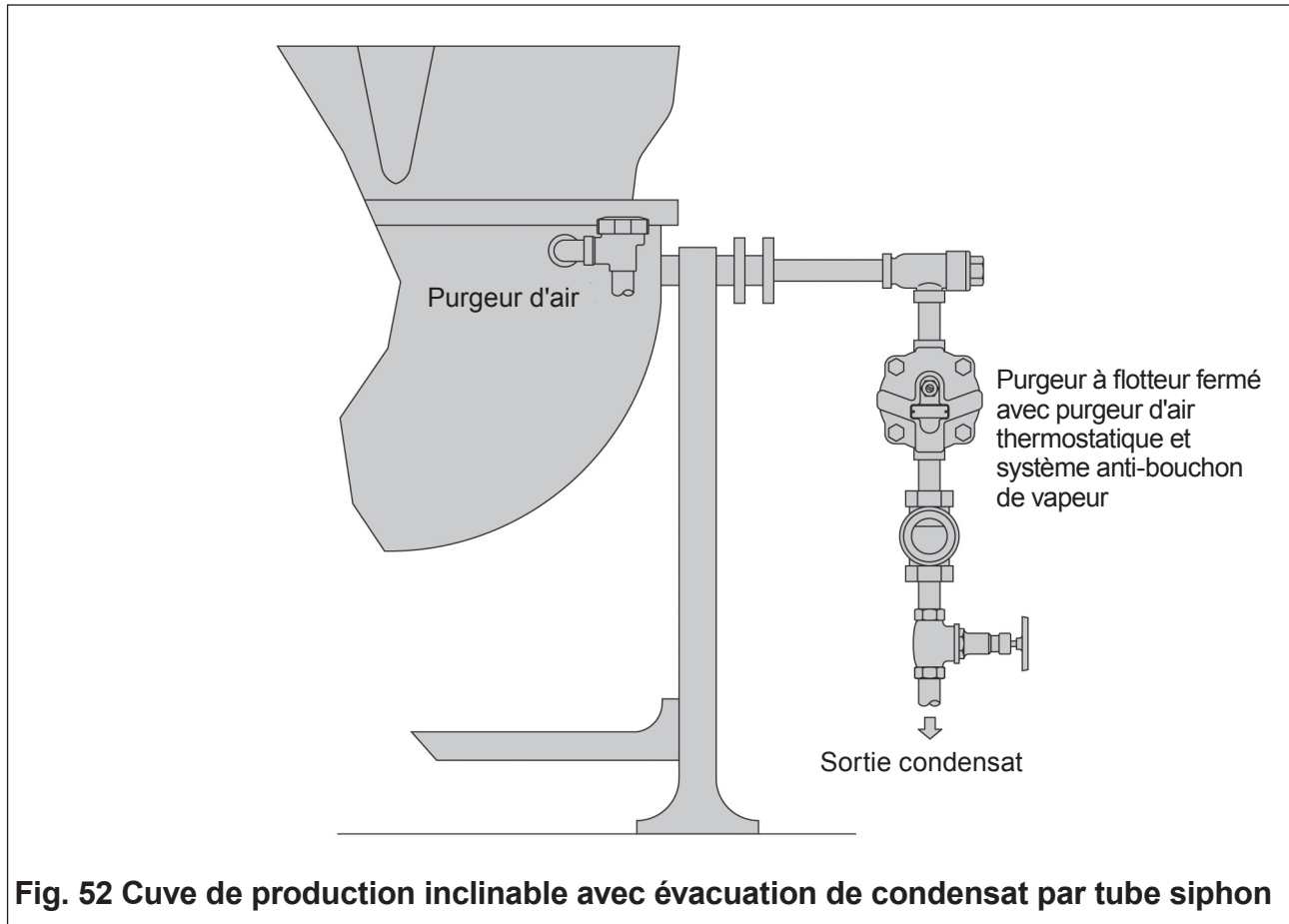


Fig. 52 Cuve de production inclinable avec évacuation de condensat par tube siphon

La Figure 52 représente une installation où le purgeur ne peut pas être fixé au-dessous de la cuve, et le condensat est évacué via un tube siphon interne fixe par un purgeur à flotteur fermé avec purgeur d'air thermostatique et système anti-bouchon de vapeur (FT-C).

1.12.2 Cuves de process inclinables

Une particularité de toutes les cuves à double enveloppe inclinables (Figure 52) est que les risques de blocage par la vapeur sont toujours présents. La raison en est que le condensat doit passer dans un tube montant de la base de la double enveloppe vers la sortie. Le passage ascendant se remplit de vapeur et le purgeur reste fermé, retenant le condensat à moins que des mesures correctes aient été prises. Le purgeur doit donc être équipé du mécanisme anti-bouchon de vapeur.

Si la vapeur entre par le sommet de la double enveloppe, un purgeur d'air supplémentaire installé sur la double enveloppe peut améliorer les périodes de démarrage.

Un tube siphon sera aussi utilisé sur une cuve de process fixe lorsque le condensat ne peut pas être évacué depuis la base de la cuve. Comme pour la cuve inclinable, un purgeur à flotteur fermé combiné avec un mécanisme anti-bouchon de vapeur (FT-C) doit être utilisé.

1.12.3 Autoclaves

Les autoclaves sont généralement de grands réservoirs dans lequel le produit est placé pour être traité ou cuit avec une pression relativement basse.

Un exemple : un autoclave dans lequel sont placées des boîtes étanches d'aliments. La vapeur chauffe et cuit le contenu des boîtes. Une fois la porte fermée, il est essentiel d'assurer que tout l'air et tout le condensat sont évacués et remplacés par de la vapeur saturée sèche. Un purgeur à flotteur fermé (avec purgeur d'air interne) est idéal, spécialement grâce à sa capacité de passer de gros volumes de condensat à des pressions relativement basses.

Dans de tels grands espaces de vapeur, l'évacuation de l'air est un problème. Si tout l'air n'est pas évacué, les températures de process diminueront et entraîneront la détérioration du produit. Si l'entrée de vapeur est placée en bas, il faut installer des purgeurs d'air thermostatiques à pression équilibrée en haut. Si la vapeur entre en haut, ajouter des purgeurs d'air supplémentaires près de la base (Figure 53).

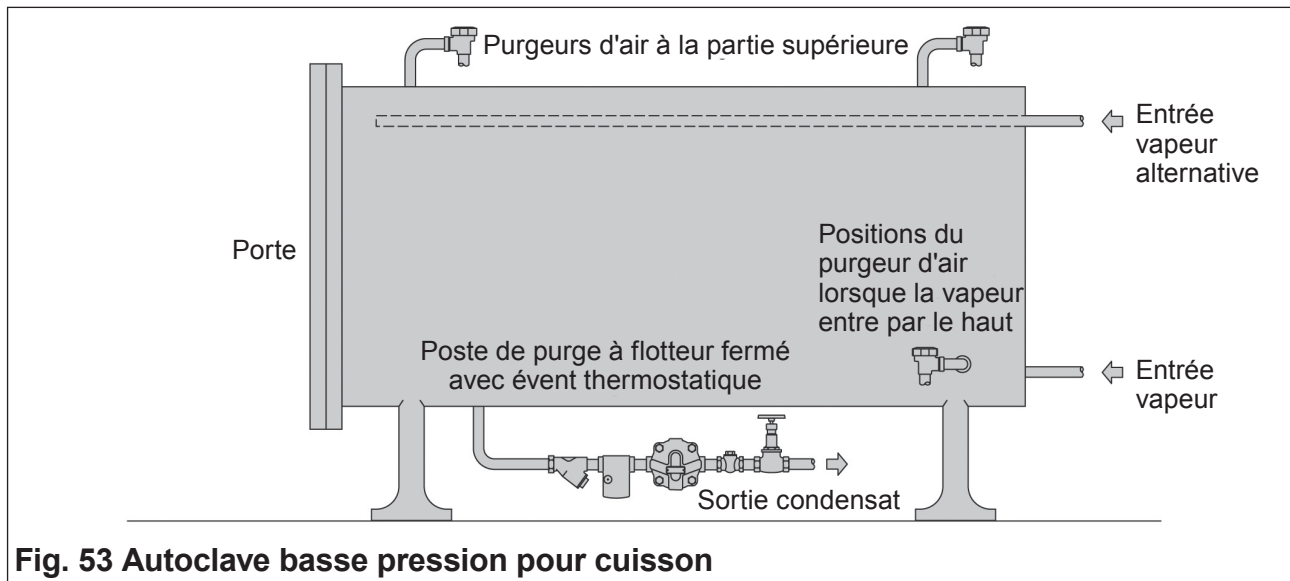


Fig. 53 Autoclave basse pression pour cuisson

La Figure 54 présente une autre méthode de purge d'air d'un grand autoclave utilisant une régulation de température autonome comme purgeur d'air de grand débit. Lorsqu'il y a un cycle de refroidissement, les purgeurs et les purgeurs d'air doivent être équipés de robinets en by-pass appropriés.

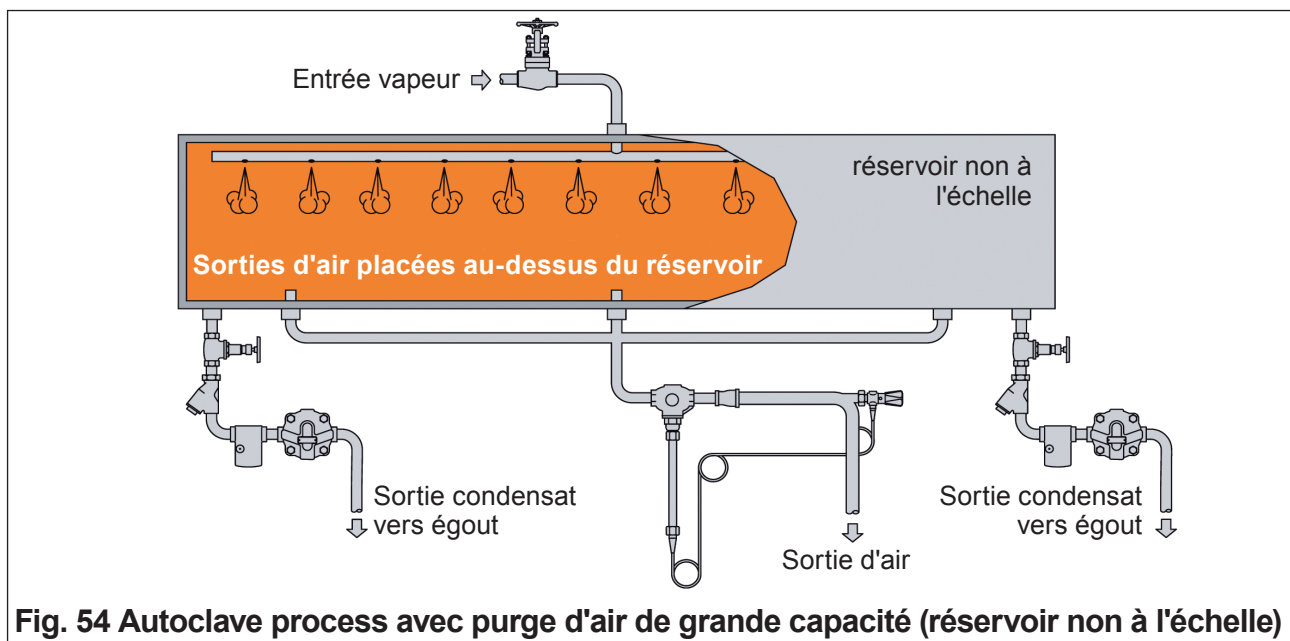


Fig. 54 Autoclave process avec purge d'air de grande capacité (réservoir non à l'échelle)

1.12.4 Digesteurs

La chaleur est fournie par une double enveloppe vapeur qui est remplie d'air au démarrage. La position de l'entrée de vapeur peut varier, elle peut être en bas, au milieu ou en haut. Les deux premières positions nécessitent des purgeurs d'air en haut de la double enveloppe (Figure 55) mais pour une entrée en haut, il faut installer les purgeurs d'air près de la base. Dans tous les cas, les doubles enveloppes seront purgées par des purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique comme indiqué. Des purgeurs TD sont des alternatives possibles mais des purgeurs d'air supplémentaires seront généralement nécessaires. Dans le cas où il y a un risque de formation de bouchon de vapeur, par exemple, lorsque la tuyauterie de condensat est réchauffée, il est conseillé d'utiliser un purgeur à flotteur fermé avec mécanisme anti-bouchon de vapeur (FT-C).

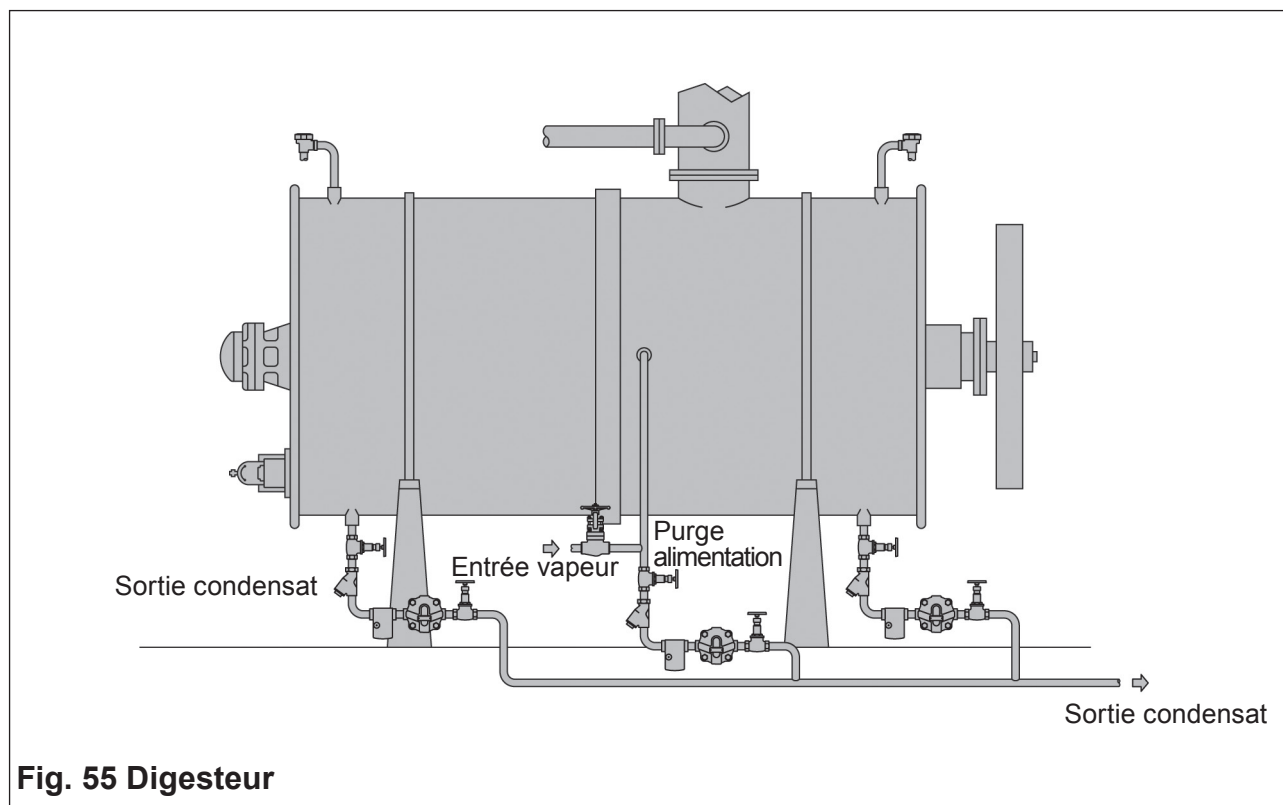


Fig. 55 Digesteur

1.12.5 Tables chauffantes

Elles sont utilisées dans de nombreuses industries et les conditions peuvent être variables, mais un bon exemple d'application est constitué par la section finale de séchage d'une onduleuse (Figure 56). Les tables chauffantes peuvent avoir différents pressions et débits de condensats, à cause des variations d'épaisseur du carton. Des purgeurs à flotteur fermé avec évent thermostatique ou des purgeurs thermostatiques à pression équilibrée sont appropriés pour cette application, et les TD sont aussi une bonne alternative.

Généralement, la vapeur ne devrait pas être alimentée à une extrémité de la table et les condensats évacués à l'autre, car le condensat (et l'air) doivent passer d'une section à l'autre pour atteindre le purgeur. Cela entraîne un réchauffage lent et réduit la température des dernières sections. La méthode la plus correcte est d'alimenter et de purger chaque section séparément. La Figure 56 représente des purgeurs thermostatiques à pression équilibrée (précédés de filtres) qui sont généralement appropriés pour ces tables.

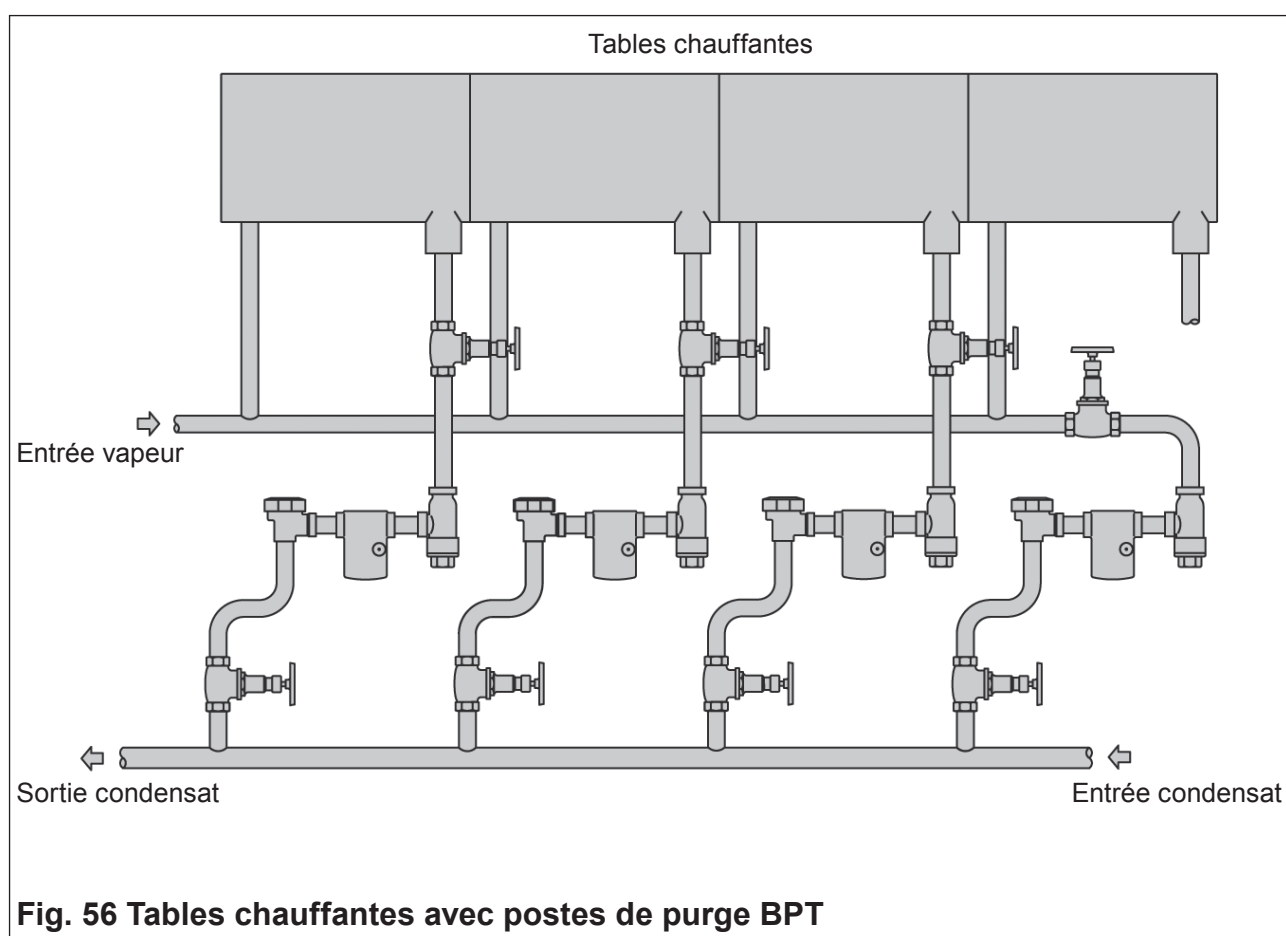


Fig. 56 Tables chauffantes avec postes de purge BPT

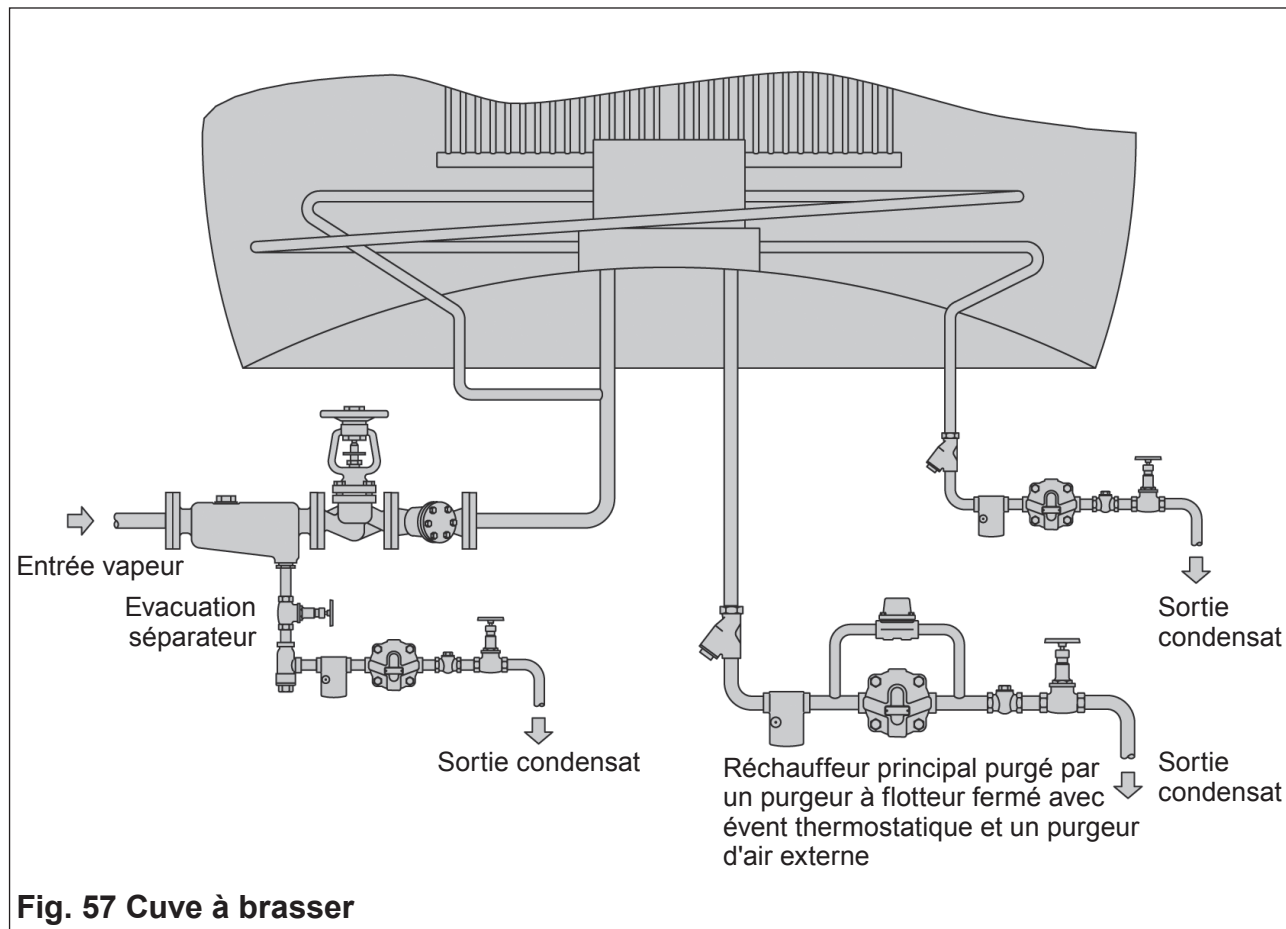
1.12.6 Cuves à brasser

Il s'agit d'une forme spéciale d'évaporateur et demande une attention particulière. L'alimentation vapeur se fait généralement sous la cuve, et la demande élevée du réchauffeur peut occasionner un pic de demande, à la chaudière avec la possibilité de primage; de ce fait un séparateur en ligne près de la cuve assurera une vapeur sèche.

Le serpentin de base sera bien drainé par un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique installé près de la sortie. Le réchauffeur doit pouvoir transférer le plus de chaleur possible avec une sortie douce pour donner une turbulence continue dans la cuve. Cela demande un purgeur haute capacité avec évacuation continue, capable de gérer le débit élevé du démarrage ainsi que les faibles débits de fonctionnement. Le purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique est idéalement approprié.

La purge de l'air est extrêmement importante. La conception du réchauffeur fait que tout l'air est évacué par la sortie de condensat, aussi il sera avantageux d'installer un purgeur d'air supplémentaire. L'utilisation d'un purgeur d'air thermostatique à pression équilibrée installé près du purgeur optimisera le système de purge au démarrage (Figure 57).

La conception du réchauffeur peut être telle que, souvent, l'air se collecte à certains points. Dans ce cas, une purge d'air indépendante sera nécessaire.



1.12.7 Evaporateurs, calandres et rebouilleurs

La conception et l'utilisation des évaporateurs varient considérablement. Il s'agit essentiellement d'échangeurs de chaleur particuliers pour chauffer un fluide de process. Le réchauffeur vapeur est généralement un faisceau tubulaire horizontal comme représenté Figure 58. Les faisceaux verticaux sont aussi utilisés et sont souvent installés dans une calandre, avec la vapeur à l'extérieur des tubes. Les calandres peuvent être installées dans le corps de l'évaporateur, mais un réchauffeur externe ou un rebouilleur peuvent être utilisés. Tous ces cas sont traités de la même façon. Le taux de condensation est plus élevé au démarrage que lors de l'ébullition, mais un bon taux de transfert thermique est vital à tous les instants. Le purgeur doit fonctionner aussi bien pour des débits faibles ou importants et l'air doit être évacué librement.

Le purgeur à flotteur fermé avec événement thermostatique est le premier choix, et il vaut mieux l'installer près du point de purge du condensat. Si cela n'est pas possible, utiliser un purgeur à flotteur fermé avec un mécanisme anti-bouchon de vapeur (FT-C), et, si nécessaire, un purgeur d'air externe en by-pass.

Le purgeur à flotteur inversé ouvert est une alternative lorsque les pressions de vapeur sont très élevées ou lorsque de violents coups de bélier sont présents. Dans ce cas, un by-pass avec purgeur d'air est toujours nécessaire.

Avec certains réchauffeurs, le rendement peut être amélioré avec une purge d'air supplémentaire. L'évacuation des condensats et la purge d'air d'évaporateurs multi-effets peuvent être compliquées par le fait que des évaporateurs plusieurs effets peuvent fonctionner sous vide, et des mesures spéciales doivent être prises en utilisant des purgeurs/pompes automatiques. Le condensat peut aussi être corrosif.

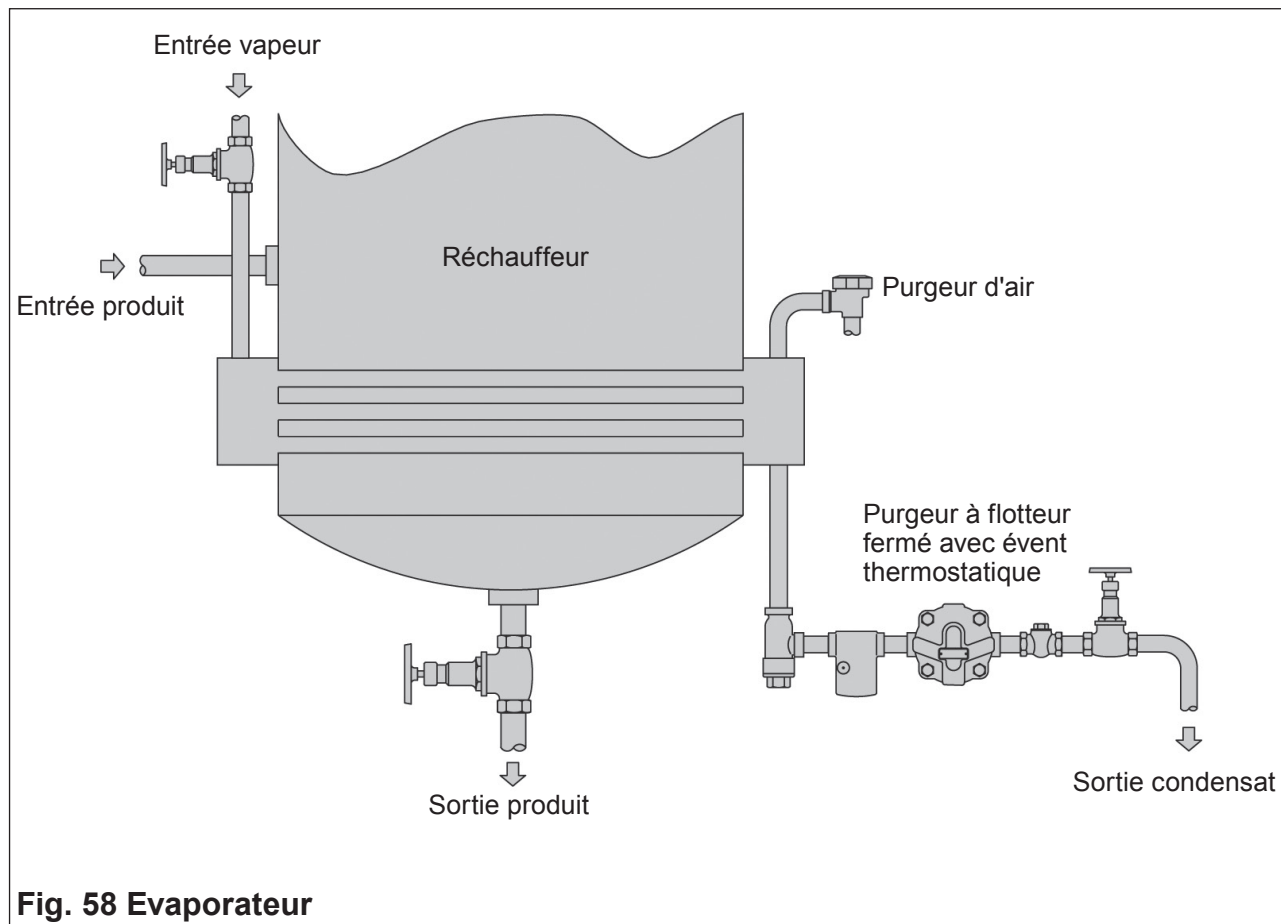
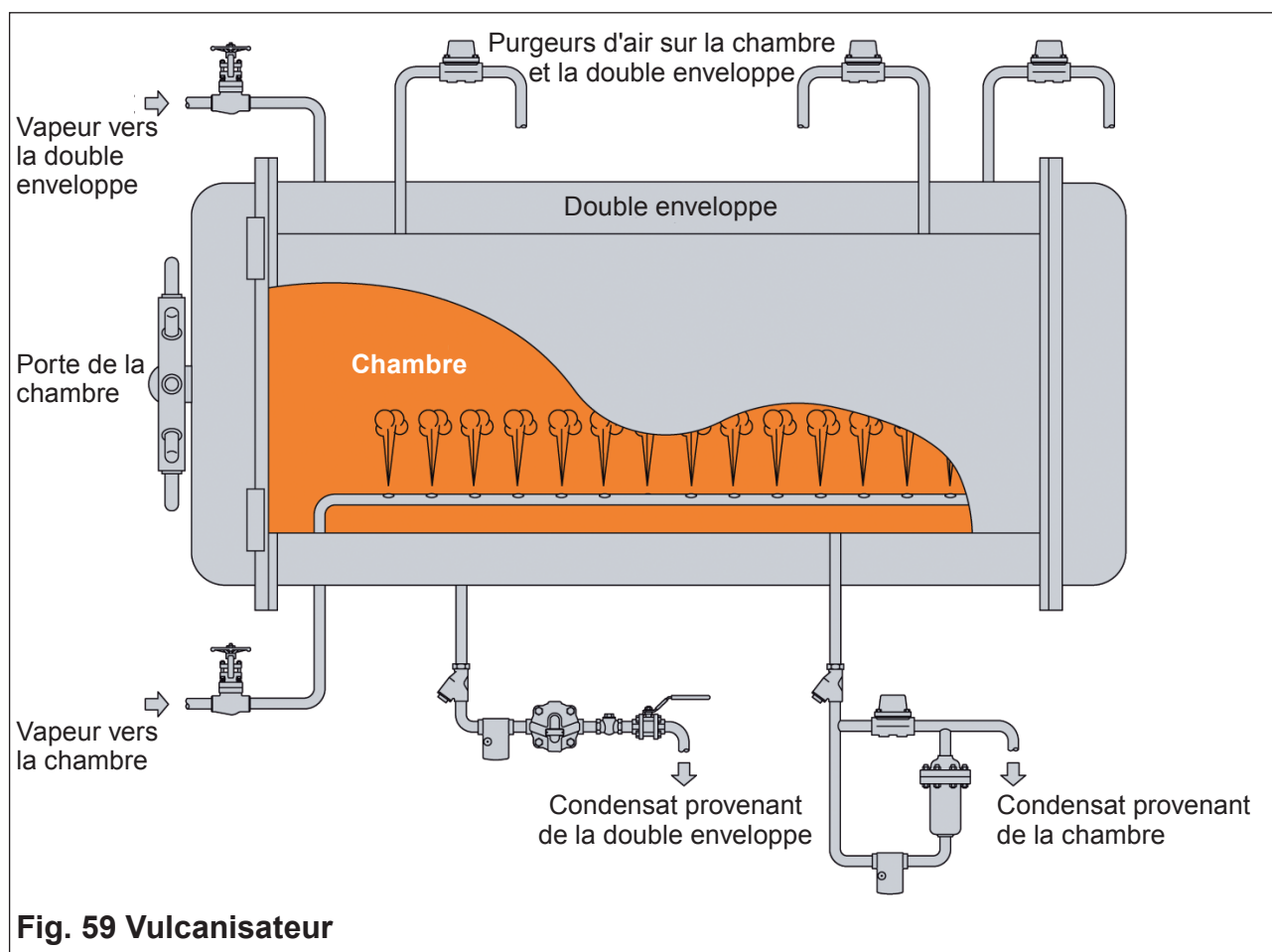


Fig. 58 Evaporateur

1.12.8 Vulcanisateurs

Le condensat provenant de la chambre peut devenir acide, le rendant corrosif pour certains purgeurs. Un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique est encore le meilleur choix ou, peut être, un purgeur à flotteur inversé ouvert avec un purgeur d'air indépendant en parallèle. Quel que soit le choix, il doit être en acier inoxydable pour résister aux attaques corrosives. Le condensat doit être évacué à l'égout à cause du risque de contamination. Les postes de purge de la chambre devront être nettoyés régulièrement.

L'entrée de vapeur à une extrémité de la chambre rend nécessaire l'utilisation de purgeurs d'air à l'extrémité la plus éloignée de la chambre, ainsi qu'autour du purgeur. L'évacuation des condensats et la purge d'air de la double enveloppe sont plus simples. Un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique doit être utilisé, ainsi qu'un purgeur d'air installé aussi loin que possible de l'entrée vapeur.



1.13 Appareils pour chauffage d'ambiance

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹(purgeur d'air en parallèle), ⁴(un purgeur/pompe peut être nécessaire)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Réchauffeurs	A ⁴						
Batteries de réchauffage	A ⁴						
Panneaux radiants	A	B ¹	B ¹				B ¹
Radiateurs et armoires de chauffage	B			A	B		
Serpentins suspendus	B			A			B ¹

1.13.1 Echangeurs de chaleur évacuant à la pression atmosphérique

Le purgeur doit pouvoir aussi bien gérer des débits très importants que très faibles, et doit pouvoir purger l'air rapidement. Le purgeur à flotteur fermé est le choix idéal et doit toujours être installé en dessous de la sortie. La Figure 60 représente un purgeur à flotteur fermé installé à une place où il n'y a pas de contre pression imposée par le réseau de condensat, ce qui est le cas si le condensat est évacué vers un collecteur à l'atmosphère ou vers une ligne de retour sous pression plus basse.

Chaque fois que le rendement du réchauffeur est régulé, manuellement ou automatiquement, cela entraîne une réduction de la pression dans l'espace vapeur, qui peut alors être insuffisante pour pousser le condensat au travers du purgeur occasionnant ainsi un engorgement. On parle alors de purge "critique". La pression baisse en dessous de la pression atmosphérique (c.a.d. le vide) si la température de l'eau secondaire est régulée en dessous de 100°C. Ce vide a l'effet de retenir le condensat dans les tubes du réchauffeur, entraînant l'engorgement de l'espace vapeur, provoquant coups de bélier, mauvaise régulation de température et dans certains cas, la corrosion des éléments du réchauffeur.

Dans ces circonstances, l'addition d'un casse-vide en aval de la vanne de régulation permettra au condensat de s'écouler du réchauffeur par gravité. Le purgeur est dimensionné sur la différence de hauteur entre la sortie du réchauffeur et l'entrée du purgeur, à débit critique.

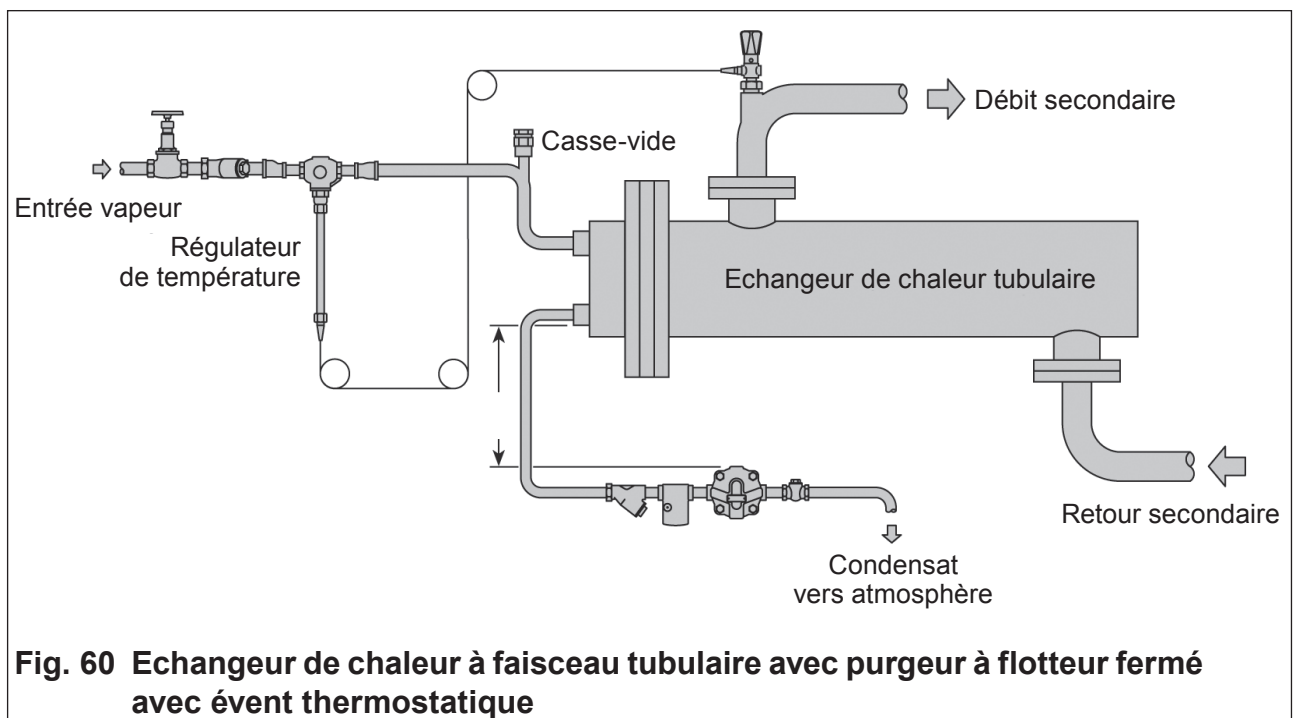


Fig. 60 Echangeur de chaleur à faisceau tubulaire avec purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique

1.13.2 Echangeurs de chaleur évacuant vers une pression positive

S'il y a une hauteur de refoulement après le purgeur et/ou si le condensat s'écoule dans un réseau pressurisé de condensat, il est impératif de déterminer si la pression dans l'espace vapeur (P_v) sera inférieure ou égale à la contre pression imposée par le réseau de condensat (P_c). Si P_v peut être inférieure à P_c , un purgeur ne purgera pas correctement l'échangeur de chaleur, et une méthode active d'évacuation des condensats du process est conseillée. Cette situation nécessite l'installation d'un purgeur/pompe tel que représenté Figure 61. Une pompe à fluide auxiliaire, prévue pour un réchauffeur unique, est raccordée de telle façon que le corps de la pompe, la tuyauterie d'admission de la pompe et l'espace vapeur du réchauffeur constituent un espace vapeur commun. Lorsque la pression de la vapeur est suffisamment élevée, le condensat s'écoule de l'espace vapeur vers le corps de la pompe et vers le purgeur et, est évacué. Lorsque la vanne de régulation se ferme, la pression diminue, le condensat remplit la chambre de la pompe. Pour un certain niveau de condensat dans la pompe, la vapeur motrice est admise à pression élevée et elle pousse le condensat hors du corps de la pompe et l'évacue par le purgeur.

La ligne d'évent de la pompe est raccordée à un réservoir et agit comme une tuyauterie d'équilibrage lorsque la pompe se remplit. La petite quantité de vapeur entraînée par l'évent est alors réintroduite dans l'installation, et le pompage est réalisé sans perte de vapeur à l'atmosphère, avec le maximum d'efficacité et sans émission de vapeur de revaporisation.

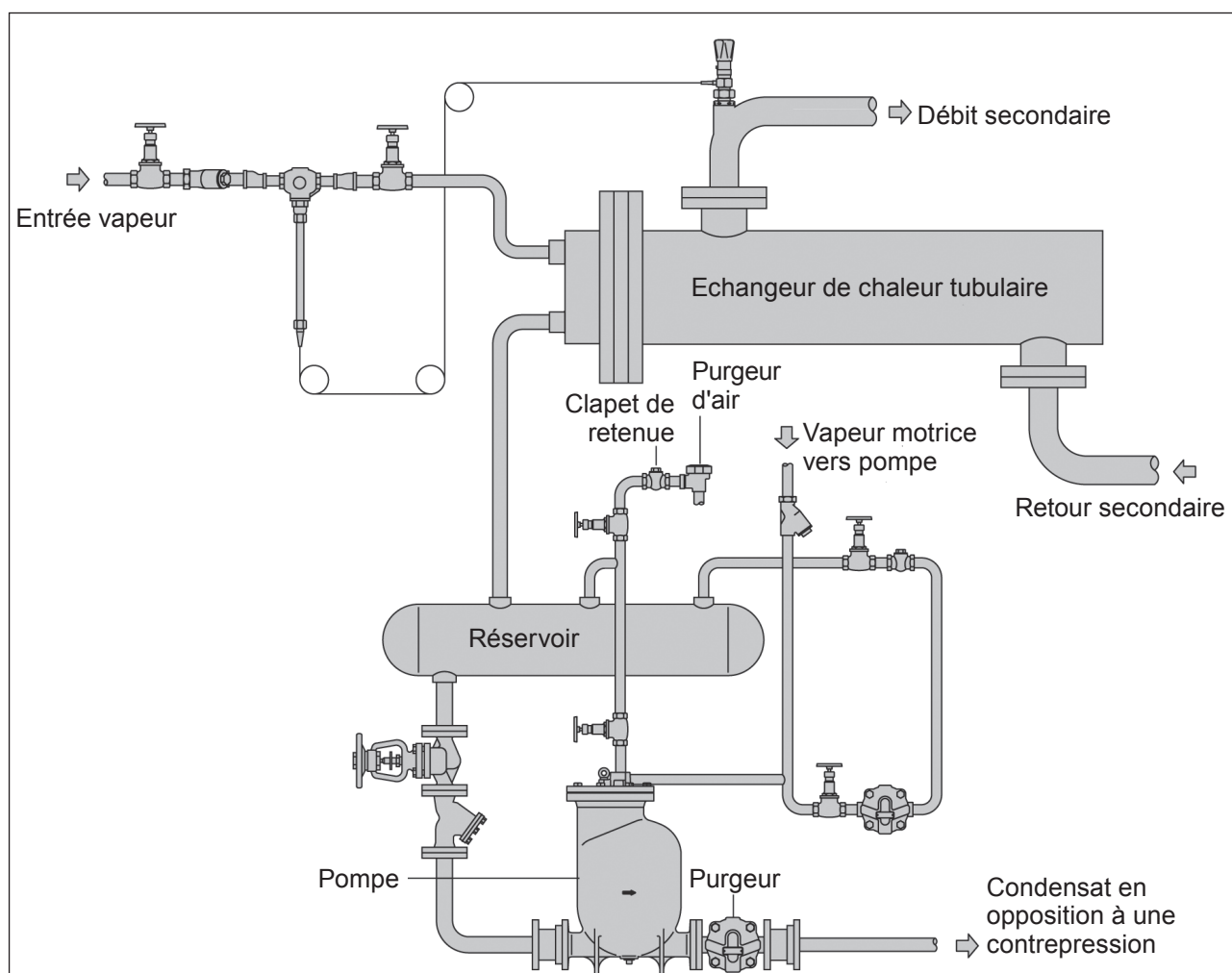


Fig. 61 Echangeur de chaleur tubulaire et installation purgeur-pompe

1.13.3 Panneaux et faisceaux radiants

Un rendement thermique élevé est obtenu avec une température de surface élevée; une évacuation prompte du condensat est donc vitale. Les meilleurs résultats sont réalisés en purgeant chaque panneau individuellement avec un purgeur à flotteur fermé qui évacue air et condensat rapidement (Figure 62). Grouper deux panneaux similaires sur un purgeur est souvent satisfaisant. Des purgeurs TD ou IB peuvent aussi être utilisés, mais des purgeurs d'air supplémentaires sont souvent nécessaires.

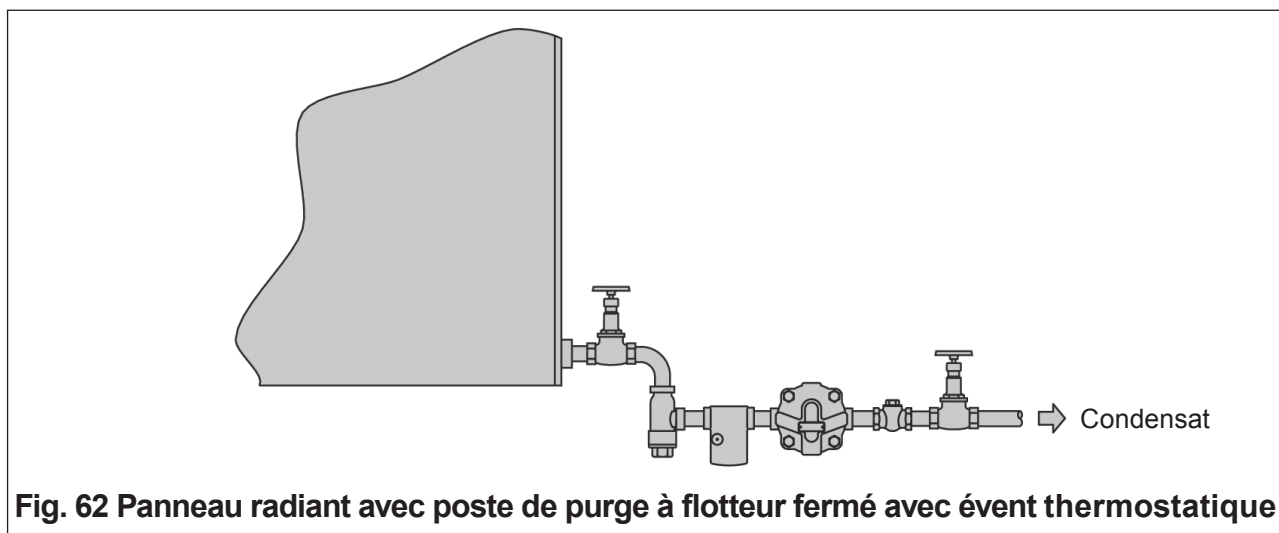


Fig. 62 Panneau radiant avec poste de purge à flotteur fermé avec évent thermostatique

1.13.4 Radiateurs à vapeur

Pour le type standard de radiateur à vapeur qui fonctionne normalement avec des pressions inférieures à 2,8 bar, un purgeur thermostatique à pression équilibrée avec entrée par raccord-union peut être utilisé comme représenté Figure 63. Un filtre n'est pas forcément nécessaire car le radiateur agit comme une poche à sédiments, et peut être purgé une fois par an après avoir ôté temporairement la capsule du purgeur. En remplaçant la capsule, il est utile de s'assurer que clapet et siège sont propres.

Si toutefois, un filtre est souhaité, un purgeur thermostatique à pression équilibrée avec un filtre est une alternative possible (Figure 64). Dans certaines installations, ce type de réchauffeur est utilisé avec un système de retour sous vide, dans ce cas une capsule spéciale à grand Dt est disponible.

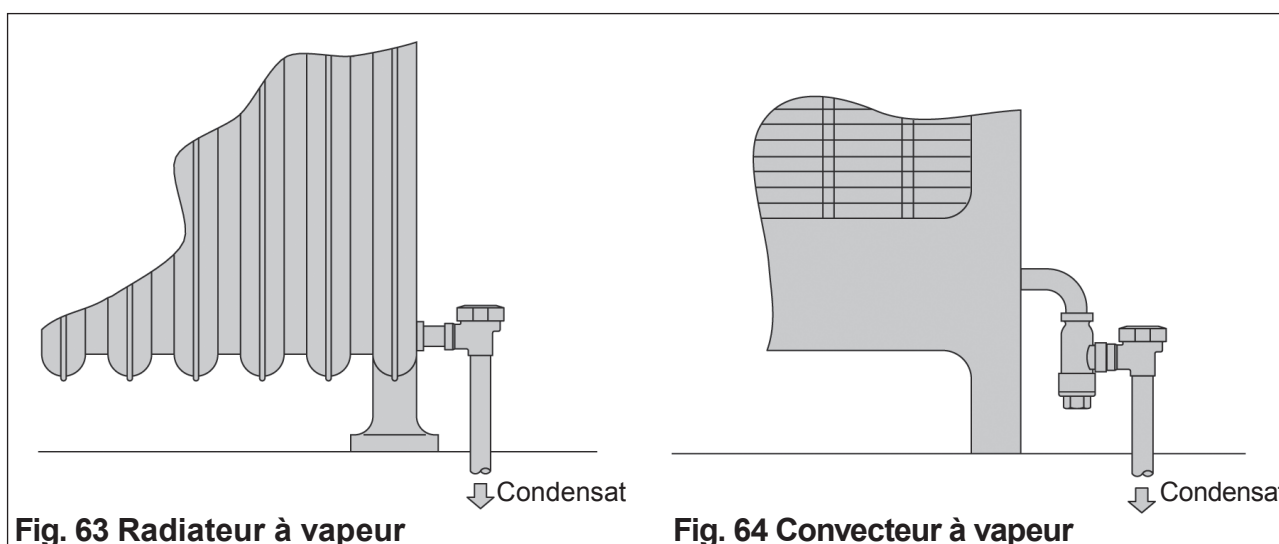


Fig. 63 Radiateur à vapeur

Fig. 64 Convecteur à vapeur

1.13.5 Réchauffeurs à ventilateur pour armoire de chauffage

Bien qu'ils aient un petit espace vapeur et que le condensat ne doive pas pouvoir s'accumuler, des facteurs de conception exigent qu'ils aient un aspect net et le purgeur thermostatique à pression équilibrée avec filtre s'impose comme solution (voir Figure 65). Si toutefois, la chambre est à convection forcée (avec ventilateur interne), il est impératif de garder l'espace vapeur vide de tout condensat et air. Un purgeur à flotteur fermé est idéal mais l'installer correctement à l'intérieur de la chambre peut présenter un problème. Le purgeur thermostatique à pression équilibrée monté à l'extrémité d'une ligne de refroidissement est une bonne alternative (Figure 65).

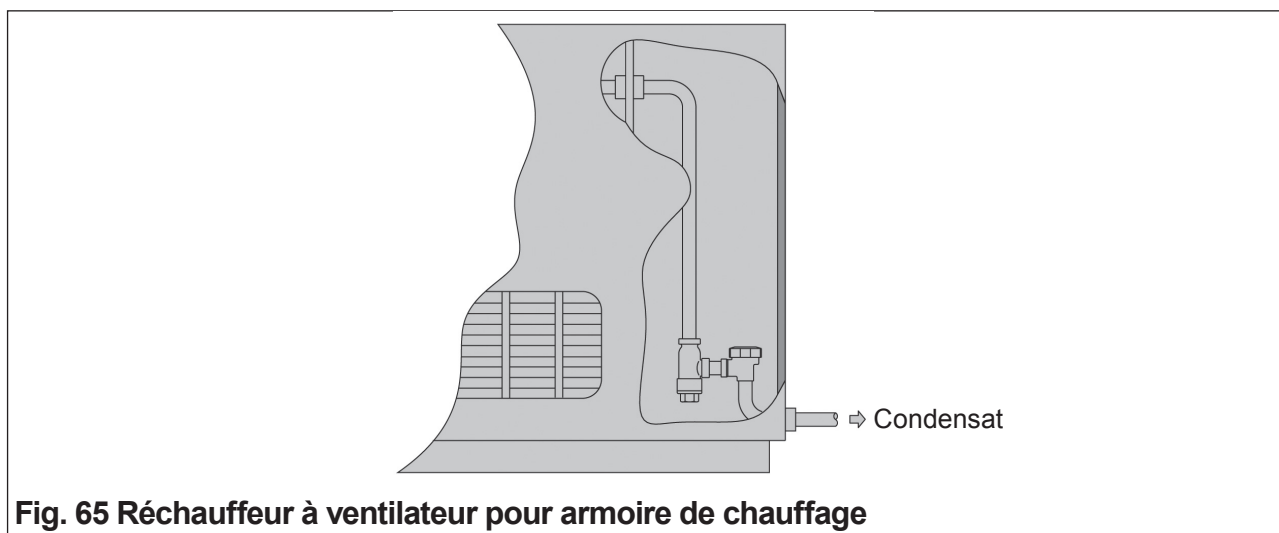


Fig. 65 Réchauffeur à ventilateur pour armoire de chauffage

1.13.6 Réchauffeurs et batteries de réchauffage d'air

Les réchauffeurs et les batteries de réchauffage d'air produisent une grande quantité de condensat pour un petit espace vapeur. Toute accumulation de condensat ou d'air provoque des températures inégales ou le soufflage d'air froid qui peuvent détériorer la batterie. Utiliser un petit purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique près de la sortie (Figure 66).

Pour des batteries horizontales avec soufflage vers le bas, toute réduction de sortie de condensat doit être faite à l'aide d'une réduction excentrique. Cela limitera l'accumulation de condensat. Le purgeur doit être installé en dessous de la sortie de condensat comme indiqué Figure 67. L'évacuation du condensat peut être améliorée par l'installation de la batterie de réchauffage avec une faible inclinaison vers la sortie.

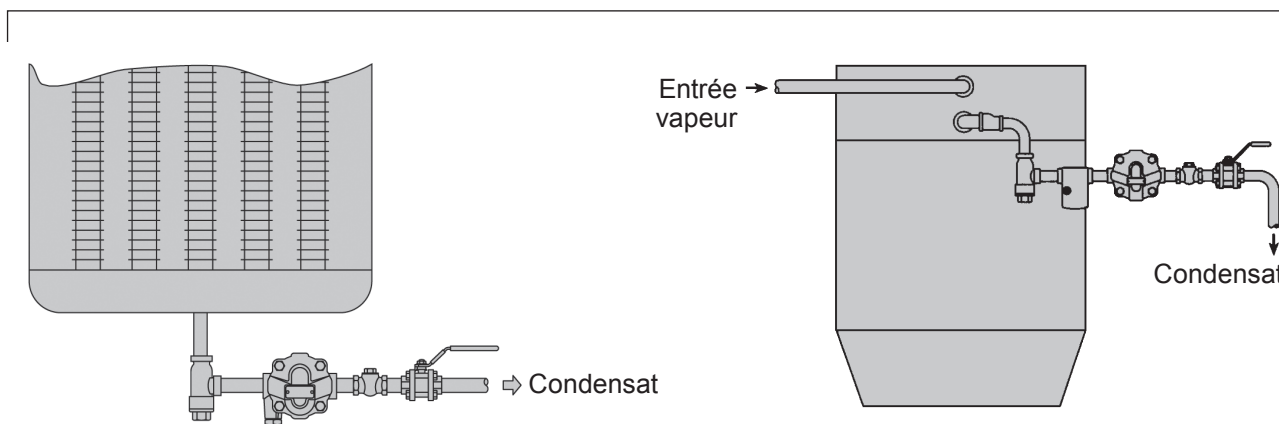


Fig. 66 Réchauffeurs avec purgeur FT avec évent thermostatique

Fig. 67 Réchauffeur avec soufflage vers le bas avec purgeur FT

Lorsque plusieurs batteries de chauffe verticales sont installées en série par rapport au débit d'air, les sections successives fournissent progressivement de moins en moins de chaleur, et produisent progressivement moins de condensat. Chaque section doit être purgée séparément avec un purgeur à flotteur fermé (Figure 68). Si un purgeur à flotteur fermé ne peut pas être utilisé, le purgeur IB est une alternative possible, mais avec un purgeur d'air installé en parallèle. Lorsque des pressions de vapeur plus élevées sont utilisées dans un ensemble de batteries multiples, des économies peuvent être réalisées en collectant le condensat, pour séparer la vapeur de revaporisation et l'utiliser pour réchauffer la première section du réchauffeur. Lorsque la température des batteries de chauffe est régulée, des conditions critiques peuvent se produire dans les espaces vapeur empêchant une évacuation efficace du condensat. Un casse-vide doit être installé sur la tuyauterie entre la vanne de régulation et l'entrée de la batterie de chauffe, et la tuyauterie condensat doit pouvoir être inclinée vers un point de collecte, par exemple un collecteur purgé à l'atmosphère. Le purgeur à flotteur fermé doit être dimensionné par rapport au débit critique.

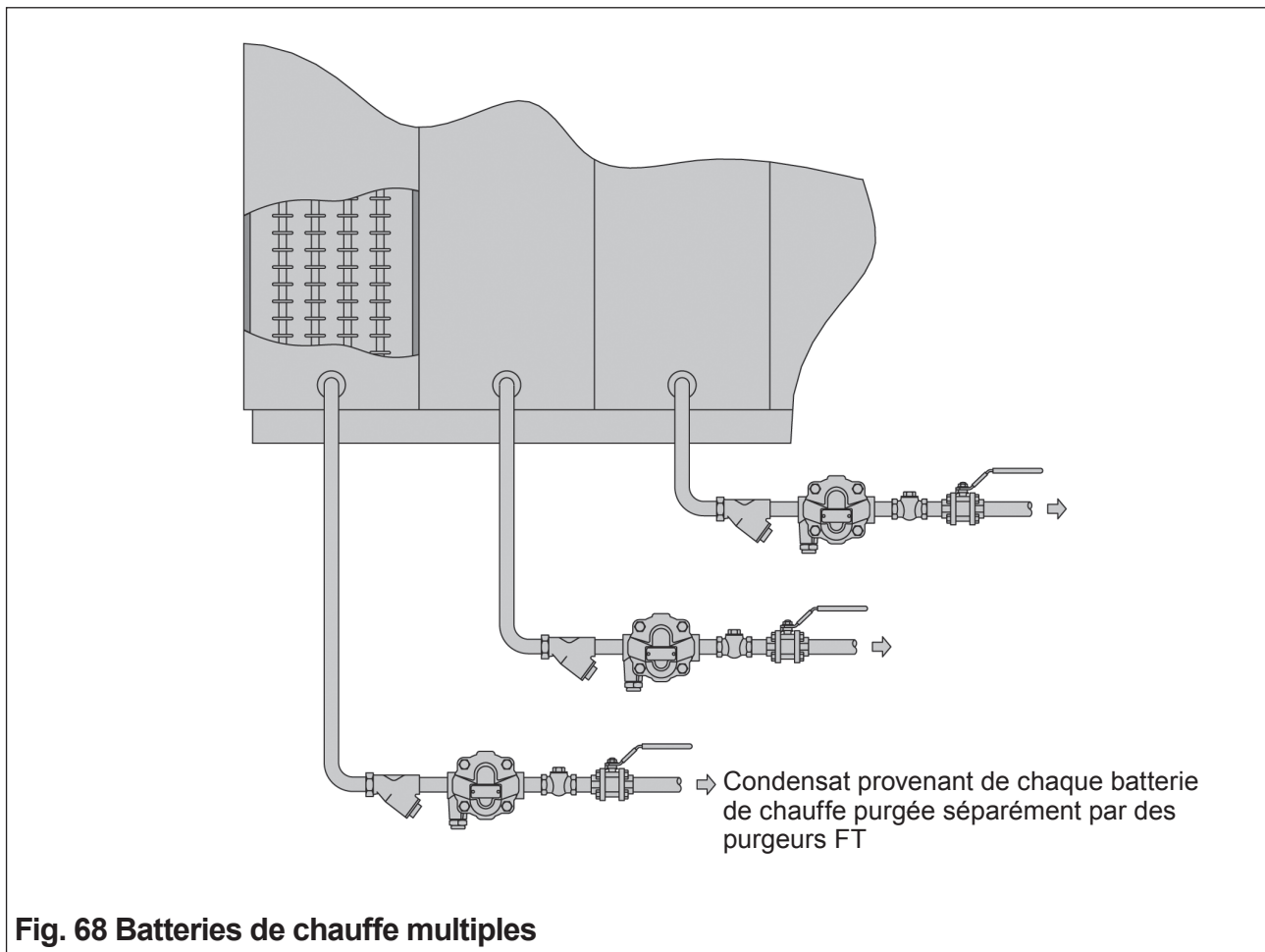


Fig. 68 Batteries de chauffe multiples

1.13.7 Serpentins suspendus

De longues tuyauteries de réchauffage aériennes, tels que les serpentins de séchage industriels, entraîneront toujours des coups de bélier si l'installation n'a pas été correctement conçue. La chaleur monte lentement et la régulation de température est difficile. Dans le cas du réseau représenté Figure 69 avec reprise de pente, l'utilisation des purgeurs thermostatiques à pression équilibrée avec des capsules en acier inoxydable ou des purgeurs FT ou IB éliminera le problème. Avec des purgeurs IB, la vitesse de réchauffage peut être grandement améliorée en installant des purgeurs d'air indépendants, spécialement à l'extrémité du serpentin (Figure 70).

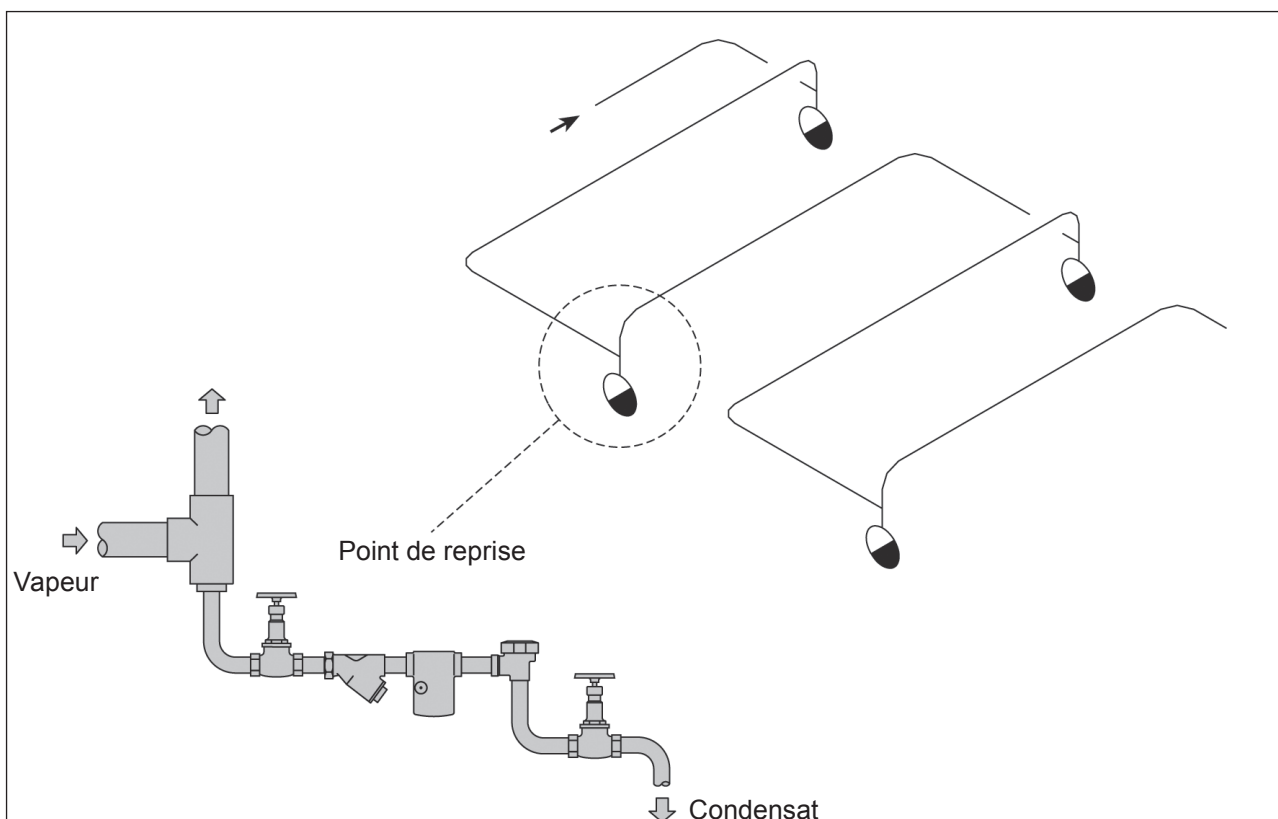


Fig. 69 Serpentin suspendu

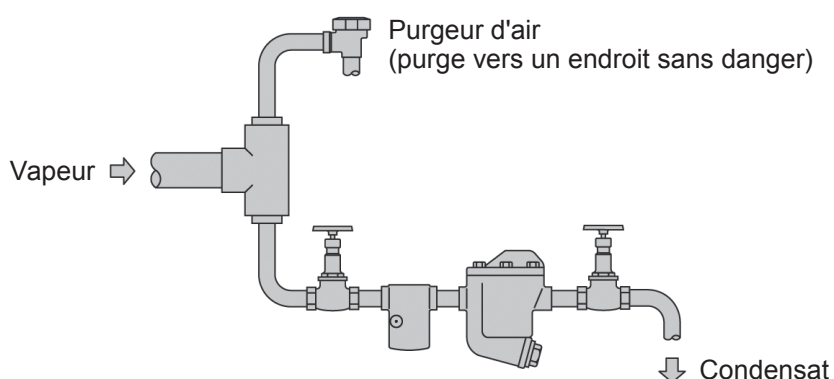


Fig. 70 Purgeur à flotteur inversé ouvert avec purgeur d'air

1.14 Réseaux vapeur

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ¹(purgeur d'air en parallèle), ³(avec ligne de refroidissement), ⁶(disque anti-blocage par air)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Conduites horizontales	B		A				B
Séparateurs	A		B				B
Bouts de ligne	B		A ¹				B ¹
Purge à l'arrêt (protection contre le gel)				B ³	B	A	
Purge de barillet de distribution	A		B ⁶				B

1.14.1 Réseaux vapeur

Les réseaux vapeur transportent des gouttelettes d'eau en suspension dans la vapeur aussi bien qu'une couche de condensat et d'air sur les parois de la tuyauterie. Les trois doivent être évacués pour obtenir un rendement optimal de l'installation. Les purgeurs doivent évacuer vers des lignes de condensat correctement dimensionnées, inclinées vers un collecteur de purge. Les lignes de retour de condensat étant souvent parallèles au réseau vapeur, il est tentant d'y raccorder les évacuations provenant des purgeurs purgeant le réseau. Si les retours de condensat sont engorgés, comme ils le sont souvent, les coups de bélier seront violents. Ce sera plus grave si les purgeurs sont à évacuation par chasse et il faut éviter la pratique d'évacuer dans des lignes déjà engorgées.

Les débits de condensat des réseaux sont relativement faibles, un purgeur à débit faible tel que le purgeur thermodynamique est approprié. Il est très robuste et offre une longue durée de vie et un fonctionnement efficace dans des conditions difficiles.

1.14.2 Conduites horizontales

Les conduites horizontales ne doivent pas être purgées par un petit raccordement à la partie inférieure de la tuyauterie. Utiliser un pot de purge correctement dimensionné pour permettre aux condensats s'écoulant rapidement d'être piégés dans le pot (voir Figure 71).

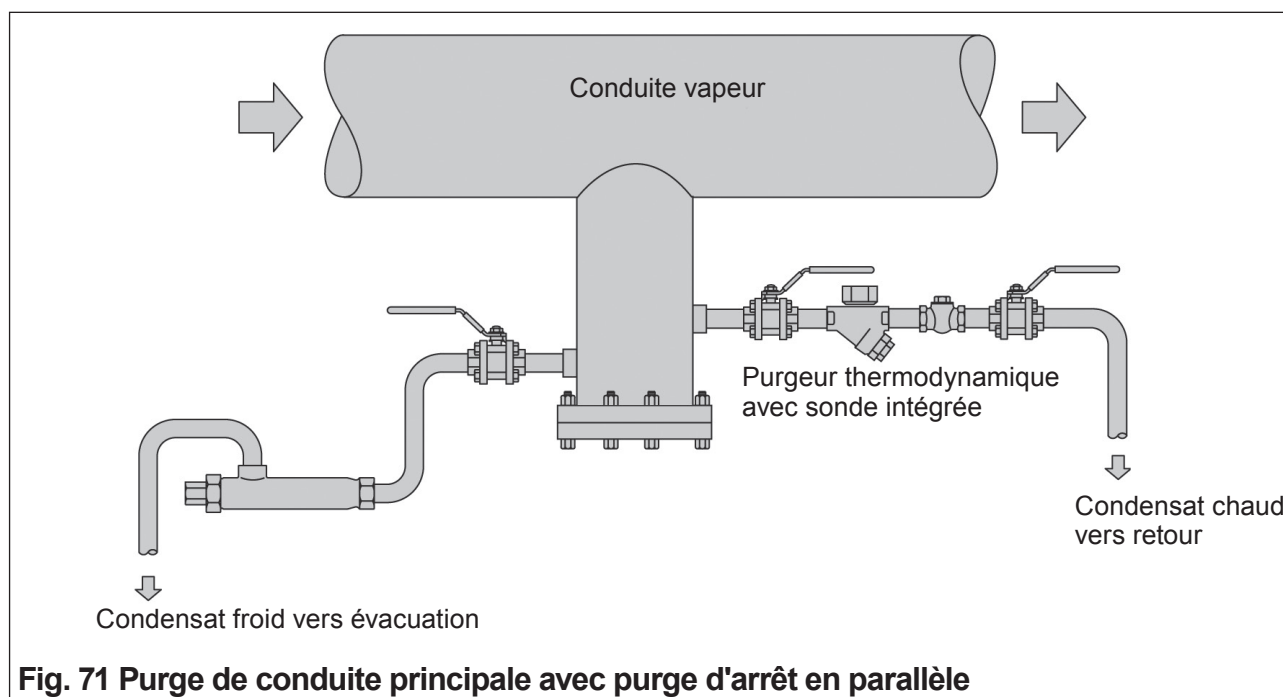


Fig. 71 Purge de conduite principale avec purge d'arrêt en parallèle

1.14.3 Dimensions d'un pot de purge

Les dimensions recommandées pour les pots de purge sont proportionnées aux tailles des conduites vapeur (Tableau 1).

Tableau 1

Diamètre conduite - D	Diamètre du pot de purge - d_1	Profondeur du pot de purge - d_2
Jusqu'à 100 mm	$d_1 = D$	Minimum $d_2 = 100$ mm
125 - 200 mm	$d_1 = 100$ mm	Minimum $d_2 = 150$ mm
250 mm et au-delà	$d_1 = D/2$	Minimum $d_2 = D$

1.14.4 Séparateurs

Un séparateur évacuera les gouttelettes en suspension, ainsi que la couche de condensat et fournira de la vapeur sèche pour le chauffage et le process (Figure 72). Le purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique est le meilleur choix pour purger le condensat qu'il est essentiel d'évacuer dès sa formation. En alternative, le purgeur à flotteur inversé ouvert pourra être utilisé avec un purgeur d'air indépendant comme indiqué Figure 72. La troisième alternative, le TD, est idéal pour les réseaux extérieurs exposés à des conditions sévères, il ne sera pas détérioré par le gel.

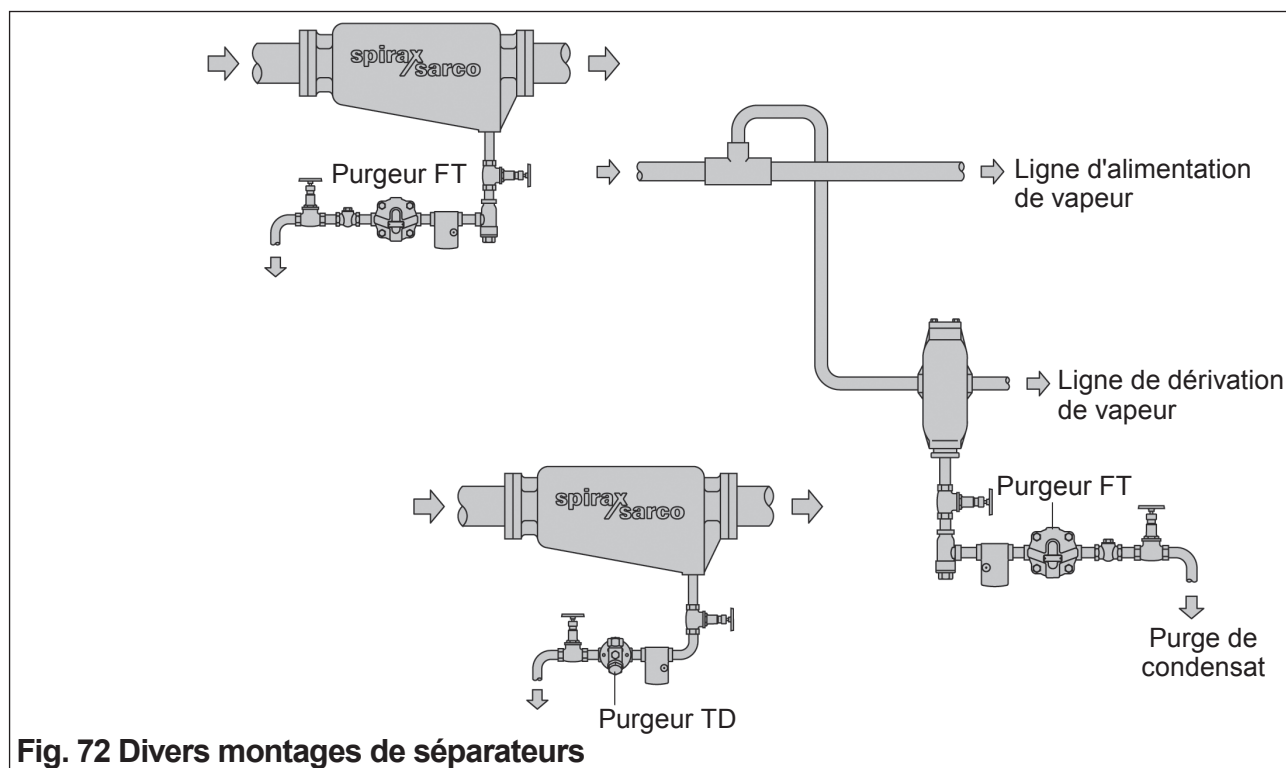


Fig. 72 Divers montages de séparateurs

1.14.5 Purge d'un barillet de distribution de vapeur

Les barillets de distribution de vapeur doivent être purgés de la même façon que les conduites principales vapeur avec un pot de purge bien placé à la base du barillet. Une légère inclinaison en direction du pot de purge facilitera l'évacuation. Les barillets dont la longueur est supérieure à 5 m auront de préférence un pot de purge aux deux extrémités. Les barillets situés près des chaudières peuvent être soumis au primage, aussi les purgeurs à flotteur fermés sont mieux adaptés pour gérer les fluctuations des débits de condensat. Les TD avec des disques anti blocage par air peuvent convenir.

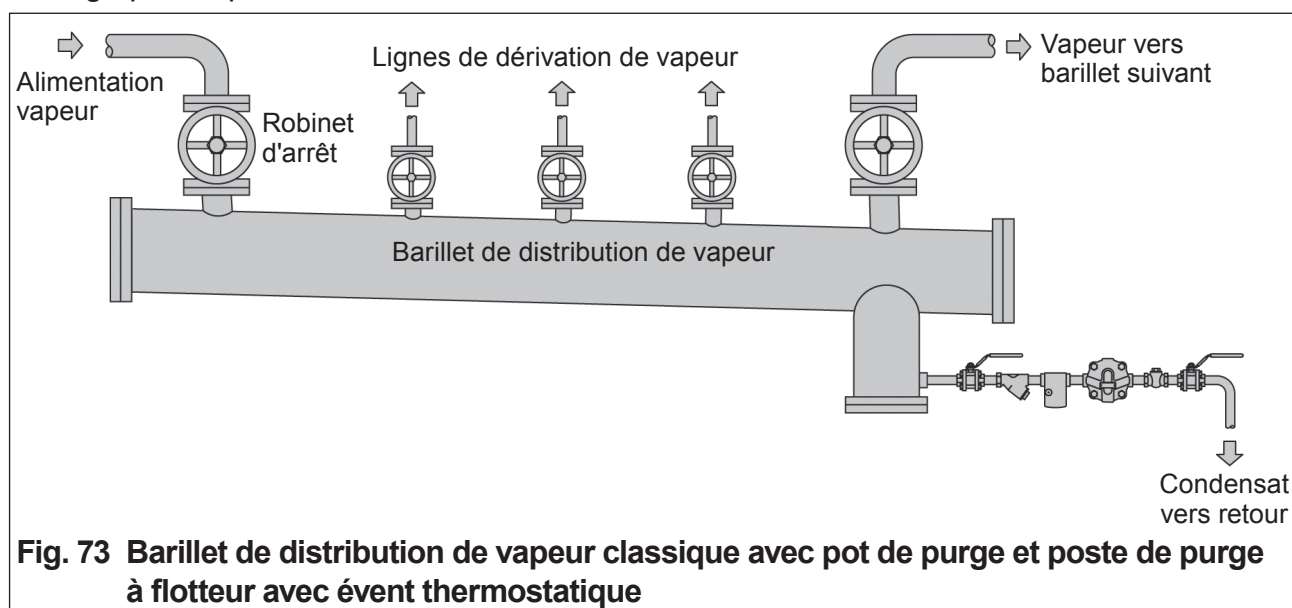


Fig. 73 Barillet de distribution de vapeur classique avec pot de purge et poste de purge à flotteur avec évent thermostatique

1.14.6 Bouts de ligne

Les bouts de ligne peuvent être plus sensibles aux coups de bélier que les tuyauteries horizontales à cause de leur position dans le réseau. Au démarrage, l'air tend naturellement à se collecter vers ces points car la vapeur poussera tout l'air sur sa trajectoire vers le point le plus éloigné. Il est donc utile d'installer ici un purgeur de condensat et un purgeur d'air. Une pièce en T comme indiqué Figure 74 annulera les forces mécaniques dues aux coups de bélier, protégeant ainsi le purgeur et le purgeur d'air des détériorations mécaniques, tout en offrant une solution simple pour les installer.

Le purgeur le plus approprié à cette application est le TD par sa robustesse, mais l'IB est une bonne alternative. Les deux nécessitent un purgeur d'air en parallèle pour les raisons indiquées précédemment.

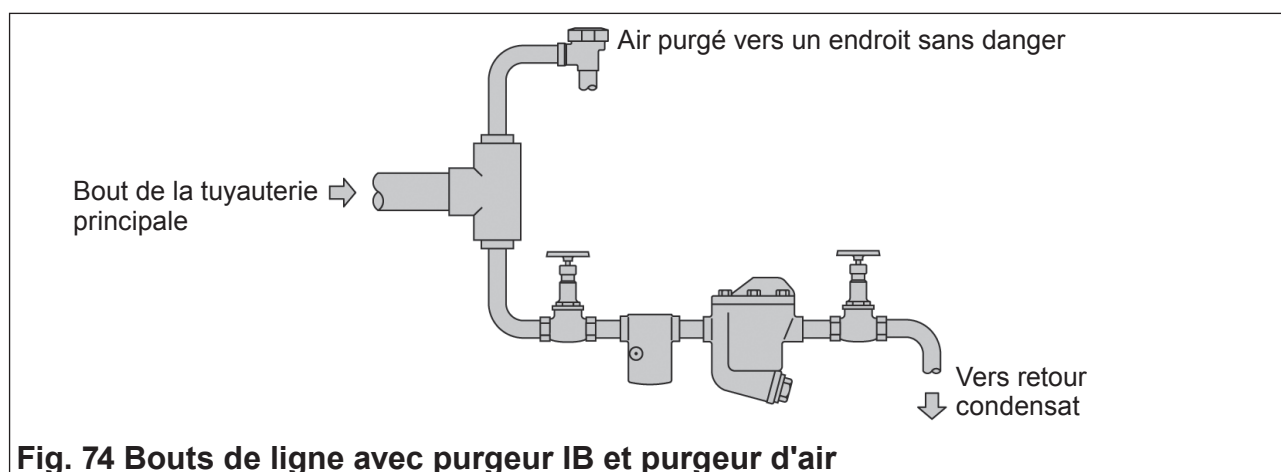


Fig. 74 Bouts de ligne avec purgeur IB et purgeur d'air

1.14.7 Purge d'air

Purger l'air de l'extrémité d'une conduite comme indiqué Figure 74 assurera un réchauffage rapide et une production plus rapide. Pour un long réseau ou pour un réseau démarrant tous les jours, il peut être aussi nécessaire d'installer des purgeurs d'air à certains points de purge intermédiaire. L'évacuation du purgeur d'air ne doit pas être raccordée à une ligne de retour de condensat noyée, ce qui entraînerait des coups de bélier, ni dans une ligne transportant du condensat sous-refroidi, ce qui pourrait entraîner une corrosion des tuyauteries.

1.14.8 Réseaux dérivés vers process

Le transfert thermique optimal peut être obtenu dans tout process si celui-ci est alimenté avec de la vapeur sèche. La ligne de dérivation doit être prise en haut du réseau, et lorsqu'elle est relativement longue ou tortueuse, s'assurer du bon calorifugeage de la ligne et installer un petit séparateur et un poste de purge avant l'entrée de l'installation. La Figure 72, présente une installation où le séparateur est purgé par un purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique.

Tout process équipé d'une alimentation régulée de vapeur fonctionnera mieux avec l'installation d'un poste de purge installé immédiatement avant la vanne de régulation. Il purgera le condensat de la ligne lorsque la vanne de régulation est fermée, évitant la détérioration par les coups de bélier et l'érosion du siège par la vapeur humide. Augmenter la durée de vie et le rendement de la vanne et le process sont d'autres avantages notables. S'il existe le risque de trouver de la vapeur humide à l'extrémité de la ligne de dérivation, il serait sage d'installer un séparateur.

1.15 Réservoirs et cuves

A - meilleur choix, B - choix acceptable, ⁵(capsule " réglage proche de la température de vapeur "), ⁶(disque anti-blocage par air)

	à flotteur fermé + évent thermostatique	à flotteur fermé FT-C	Thermodynamique	à pression équilibrée	bimétallique	à dilatation de liquide	à flotteur inversé ouvert
Cuves process (tuyauterie d'évacuation ascendante)	A	B	B	B ⁵			B
Cuves process (évacuation en bas)	A		B ⁶	B ⁵			
Petits réservoirs chauffés par serpentin (chauffage rapide)	A			B ⁵			
Petits réservoirs chauffés par serpentin (chauffage lent)					B	A	

1.15.1 Cuves process (tuyauterie d'évacuation ascendante)

La Figure 75 est très importante. Un serpentin dans une cuve de liquide process doit être incliné, et finir avec un siphon en "U" si la sortie est ascendante. La tuyauterie ascendante doit avoir un faible diamètre. En plaçant une petite tuyauterie jusqu'au bas du siphon et en fermant le serpentin en haut, le blocage par la vapeur est évité. Un purgeur TD, ou à flotteur fermé avec évent thermostatique ou thermostatique à pression équilibrée sera approprié. Le TD peut quelquefois être vraiment indiqué dans le cas où certains liquides corrosifs fuiraient, car il sera moins attaqué que les autres par la corrosion. Le condensat des liquides corrosifs doit être géré attentivement, s'il existe un danger de contamination du réseau vapeur/condensat par le contenu du réservoir.

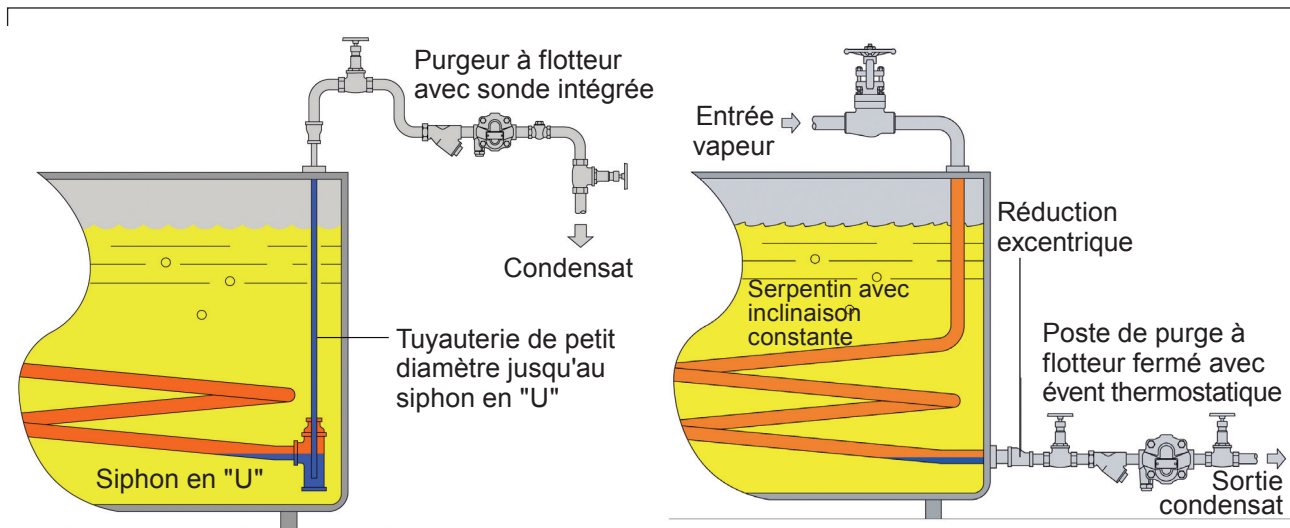


Fig. 75 Cuve process avec tuyauterie d'évacuation ascendante

Fig. 76 Cuve de process avec évacuation en bas du réservoir

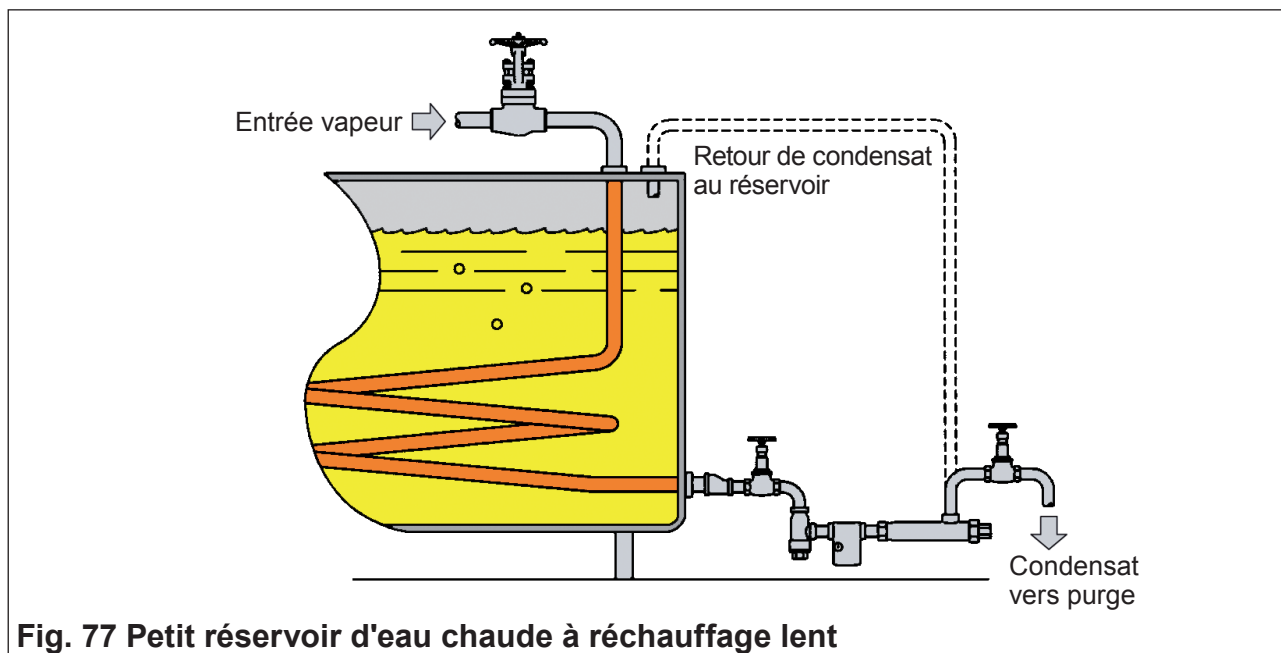
1.15.2 Cuves process (évacuation en bas)

Si le serpentin a une sortie sur le côté de la cuve, la Figure 76 présente la purge recommandée avec purgeur à flotteur fermé avec évent thermostatique. Les purgeurs TD ou thermostatiques à pression équilibrée peuvent aussi être utilisés. Il est important d'utiliser une réduction excentrique - et non concentrique - à l'extrémité du serpentin horizontal. Une réduction concentrique entraînerait l'engorgement de la base du serpentin. Cela réduirait non seulement le transfert thermique, mais provoquerait aussi des coups de bélier.

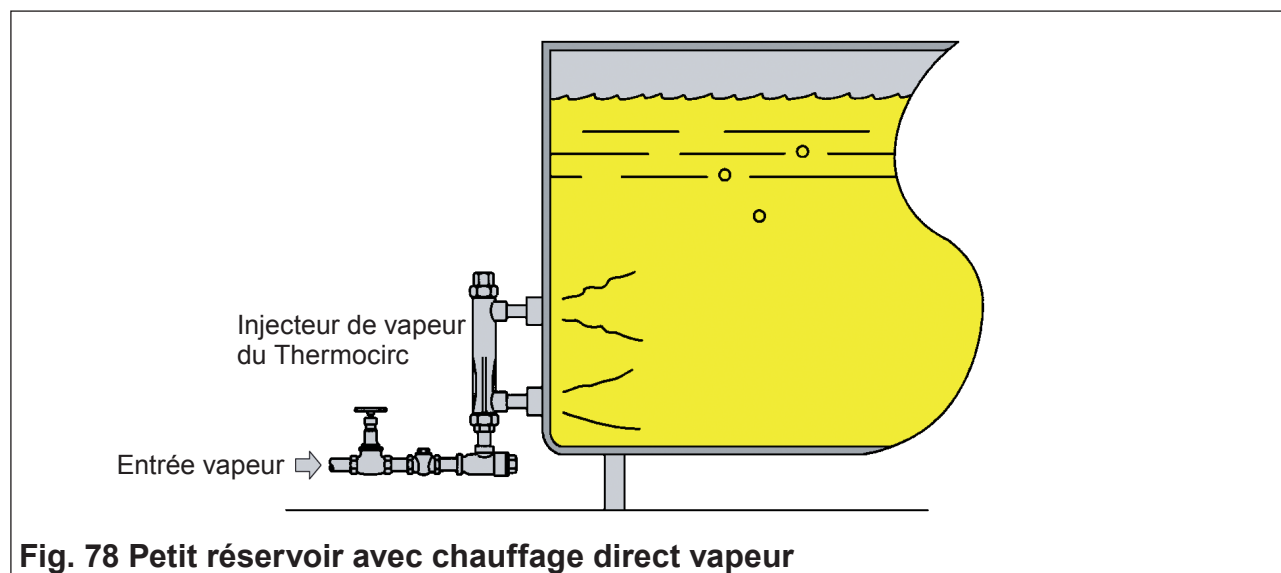
Le réseau fonctionnera mieux si le condensat provenant du purgeur peut être évacué dans une ligne de retour non noyée ou un collecteur à l'atmosphère avec pompe. S'il existe la possibilité de contamination du condensat par le contenu du réservoir, il faut évacuer le condensat à l'égout.

1.15.3 Petits réservoirs d'eau chaude

La Figure 77 présente comment obtenir de l'eau chaude économiquement, en utilisant un serpentín vapeur. Le purgeur à dilatation de liquide donnera un réchauffage lent, mais évitera un bouillonnement excessif. S'il faut rapidement de l'eau chaude, un purgeur évacuant le condensat à la température de la vapeur tel que le purgeur à flotteur fermé ou le TD est approprié.



La Figure 78, ci-dessous, présente une autre méthode pour obtenir de l'eau à une température régulée par injection directe de vapeur en utilisant un injecteur Thermocirc. Pendant que la température de l'eau augmente, l'élément thermostatique du Thermocirc lamine l'alimentation de vapeur et évite la surchauffe. Un purgeur n'est pas nécessaire. Le réservoir doit être purgé avant tout entretien de l'injecteur, du filtre ou du clapet anti-retour.



1.16 Diagnostic d'un purgeur

1.16.1 Méthodes traditionnelles et actuelles

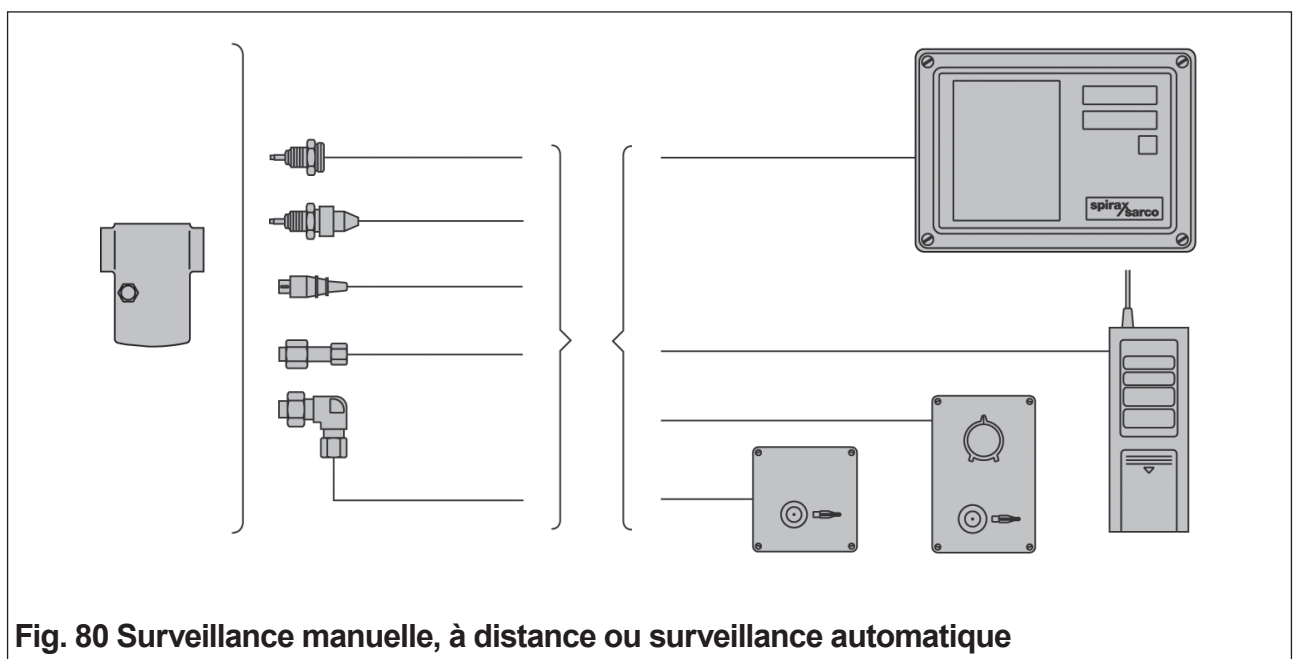
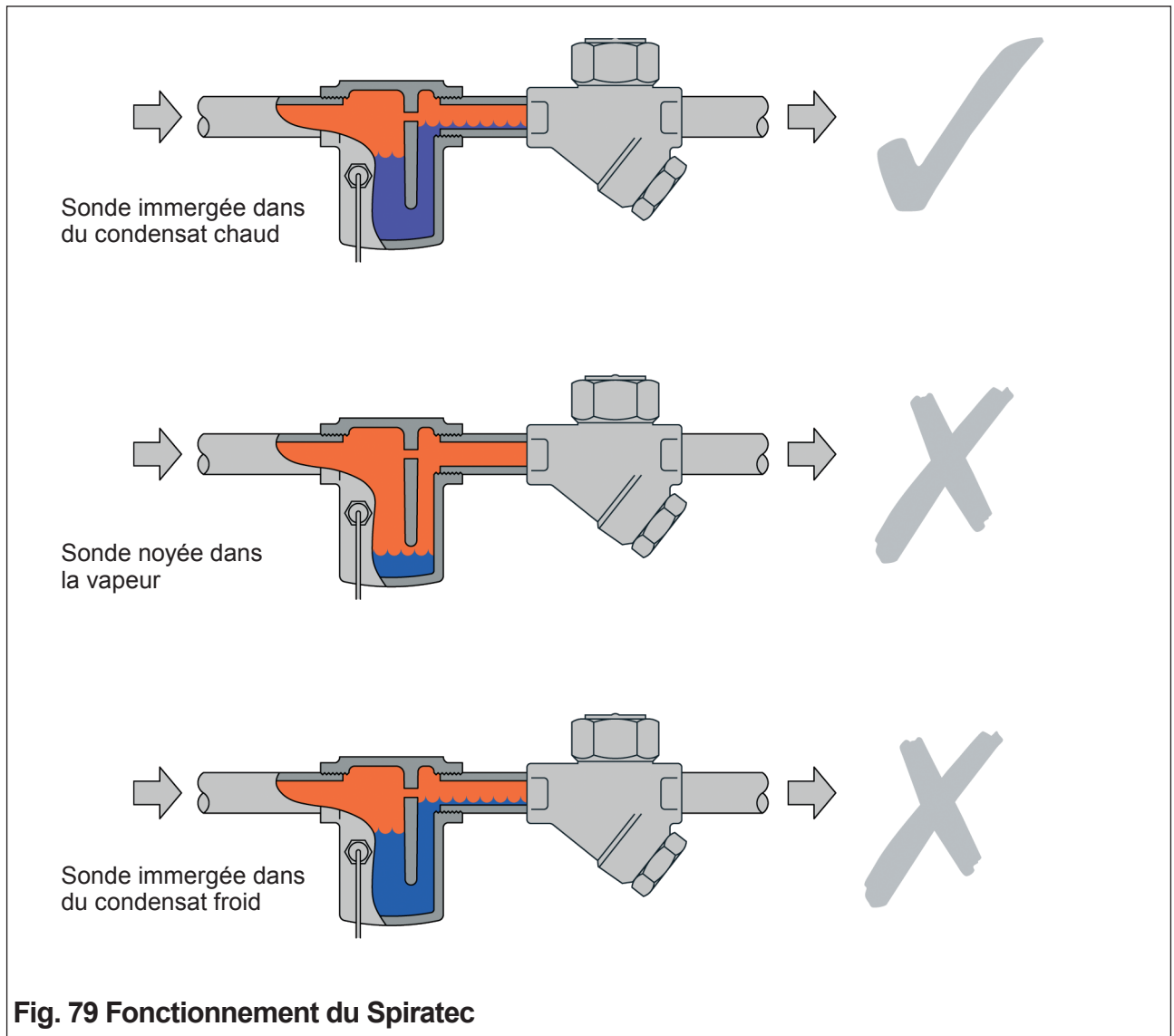
L'entretien sans discernement d'un purgeur perturbe le rendement de tout réseau de vapeur. Un purgeur peut avoir un bon fonctionnement, laisser fuir de la vapeur vive ou être totalement bloqué. Il a toujours été difficile d'identifier correctement un purgeur défectueux, un mauvais diagnostic pourrait entraîner qu'un purgeur défectueux reste en place, alors qu'un purgeur fonctionnant parfaitement soit remplacé inutilement. Une solution de diagnostic précis est donc essentielle pour tout programme d'entretien.

Dans le passé, les diagnostics se faisaient soit par l'écoute, soit par des contrôleurs de circulation à glace, soit par le contrôle de la température, soit par des techniques ultrasoniques. Toutes ces méthodes peuvent donner une indication sur l'écoulement, mais sont incapables de donner assez d'information à l'utilisateur avec une précision répétitive, étant donné que les conditions d'un réseau peuvent évoluer. Le niveau de bruit varie suivant le milieu et les interférences dues aux purgeurs environnants, et change suivant le débit de condensat. L'interprétation d'un signal est complexe même pour les opérateurs les plus perspicaces.

Les contrôleurs à glace représentent souvent une solution, spécialement ceux combinés indicateur/clapet anti-retour qui donnent une indication visuelle du débit et un mécanisme de non-retour, toutefois, les glaces ont besoin d'être régulièrement remplacées. Les inadéquations des systèmes d'écoute ont mené à la surveillance de la température, mais il est parfaitement plausible (et normal) que le condensat et la vapeur coexistent à la même température dans le même réseau, rendant difficile un diagnostic précis de la température. Le testeur ultrasonique de purgeur est une version moderne du stéthoscope. Il détecte les ultrasons générés par un purgeur qui fuit. Il est malheureusement incapable de différencier la perte de vapeur vive ou de vapeur de revaporisation dans le purgeur. Il est également incapable de détecter les différences subtiles expliquées ci-dessus.

Les inadéquations des méthodes décrites ci-dessus nous ont incité à développer un mécanisme fiable de test de purgeur.

Il se compose d'une chambre, installée immédiatement en amont du purgeur, capable de détecter par conductivité, l'état physique du milieu à ce point (Figure 79). Il n'est pas affecté par la vapeur de revaporisation. Le résultat est clair et n'est pas sujet à interprétation. La surveillance peut être faite localement, à distance, manuellement ou automatiquement, et détecte la défaillance immédiate, minimisant ainsi le gaspillage et optimisant l'investissement (Figure 80). Un thermocouple intégré dans la chambre de détection peut détecter et aider à prévoir les blocages, ce qui est particulièrement utile, spécialement dans les process industriels ou dans le domaine de la Pétrochimie.



1.17 Entretien des purgeurs de vapeur

1.17.1 Entretien de routine

L'entretien de routine dépend du type de purgeur et de ses applications. Le purgeur thermostatique à pression équilibrée par exemple, a un élément conçu pour être facilement remplacé. Le changer régulièrement, une fois tous les trois ans par exemple, peut sembler être du gaspillage en temps et matériaux. Toutefois, cette pratique réduit le besoin de contrôle de purgeur et assure un réseau sans problème avec des pertes minimales par des purgeurs défectueux.

L'entretien de routine qui implique le nettoyage et la réinstallation des pièces internes partiellement usées utilise juste assez de travail mais laisse un purgeur dans un état discutable. Il devra être contrôlé de temps en temps et sera sujet à l'usure. Tout entretien doit, pour être efficace, inclure le remplacement de toutes les pièces suspectes.

1.17.2 Remplacement des pièces internes

Le remplacement des pièces internes du purgeur est une question de bon sens. Le corps a généralement une durée de vie aussi longue que celle de l'installation sur laquelle il est installé. Seules les pièces internes se dégradent à cause des conditions internes du réseau. Il est avantageux de remplacer les pièces internes de temps en temps. Une bonne opération dépendra de la facilité d'installation des nouvelles pièces internes et de la fiabilité du purgeur rénové. Les éléments des purgeurs thermostatiques peuvent généralement être remplacés en ôtant un élément vissé dans le siège. Le remplacement est simple et le nouveau purgeur sera fiable en supposant que les instructions d'entretien aient été suivies correctement.

Si les faces du siège ou du disque du purgeur thermodynamique se détériorent, le disque peut être facilement remplacé (Figure 81). La détérioration des faces du siège peut être éliminée par un rodage avec précaution. Remplacer les sièges de purgeurs thermodynamiques à pression très élevée peut se révéler complexe. Deux joints séparés peuvent être nécessaires ou un joint simple peut correspondre à deux ou plusieurs passages de vapeur/condensat. Le joint entre le corps et le siège est souvent le point le plus faible, particulièrement s'il a dû évacuer de la vapeur. Il est important de toujours vérifier avec le fabricant quelle est la technique correcte d'entretien requise pour un purgeur. Un bon fabricant pourra toujours fournir la littérature appropriée.

Tout dépendra des conditions du site. Le petit purgeur à flotteur fermé, présenté ci-dessous (Figure 82), est conçu pour que le couvercle et les pièces internes puissent être emportés à l'atelier, en laissant le corps installé sur la tuyauterie. Ceci est souvent préférable au remplacement, dans des conditions difficiles, des sièges de purgeurs inaccessibles, soudés sur la tuyauterie.

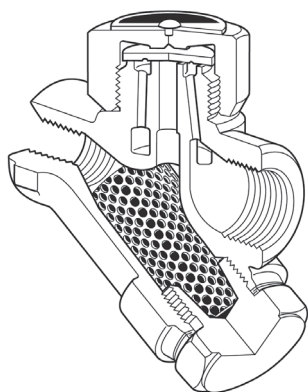


Fig. 81 Coupe d'un TD avec le disque comme seule partie mobile

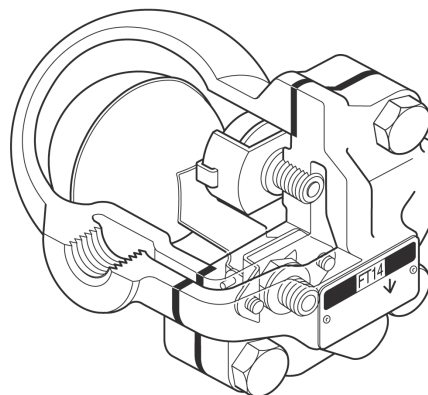


Fig. 82 Pièces internes d'un purgeur à flotteur fermé avec mécanisme anti-bouchon de vapeur et purgeur d'air

1.17.3 Remplacement des purgeurs

Sur certains sites, le coût élevé de maintenance éliminera toute réparation sauf pour les gros purgeurs. Dans ces cas, il est essentiel que les purgeurs eux-mêmes puissent être facilement remplacés. Les raccordements à brides sont une bonne solution, bien que le purgeur à bride soit plus coûteux que le purgeur taraudé équivalent, car les brides sont une dépense supplémentaire.

Un connecteur universel permet à un purgeur indémontable d'être rapidement et facilement remplacé. Le purgeur montré Figure 83 est spécialement conçu pour un remplacement facile. Il comprend un connecteur qui reste sur la tuyauterie pendant l'entretien. Le purgeur est simplement remplacé en dévissant deux boulons. Plusieurs types de purgeurs peuvent s'adapter sur le même connecteur, apportant une flexibilité de choix et la rationalisation des pièces de rechange. Les connecteurs sont aussi disponibles avec 1 ou 2 robinets d'isolement à piston incorporés assurant des temps d'arrêt minimaux.

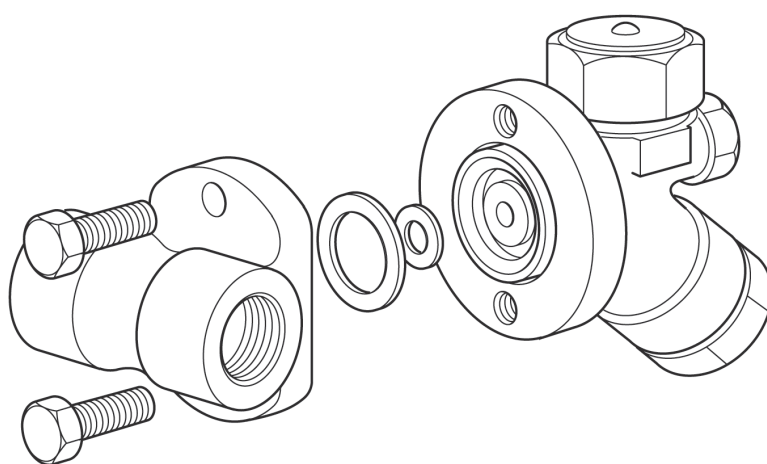


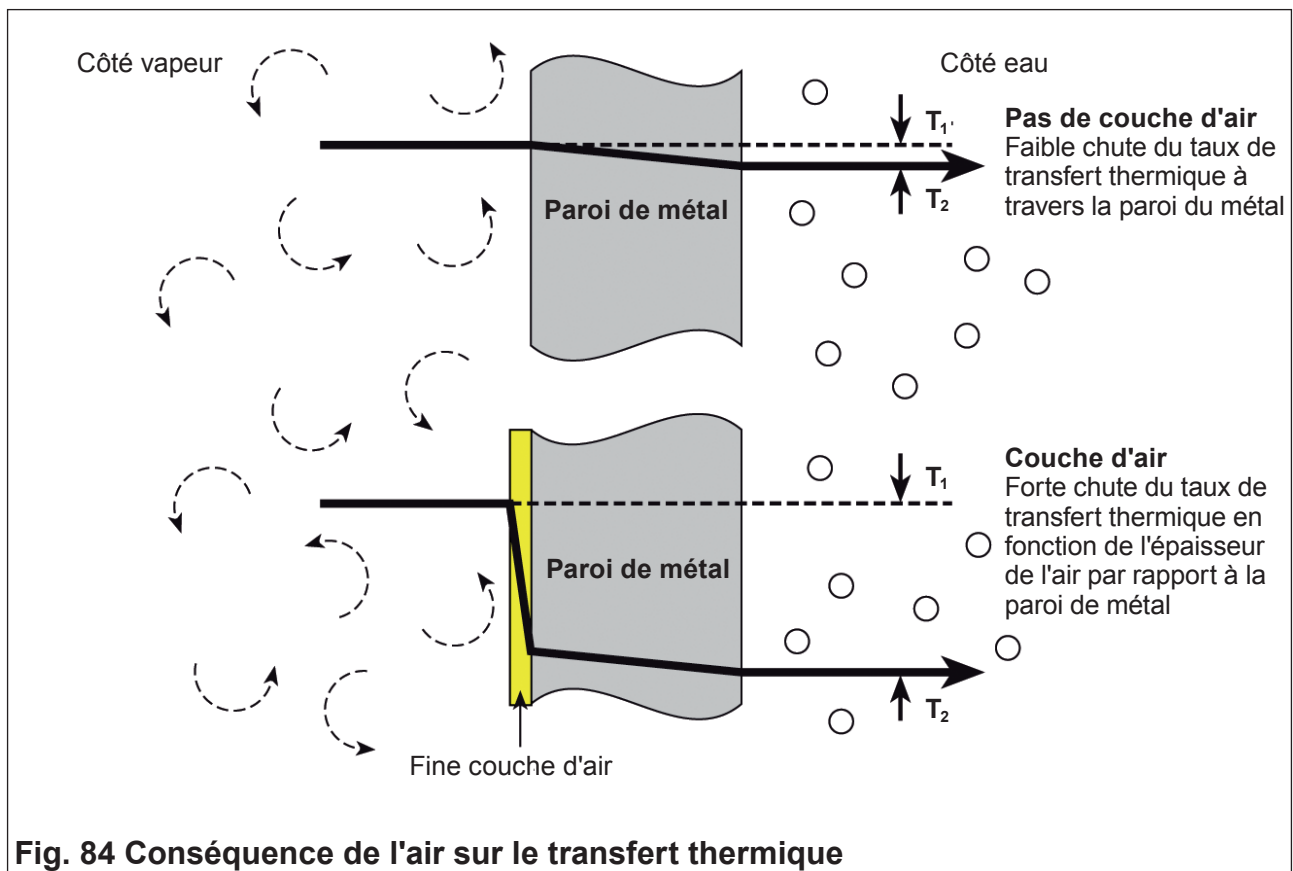
Fig. 83 Purgeur avec connecteur universel pour remplacement rapide

1.18 Purge de l'air

1.18.1 Les conséquences de l'air

Si l'air est mélangé avec la vapeur et s'écoule avec elle, des poches d'air se formeront sur les surfaces d'échange où la vapeur se condense. Graduellement, une fine couche se forme et constitue une couverture isolante s'opposant au transfert thermique comme l'indique la Figure 84 ci-dessous. L'air est souvent utilisé comme isolant car sa conductivité est faible (les doubles vitrages utilisés pour les fenêtres modernes sont simplement deux couches de verre insérant une couche isolante d'air entre les deux). De même, l'air est utilisé pour réduire la perte de chaleur des tuyauteries. La plupart des matériaux isolants est faite de millions de cellules d'air microscopiques, à l'intérieur d'une matrice de fibre de verre, de laine minérale ou de matériau polymère. L'air est isolant et le matériau solide sert simplement à le maintenir dans sa position. De même, un film d'air du côté vapeur d'une surface de transfert thermique est résistant au flux de chaleur, réduisant ainsi le taux de transfert thermique.

La conductivité thermique de l'air est de $0,025 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$, alors que celle de l'eau est généralement de $0,6 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$, la fonte $75 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$ et le cuivre environ $390 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$. Un film d'air de seulement 1 mm d'épaisseur offre la même résistance au débit thermique qu'une paroi de cuivre de 15 mètres d'épaisseur !



Il est peu probable que l'air existe à l'état de film uniforme dans un échangeur de chaleur. Plus probablement, la concentration de l'air dans la vapeur est plus forte près de la surface de condensation, et plus faible un peu plus loin. Toutefois, il est commode de penser à la traiter comme une simple couche lorsqu'on veut montrer sa résistance au débit thermique. Lorsque de l'air est ajouté à la vapeur, le contenu de chaleur d'un volume donné du mélange est plus faible que le même volume de vapeur pure, car la température du mélange diminue. La loi de Dalton sur les pressions partielles établit que dans un mélange de vapeur et d'air, la pression totale est la somme de la pression partielle que chaque gaz exercera, en occupant seul le volume total.

Par exemple, si la pression totale du mélange vapeur/air à 2 bars (absolu) est constituée de 3 parts de vapeur pour une part d'air en volume, alors :

Pression partielle de l'air	=	$\frac{1}{4} \times 2 \text{ bars abs}$	=	0,5 bar abs
Pression partielle de vapeur	=	$\frac{3}{4} \times 2 \text{ bars abs}$	=	1,5 bars abs
Pression totale du mélange	=	$0,5 + 1,5 \text{ bars abs}$	=	2 bars abs
			=	1 bar eff.

Le manomètre indiquera une pression de 1 bar eff., laissant penser à une température correspondante de 120°C pour l'observateur. Toutefois, la pression partielle due à la quantité de vapeur présente dans le mélange est seulement de 0,5 bar eff (1,5 bars abs), correspondant à une température d'uniquement 111,6°C. Ici, la présence de l'air a un double effet, il :

- a. offre une résistance au transfert thermique par son effet de couche, et
- b. réduit la température de l'espace vapeur et réduit ainsi le gradient de température sur la surface de transfert thermique.

La conséquence globale est de réduire le transfert thermique en dessous de celui qui serait requis pour un process critique, et dans le pire des cas, cela peut même empêcher d'atteindre la température de process finale requise.

Dans de nombreux process, une température minimale est nécessaire pour réaliser un changement chimique ou physique d'un produit, ainsi une température minimale est essentielle dans un stérilisateur. La présence de l'air est un problème particulier parce qu'il signifie qu'un manomètre peut induire en erreur, et la température ne peut pas être déduite de la pression.

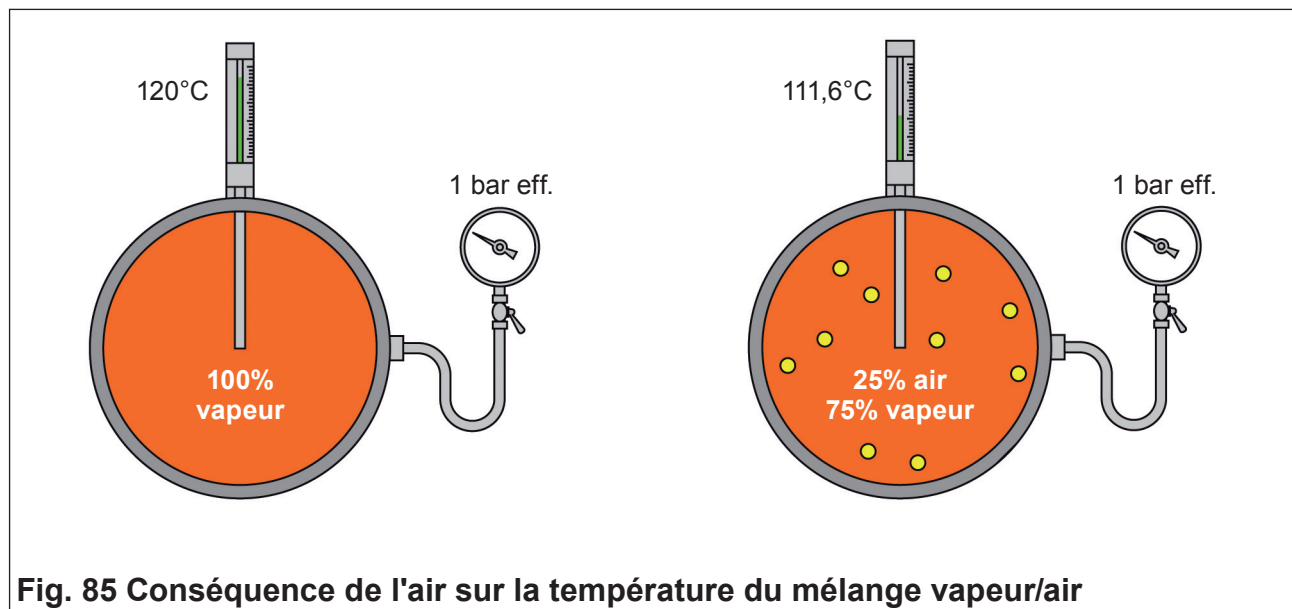


Fig. 85 Conséquence de l'air sur la température du mélange vapeur/air

1.18.2 L'air dans le réseau

L'air est présent dans les tuyauteries d'alimentation vapeur et l'équipement vapeur lui-même au démarrage. Même si le réseau est rempli de vapeur pure pendant son utilisation, la condensation de la vapeur provoque un vide et aspire l'air dans les tuyauteries à l'arrêt.

L'air peut aussi entrer dans le réseau en solution dans l'eau d'alimentation. A 80°C, l'eau peut dissoudre environ 0,6% de son volume en air. La solubilité de l'oxygène est deux fois plus importante que celle de l'azote, donc l'air dissous dans l'eau contient une part d'oxygène pour deux d'azote, plutôt qu'une part pour quatre parts dans l'air atmosphérique. Le dioxyde de carbone a une solubilité plus élevée, environ 30 fois celle de l'oxygène.

L'eau d'alimentation de chaudière et le condensat exposés à l'atmosphère peuvent absorber rapidement ces gaz. Lorsque l'eau est chauffée dans la chaudière, les gaz sont libérés avec la vapeur et transportés dans le réseau de distribution. A moins que l'eau d'appoint de la chaudière soit complètement déminéralisée et dégazée, elle contient souvent du carbonate de sodium soluble, provenant de l'échange chimique dans les unités de traitement d'eau. Le carbonate de sodium se dissocie dans la chaudière et le dioxyde de carbone est de nouveau libéré.

Lorsque les pressions de chaleur sont plus élevées, l'eau d'alimentation passe souvent dans un dégazeur avant d'être pompée dans la chaudière. Les meilleurs dégazeurs peuvent réduire les niveaux d'oxygène à 3 parts par million dans l'eau. Cet oxygène résiduel peut alors être traité chimiquement. Toutefois, un tel montant d'oxygène sera accompagné par environ 6 parts par million d'azote, que le traitement chimique ignore. Si la chaudière est de taille modérée produisant 10 000 kg de vapeur par heure, elle utilise 10 000 litres par heure d'eau, qui produisent à leur tour 60 cm³ d'azote. Cet azote s'accumule avec le temps et a une conséquence importante sur le transfert thermique s'il n'est pas évacué du réseau.

Les meilleurs traitements chimiques et physiques laisseront subsister des gaz incondensables non traités qui seront évacués de la chaudière avec la vapeur. L'air, fréquemment non suspecté, prolifère plus largement dans les réseaux de vapeur qu'on ne le croit et il est la cause de la limitation du rendement et de la corrosion des équipements.

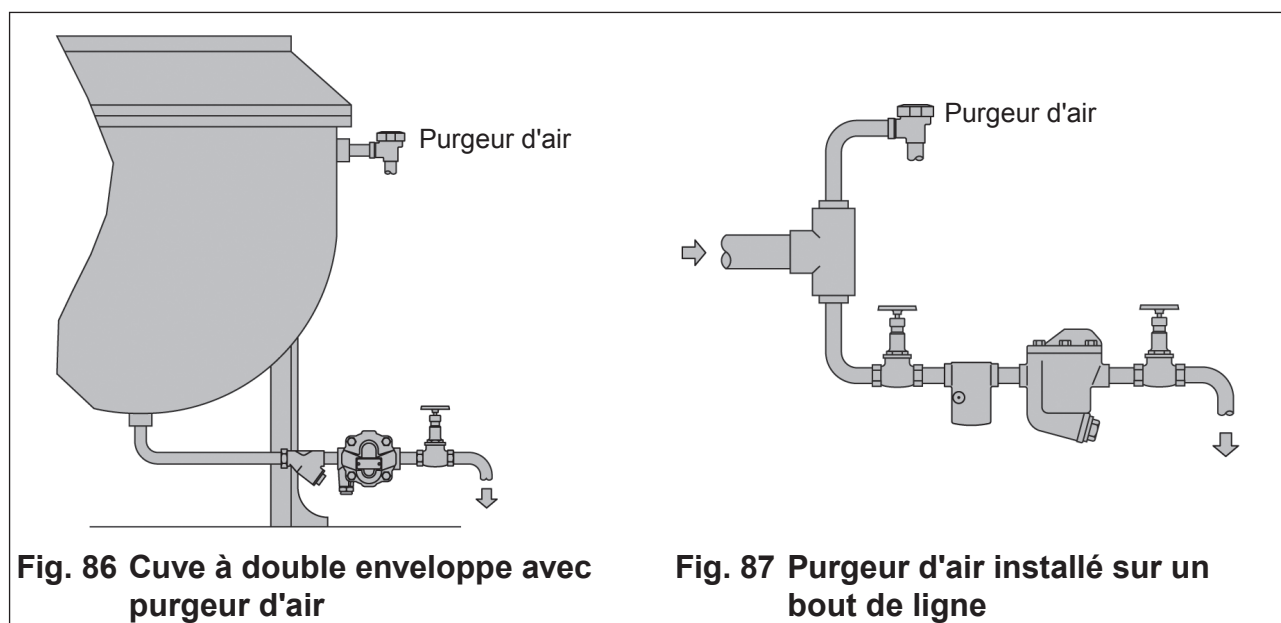
1.18.3 Signes de présence d'air

1. Une diminution graduelle du rendement de tout appareil chauffé par la vapeur.
2. Des bulles d'air dans le condensat
3. La corrosion

L'évacuation de l'air des réseaux de vapeur est essentiel. Les pages suivantes donnent des solutions en fonction des applications.

1.18.4 Evacuation de l'air

Le moyen le plus efficace pour évacuer l'air est un système automatique. L'air mélangé à la vapeur diminue la température du mélange. Ce fait permet à un purgeur thermostatique soit à pression équilibrée soit bimétallique de purger les réseaux vapeur. Un purgeur d'air installé sur l'espace vapeur d'un réservoir (Figure 86) ou sur un bout de ligne vapeur (Figure 87) s'ouvrira en présence d'air. Pour une évacuation de l'air maximale, l'évacuation doit être aussi libre que possible. Une tuyauterie est souvent installée pour transporter l'évacuation vers un emplacement sans danger, de préférence pas dans une ligne de retour de condensat, qui pourrait limiter l'évacuation libre de l'air et pourrait aussi entraîner la corrosion.



Lorsqu'un purgeur d'air est installé en bypass d'un purgeur de vapeur (Figure 88), il agira comme un purgeur de vapeur une fois que l'air sera évacué, et pourra de temps en temps évacuer le condensat. Dans ces cas, il est nécessaire de raccorder le purgeur d'air à la ligne de condensat après le purgeur.

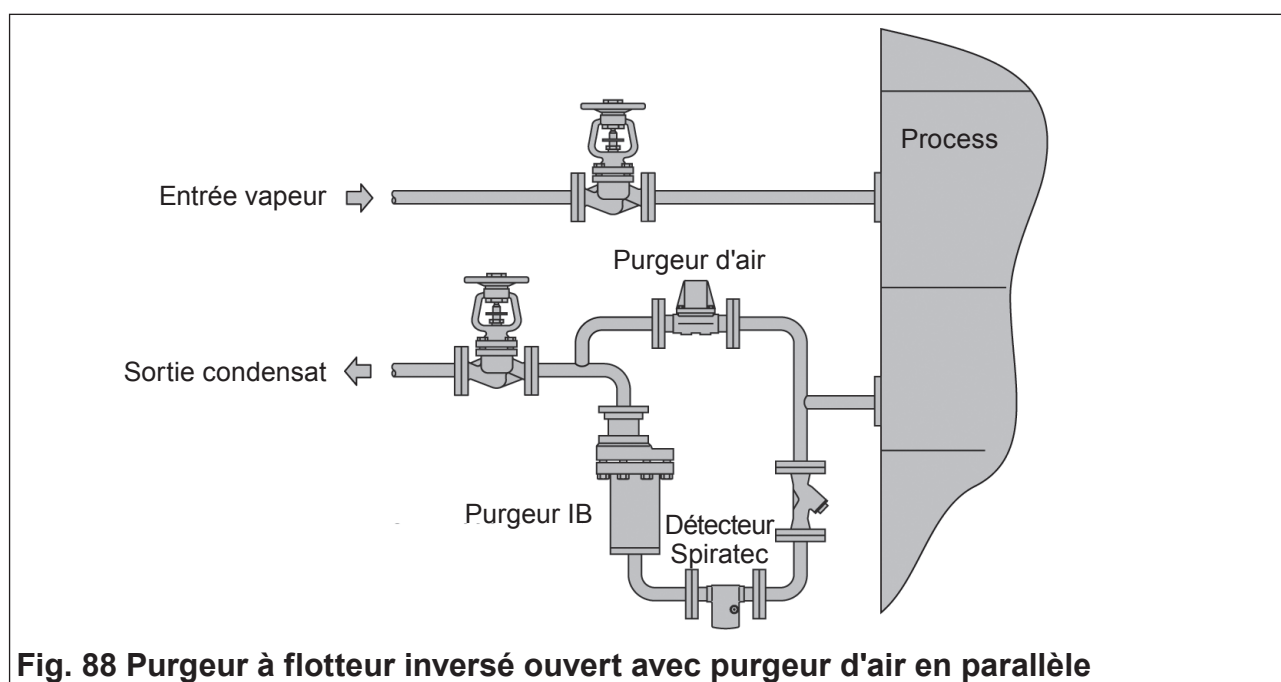
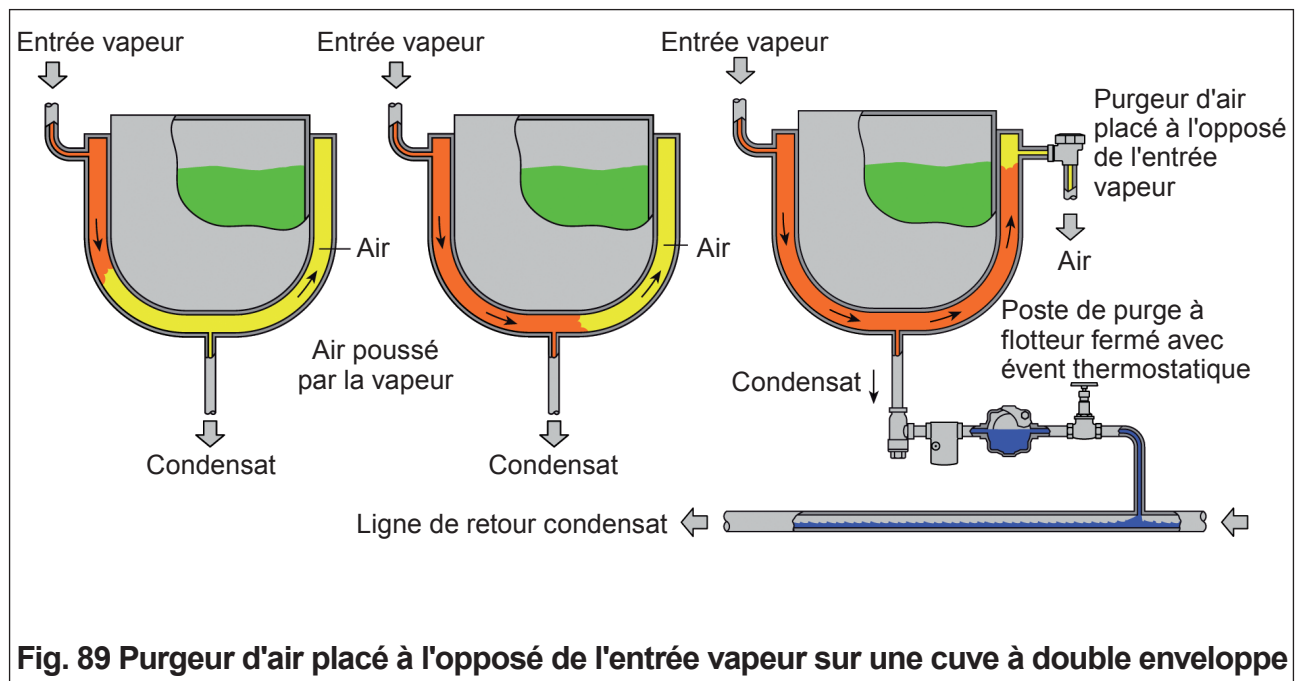


Fig. 88 Purgeur à flotteur inversé ouvert avec purgeur d'air en parallèle

Si la ligne d'évacuation du condensat provenant d'un purgeur monte à un niveau élevé, la ligne noyée impose une contre pression au purgeur de condensat et au purgeur d'air. La capacité du purgeur d'air à évacuer l'air est réduite, spécialement au démarrage. Cela s'applique aussi lorsque le purgeur d'air est incorporé dans un purgeur de vapeur. Lorsque la forme de l'espace vapeur et l'emplacement de l'entrée vapeur imposent qu'une grande partie de l'air s'échappe par la sortie condensat, il est préférable que les lignes d'évacuation du purgeur vapeur et du purgeur d'air ne montent pas à un niveau élevé.

1.18.5 L'emplacement du purgeur d'air

Lorsqu'un espace vapeur a une section transversale relativement petite, la vapeur qui y est admise agira comme un piston, poussant l'air vers un point éloigné de l'entrée vapeur. Dans le cas d'un équipement de vapeur de la forme représentée Figure 89, une partie de l'air passera par la sortie condensat, dans la mesure où le purgeur ou le by-pass sont capables d'évacuer l'air. Le reste de l'air se concentre comme indiqué, formant une zone froide sur la surface de chauffe. L'unité ne peut pas réchauffer régulièrement, entraînant la distorsion de certains appareils, tels que les lits des calandres de blanchisserie.



Comme un mélange air/vapeur est plus dense que la vapeur pure à la même pression, il est généralement suffisant de fournir une capacité de purge d'air à l'intérieur du purgeur de vapeur placé en point bas. Toutefois, le mode de fonctionnement du purgeur peut être tel que le condensat forme un joint d'eau à l'entrée du purgeur empêchant ainsi quelquefois que l'air n'atteigne le purgeur. Il est souvent prudent de prévoir un purgeur d'air automatique raccordé à l'espace vapeur au-dessus du niveau de tout condensat. Il est souvent pratique et suffisamment efficace de le raccorder en haut de l'espace vapeur comme Figure 89.

Toutefois, dans le cas de deux espaces vapeur de la même taille et de la même forme mais avec des positions d'entrée vapeur différentes, l'emplacement du purgeur d'air pourra être différent. Dans les Figures 90 et 91, le condensat est purgé à la base des deux espaces mais avec l'entrée vapeur en bas, au démarrage, l'air tendra à être poussé vers un point éloigné, à savoir le sommet. Un purgeur d'air pourra être efficacement placé en haut alors qu'un purgeur à flotteur fermé évacuera tout air résiduel arrivant en bas du réservoir.

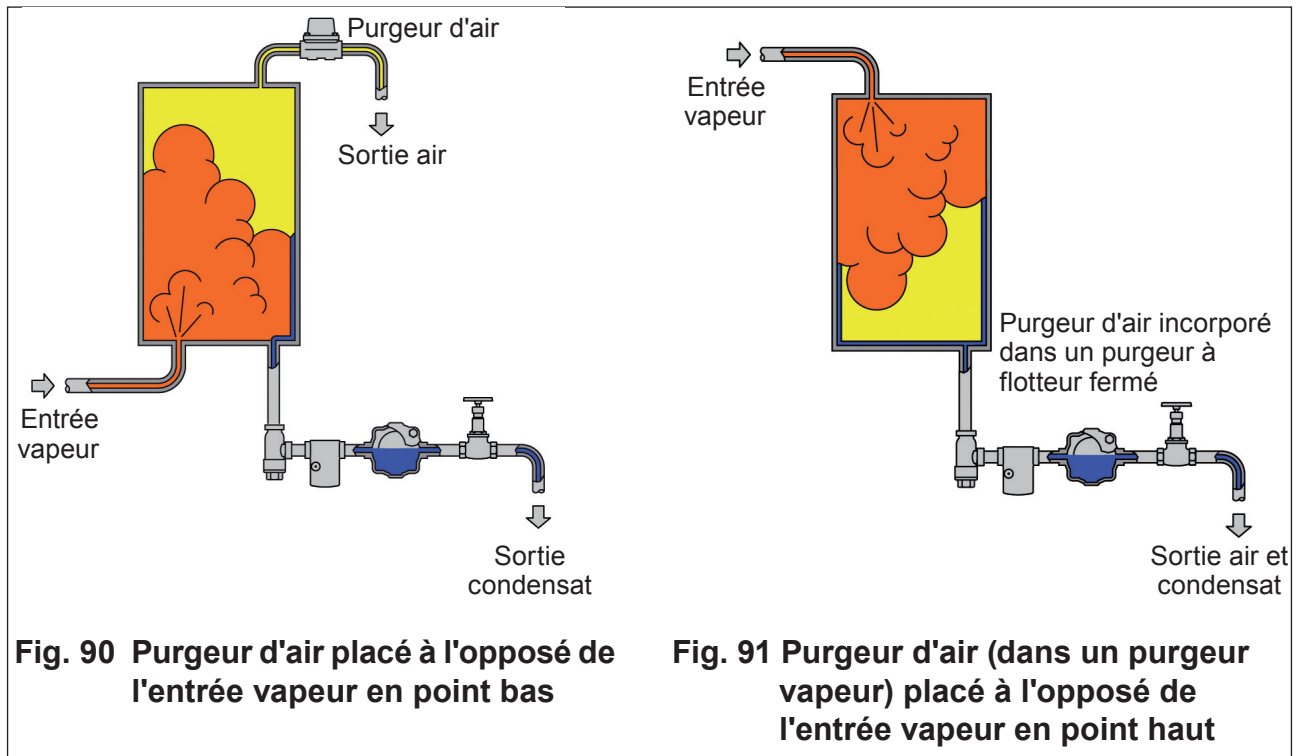


Fig. 90 Purgeur d'air placé à l'opposé de l'entrée vapeur en point bas

Fig. 91 Purgeur d'air (dans un purgeur vapeur) placé à l'opposé de l'entrée vapeur en point haut

Avec l'entrée vapeur en haut, l'air tendra à être poussé vers le bas au démarrage, et il faut purger l'air au niveau bas. Généralement, un purgeur avec une capacité de purge d'air élevée tel que le purgeur à flotteur fermé fera le travail, comme montré Figure 91. Toutefois, en pratique, pour assurer une évacuation complète de l'air pendant les conditions de service, un purgeur d'air indépendant, installé en haut du réservoir (voir Figure 90) peut souvent être bénéfique, spécialement pour des réservoirs dont la forme est irrégulière.

1.18.6 Réseau de vapeur saturée

Le réseau vapeur est, en fait, un long espace vapeur avec une petite section transversale. Lorsque la vapeur entre par l'extrémité d'alimentation, elle se déplace le long de la tuyauterie comme un piston, poussant l'air devant elle. Un purgeur d'air installé à l'extrémité de la ligne comme sur la Figure 88 (page 82), évacuera une grande partie d'air. Le purgeur est raccordé en haut de la tuyauterie ou au moins à un point supérieur au niveau espéré de condensat.

1.18.7 Réseau de vapeur surchauffée

Généralement, ceux-ci ne nécessitent de purge d'air qu'au démarrage. Un purgeur robuste est nécessaire : le purgeur bimétallique est le meilleur choix.

1.18.8 Cuve à double enveloppe

Ces applications où l'emplacement du purgeur d'air est complexe sont caractéristiques. L'air dissous dans le produit froid est dirigé en dehors de la solution lorsque la cuve se réchauffe et des bulles apparaissent sur le côté produit de la cuve. Le manque de bulles révèle des zones froides indiquant où l'air est accumulé dans la double enveloppe.

Avec un purgeur de vapeur inapproprié et aucun purgeur d'air, il semble que les bulles se créent en dernier lieu en bas de la double enveloppe près de la sortie du condensat, et en haut à l'opposé du point d'entrée de la vapeur. Le purgeur optimal est un purgeur à flotteur fermé avec purgeur d'air, placé en dessous de la cuve, permettant au condensat et à l'air de s'écouler par gravité vers le sol ou vers un collecteur et une pompe. Le meilleur emplacement pour le purgeur d'air se trouve à l'opposé de l'entrée de vapeur à niveau élevé, où un piquage existe quelquefois. (Voir Figure 51).

Une cuve inclinable nécessite un purgeur à flotteur fermé avec mécanisme anti-bouchon de vapeur lorsque le condensat est évacué via une tuyauterie immergée passant dans un joint rotatif. Si ce n'est pas une combinaison incluant un purgeur d'air, un purgeur d'air en by-pass du purgeur améliorera alors le rendement. De même, le purgeur doit être placé en dessous de la sortie (voir Figure 52).

1.18.9 Cylindres rotatifs

Le cylindre de séchage utilisé dans de nombreuses industries est un cas intéressant. Un cylindre horizontal est alimenté en vapeur par un joint rotatif à une extrémité, et le matériau du process est en contact avec la surface extérieure du cylindre. Le condensat est évacué par une tuyauterie passant par le même joint rotatif.

Avec des cylindres de grande taille, le volume d'air à évacuer au démarrage est important. L'air à l'intérieur du cylindre pendant un fonctionnement normal forme des zones froides sur la surface extérieure, et la qualité du produit fabriqué est incorrecte. Une purge d'air automatique est essentielle, et doit être réalisée efficacement si l'on recherche de bons résultats.

Le purgeur optimal est le purgeur à flotteur fermé avec un mécanisme anti-bouchon de vapeur (FT-C), mais un purgeur d'air indépendant est souvent en plus nécessaire à cause de la grande quantité d'air à purger. L'expérience a montré que l'installation d'une bouteille de collecte d'air à la sortie condensat, comme représenté sur la Figure 92 est une très bonne solution.

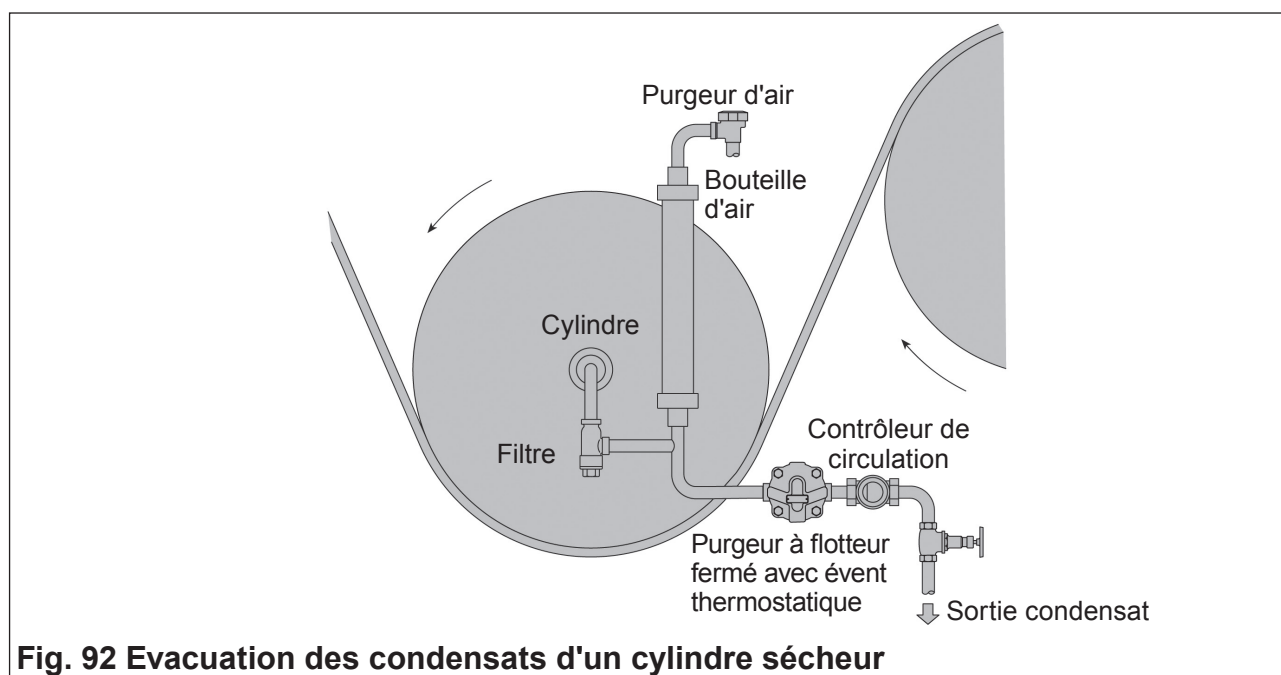


Fig. 92 Evacuation des condensats d'un cylindre sécheur

1.18.10 Les unités de purge d'air en général

Le purgeur d'air automatique est un robinet, à fonctionnement thermostatique, installé à un emplacement que la vapeur et l'air, plus que le condensat, peuvent atteindre. Si le purgeur d'air est installé très proche d'un réchauffeur de masse importante, fonctionnant proche de la température de la vapeur, la chaleur produite peut maintenir le purgeur d'air fermé ou au moins ralentir son fonctionnement. Il est donc recommandé que tout purgeur d'air et ses tuyauteries de raccordement ne soient pas calorifugés pour fonctionner correctement.

Un purgeur d'air est bien installé à l'extrémité d'une longueur de tuyauterie d'environ 300 mm qui fonctionne comme une bouteille de collecte, et permet un gradient de température par rapport à l'espace vapeur du réchauffeur. Les "bouteilles" utilisées dans les exemples mentionnés ci-dessus peuvent être utilisées comme unités de purge d'air. Lorsque les purgeurs d'air évacuent, il s'agit toujours d'un mélange vapeur/air. Il est facile de remarquer quand la vapeur devient pure, et la conclusion logique est que le purgeur d'air n'est pas étanche. Si le fonctionnement est normal, l'évacuation diminue et s'arrête. Si le purgeur d'air continue à évacuer pendant une longue période sans signe d'arrêt, il peut être défectueux et devra être contrôlé.

1.18.11 By-pass de purgeur vapeur

Dans le passé, il était courant de prévoir des by-pass manuels autour des purgeurs de vapeur, destinés à être ouverts lors du démarrage. Comme les débits de condensat au démarrage sont rarement plus de deux fois supérieurs aux débits de fonctionnement, et comme les purgeurs ont généralement des débits de condensat maximum donnant des coefficients de sécurité bien plus importants, il semble que la fonction réelle du by-pass est d'évacuer l'air. Cela permet au condensat d'atteindre le purgeur. On trouve généralement des by-pass avec les purgeurs à flotteur inversé ouvert, qui ralentissent par conception l'air. Ce montage peut être automatique et efficace en remplaçant simplement la vanne by-pass manuelle par un purgeur d'air automatique. Les by-pass manuels sont souvent oubliés et laissés ouverts, et constituent un gaspillage potentiel de vapeur.

1.18.12 Purgeur d'air en groupe

Les concepteurs d'équipement vapeur pensent quelquefois à réduire les dépenses en raccordant les points éloignés de deux ou plusieurs espaces vapeur, et en installant un purgeur d'air unique plutôt qu'en utilisant des purgeurs d'air individuels pour chaque espace vapeur. Une telle conception ne sera pas efficace. Chaque serpentin d'un réchauffeur d'air à serpentins multiples peut être alimenté par un barillet de distribution de vapeur commun alimenté par une vanne de régulation unique. Dans ce cas, le purgeur d'air peut se fermer lorsque la vapeur d'une section l'atteint. L'air présent dans les autres sections, n'atteindra tout simplement pas le purgeur d'air qui restera fermé. Les mélanges vapeur/air des autres serpentins ne sont pas dirigés vers le purgeur. La purge d'air en groupe n'est pas satisfaisante, et doit être évitée de la même façon que la purge groupée de condensat.

1.18.13 Purgeurs d'air de grand débit

Le débit d'un purgeur d'air dépend de la taille de son siège, de la pression différentielle, et des propriétés du gaz évacué. Dans certaines circonstances, les espaces vapeur purgés sont très importants, comme des gros stérilisateurs, des autoclaves dans l'industrie alimentaire, des réservoirs de séchage de caoutchouc etc... La quantité d'air à purger peut être si importante qu'elle nécessite de nombreux purgeurs d'air installés en parallèle. L'utilisation d'une régulation de température autonome, installée comme sur la Figure 93 est une bonne alternative.

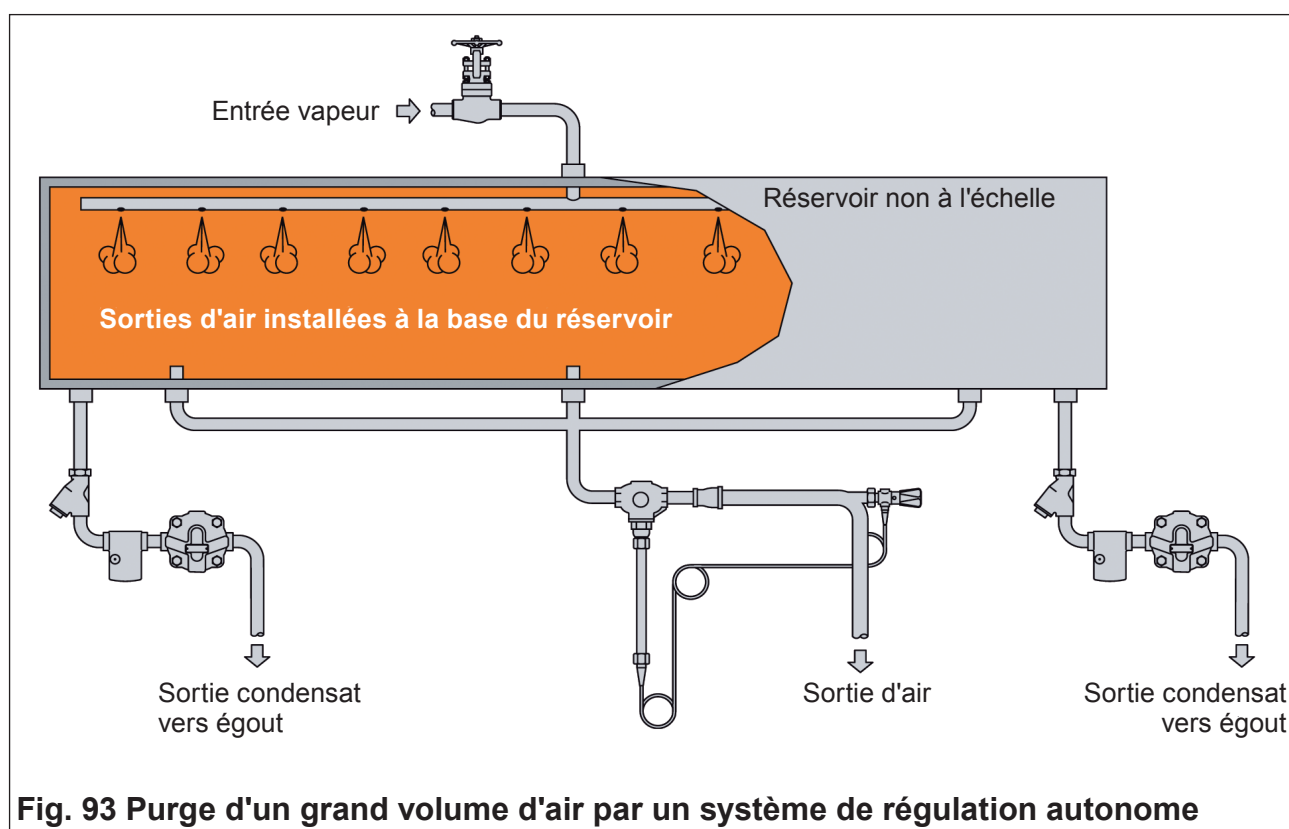


Fig. 93 Purge d'un grand volume d'air par un système de régulation autonome

La vanne est conçue pour fonctionner par rapport à la vapeur. La vanne est pilotée par la sonde de température qui est placée en aval de la vanne. La température est réglée à 100°C ou juste en dessous. Comme la pression de la tuyauterie dans laquelle est placée la sonde de température est atmosphérique, la température à ce point sera de 100°C si de la vapeur sans air atteint la sonde après s'être écoulée dans la vanne. A cette température, la vanne doit juste se fermer. Toute température inférieure à la consigne de la sonde, indique la présence d'air, et la vanne s'ouvrira lentement.

Positionner la sonde de température de cette façon, en aval de la vanne, là où la pression de la ligne est atmosphérique, annule l'effet de la pression dans la vanne en amont. Le système de régulation doit seulement fermer la vanne lorsque la température de la sonde atteint 100°C et l'ouvre à température plus basse. Il est courant d'utiliser des vannes allant jusqu'au DN50, compte tenu des grands volumes d'air à évacuer.

1.18.14 Purger l'air par des purgeurs thermostatiques

Tout purgeur thermostatique, tel que le purgeur à capsule à pression équilibrée ou le purgeur bimétallique, peut être utilisé comme purgeur d'air. Evidemment, l'élément sensible doit réagir rapidement aux changements de température, et les purgeurs incorporant des bilames de grandes dimensions sont probablement moins appropriés. Mais, si un purgeur thermostatique est utilisé principalement pour purger le condensat, comment purgera-t-il efficacement l'air ? Comme le purgeur de condensat s'ouvrira au démarrage lorsque l'alimentation vapeur est mise en service, il évacue l'air qui est alors poussé par la vapeur.

Toutefois, pendant le fonctionnement normal, le purgeur peut ne pas être aussi efficace en tant que purgeur d'air. Comme un purgeur de vapeur, il se ferme en présence de condensat tant que leur température ne sera pas inférieure d'un certain Δt à la température de saturation et, il ne laissera pas passer la vapeur.

Il s'ensuit qu'en raison du joint d'eau présent à l'entrée du purgeur, tout gaz non condensable sera emprisonné dans l'espace vapeur process.

Le purgeur s'ouvrira et évacuera condensat et mélange air froid/vapeur uniquement lorsque le condensat en amont du purgeur sera suffisamment refroidi.

Vraisemblablement, le purgeur le plus efficace pour purger l'air d'un espace vapeur est un purgeur à flotteur fermé avec un purgeur d'air interne. Le condensat doit toujours aller vers le purgeur et, le passage des gaz non condensables vers le purgeur d'air n'est pas arrêté pendant un fonctionnement normal.

Il doit être clair qu'un mécanisme automatique utilisé pour évacuer les mélanges air/vapeur, que ce soit un purgeur vapeur ou un purgeur d'air, est mieux positionné lorsqu'il est placé au-dessus du niveau d'eau dans le purgeur. Dans tous les autres cas, l'addition de purgeurs d'air à des positions où le mélange vapeur/air peut les atteindre sous toutes les conditions de fonctionnement peut avoir des résultats bénéfiques incomparables même par rapport aux coûts supplémentaires impliqués.

1.18.15 Casse-vide

Les casse-vide peuvent être utilisés pour améliorer les temps d'arrêt de réseau lorsque les pressions deviennent inférieures à la pression atmosphérique dans l'enveloppe contenant la vapeur. Stratégiquement placés, ils permettront au condensat de s'écouler par gravité vers le point de purge au point bas de l'unité. En permettant l'évacuation complète du condensat, cela élimine le risque de coups de bélier au démarrage suivant et les risques de gel.

1.19 Pertes d'énergie sur les purgeurs vapeur

Il a été beaucoup écrit à ce sujet. Une grande partie est incorrecte ou est délibérément trompeuse pour convaincre l'utilisateur d'acheter les purgeurs de différents fabricants. L'argument principal consiste à proposer le remplacement d'un type de purgeur par un autre en offrant une économie de vapeur peut être réelle ou imaginaire. La vérité est que le remplacement de tout type de purgeurs par de nouveaux, réduira inévitablement la consommation de vapeur car tous les purgeurs non étanches sont ainsi éliminés. Cela n'apprend rien sur les mérites respectifs des anciens purgeurs et des nouveaux.

Des tests ont été aussi réalisés pour établir un "niveau de perte de vapeur". Ces tests réalisés sous des conditions non réalistes à débit nul, ont tendance à surévaluer la quantité d'énergie perdue par le purgeur. Les pertes d'énergie du purgeur par des radiations, qui augmentent également le débit de condensat, sont commodément oubliées. Toutefois, ces pertes existent en permanence et sont directement liées à la taille et à la forme du corps.

L'observateur impartial est souvent trompé par les informations subjectives faites pour forcer l'intérêt pour un produit. Il vaut pourtant mieux revenir à des principes objectifs et de considérer les conditions énergétiques inhérentes à chaque type de purgeur.

1.19.1 Purgeurs thermostatiques

Sous des conditions de service normales, le purgeur thermostatique retient les condensats, jusqu'à ce qu'ils soient refroidis à une certaine température. La vapeur n'atteint pas le clapet principal et il n'y pas de gaspillage d'énergie.

Toutefois, l'engorgement de l'installation peut entraîner une réduction du rendement. Les temps de fonctionnement peuvent être allongés ou des surfaces de chauffe supplémentaires sont nécessaires. Plus de vapeur peut être demandée même si cela n'apparaît pas comme une demande énergétique attribuable au purgeur.

Dans certains cas, une ligne de refroidissement doit être prévue, ce qui libère l'espace vapeur de tout condensat. De ce fait, l'énergie est perdue par les radiations provenant de la ligne de refroidissement et du corps du purgeur. Cela crée un débit supplémentaire de condensat, mais la vapeur vive ne passe pas dans le purgeur.

La situation peut évoluer sous des conditions de débit nul. Les pertes thermiques provenant du corps du purgeur refroidissent le condensat entourant l'élément thermostatique qui s'ouvre alors. La quantité minimale de condensat impliquée est évacuée et est alors remplacée par de la vapeur. Toutefois, la présence d'un hystérésis de l'élément thermostatique fait que l'élément prend du temps pour réagir et de la vapeur vive est perdue. Les tests de laboratoire indiquent des pertes jusqu'à 0,5 kg/h. Ironiquement, sous des conditions extérieures froides, les pertes thermiques provenant du purgeur seront plus importantes et les pertes de vapeur à travers le purgeur sont moins moindres. Toute tentative pour calorifuger un purgeur thermostatique entraînera un retard important à l'ouverture. Il en résultera un engorgement très important des unités et de ce fait, le calorifugeage n'est pas recommandé.

1.19.2 Purgeurs mécaniques

Le purgeur à flotteur fermé est un autre exemple où le clapet et le siège sont généralement immergés et il n'y a pas de perte de vapeur dans le purgeur. D'autre part, le purgeur à flotteur fermé a une taille relativement importante et les pertes peuvent être notables par radiations. Il faut mentionner la présence d'un événement thermostatique dans ce type de purgeur. Il sera situé dans l'espace vapeur au-dessus du niveau d'eau dans le purgeur. Une fois que l'air initial a été évacué, il restera généralement étanche et il n'y aura pas de perte de ce côté-là.

Le purgeur à flotteur fermé peut être calorifugé pour réduire les pertes thermiques et son fonctionnement n'en sera pas affecté. Le calorifugeage est généralement recommandé pour les applications extérieures afin de minimiser le risque de détérioration dû au gel lors de l'arrêt de vapeur.

Etonnamment, le purgeur à flotteur inversé ouvert a peu en commun avec les purgeurs à flotteur fermé. Le purgeur se ferme à l'entrée de la vapeur et les bulles rentrent dans le flotteur qui se met à flotter. Il ne s'ouvre pas tant que la vapeur ne s'est pas dissipée.

Cela se produit lorsque la vapeur fuit par l'orifice d'évent du flotteur qui sert de purgeur d'air. La vapeur est collectée en haut du purgeur et lorsque le clapet principal s'ouvre, la vapeur est évacuée. Les tests de laboratoire indiquent des pertes d'environ 0,5 kg/h pour les purgeurs DN15 sous des conditions de débit faibles. Toutefois, il y a une perte supplémentaire par radiation du corps, qui est assez importante. Le calorifugeage est quelquefois recommandé mais les pertes thermiques et le condensat qui en résulte seront les mêmes que ceux expérimentés avec un purgeur type flotteur fermé équivalent.

1.19.3 Purgeurs thermodynamiques

Ce type a attiré l'attention dans le passé sous le thème de la consommation de vapeur. Lors de son fonctionnement, le condensat approchant la température de la vapeur produit de la vapeur de revaporisation dans le canal d'entrée qui entraîne la fermeture du purgeur. Le condensat est du côté amont et le purgeur est toujours rempli de condensat, ce qui signifie qu'il n'y a pas de pertes dans le purgeur. Toutefois, le purgeur s'ouvre périodiquement lorsque de la chaleur est dissipée par le chapeau. Sous des conditions de débit nul, par exemple, lorsque le condensat est produit uniquement par des pertes de chaleur de la tuyauterie en amont, le purgeur nécessite une petite quantité de vapeur vive pour provoquer sa fermeture. Tout dépend des conditions ambiantes mais les pertes sont généralement d'environ 0,5 kg/h et ce chiffre peut être doublé en cas de climat rigoureux. D'un autre côté, de telles pertes peuvent être divisées par deux en installant simplement un couvercle isolant sur le chapeau du purgeur.

Il est important de se rappeler que ces pertes disparaissent lorsque le débit de condensat augmente car les pertes par radiation sont minimales grâce à sa petite taille. Des tests indépendants ont montré que les pertes par radiation ne sont pas supérieures à 0,25 kg/h, ce qui est toujours au moins le quart de celles d'un purgeur à flotteur inversé ouvert de taille égale. Il faut peut être mentionner les calculs trompeurs rapportés par des sources diverses. Ils prennent leur origine dans des tests réalisés simultanément sur un grand nombre de purgeurs thermodynamiques. Certains tests ont été réalisés à - 45°C avec une mesure cumulative de pertes de vapeur. Les conséquences de ces tests à des températures anormalement faibles et sous des conditions de débit nul accélèrent le test de durée de vie. Comme déjà mentionné, le purgeur thermodynamique est très simple : il fonctionne correctement ou il est défectueux. Suggérer des pertes variables est vraiment trompeur et fondamentalement erroné.

1.19.4 Comparaisons

Quantifier les consommations énergétiques des purgeurs de vapeur n'est pas facile. L'énergie perdue dans le purgeur dépend du débit. L'énergie peut être perdue par des radiations mais cette perte peut être considérablement réduite par calorifugeage.

Le Tableau 2 résume les consommations énergétiques de différents purgeurs DN15 à 5 bar eff. Evidemment, les purgeurs varient en taille et en débit et les valeurs donnent seulement une indication.

Tableau 2 - Consommations énergétiques des purgeurs (exprimées en kg/h)

	A débit nul			A débit raisonnable		
	à travers le purgeur	provenant du purgeur	Total	à travers le purgeur	provenant du purgeur	Total
Thermostatique	0,50	0,50	1,00	nul	0,50	0,50
Flotteur fermé	nul	1,40	1,40	nul	1,40	1,40
Flotteur inversé ouvert	0,50	1,20	1,70	nul	1,20	1,20
Thermodynamique	0,50	0,25	0,75	nul	0,25	0,25

Le Standard International ISO 7841 (1988) et le Standard Européen CEN 27841 (1991) - "Détermination des pertes thermiques des purgeurs automatiques" – décrit une méthodologie de tests précis et fiables des pertes provenant de tout type de purgeur- **Tous les calculs de tests provenant de fabricants qui n'ont pas été obtenus avec les paramètres de ces standards doivent être analysés avec précaution.**

Le propos du Tableau 2 n'est pas d'établir le fait qu'un type est plus efficace qu'un autre. Il met simplement en évidence que les purgeurs consomment une quantité minimale d'énergie. Les pertes deviennent significatives lorsque les purgeurs sont défectueux. **L'important est donc de combiner sélection, contrôle et entretien pour obtenir la fiabilité. Correctement fait, coûts et gaspillage de vapeur seront minimisés.**

Chapitre 2

Purge critique des échangeurs de chaleur

2.1 Qu'entend-on par condition critique ?

La condition critique se produit lorsque la pression de vapeur dans l'espace vapeur est égale ou inférieure à la contrepression totale imposée au niveau du purgeur de vapeur.

Une pression inférieure à celle attendue dans un échangeur de chaleur peut être due à l'une des circonstances suivantes :

- La température d'entrée du fluide secondaire augmente à cause d'une diminution de la demande thermique.
- Le débit du fluide secondaire chute à cause d'une diminution de la demande thermique.
- La température de sortie du fluide secondaire chute parce que le point de réglage est diminué.

Comme la vanne de régulation réduit la pression de vapeur pour répondre à une chute du débit thermique, le manque de pression différentielle dans le purgeur de vapeur provoque un engorgement de l'espace vapeur par les condensats, comme présenté Figure 94.

A cause des facteurs de sécurité qui leur sont appliqués et parce que les échangeurs de chaleur sont vendus dans des tailles prédéterminées, ils ont souvent plus de surface de chauffage que nécessaire. Cela a pour conséquence d'augmenter la capacité de transfert thermique de l'échangeur au-dessus de la valeur nécessaire requise. Cela signifie aussi que les pressions de vapeur doivent être inférieures à celles d'un échangeur comparable, parfaitement dimensionné. Il en résulte moins de pression de vapeur disponible pour évacuer les condensats. Cette pression est importante car elle influence :

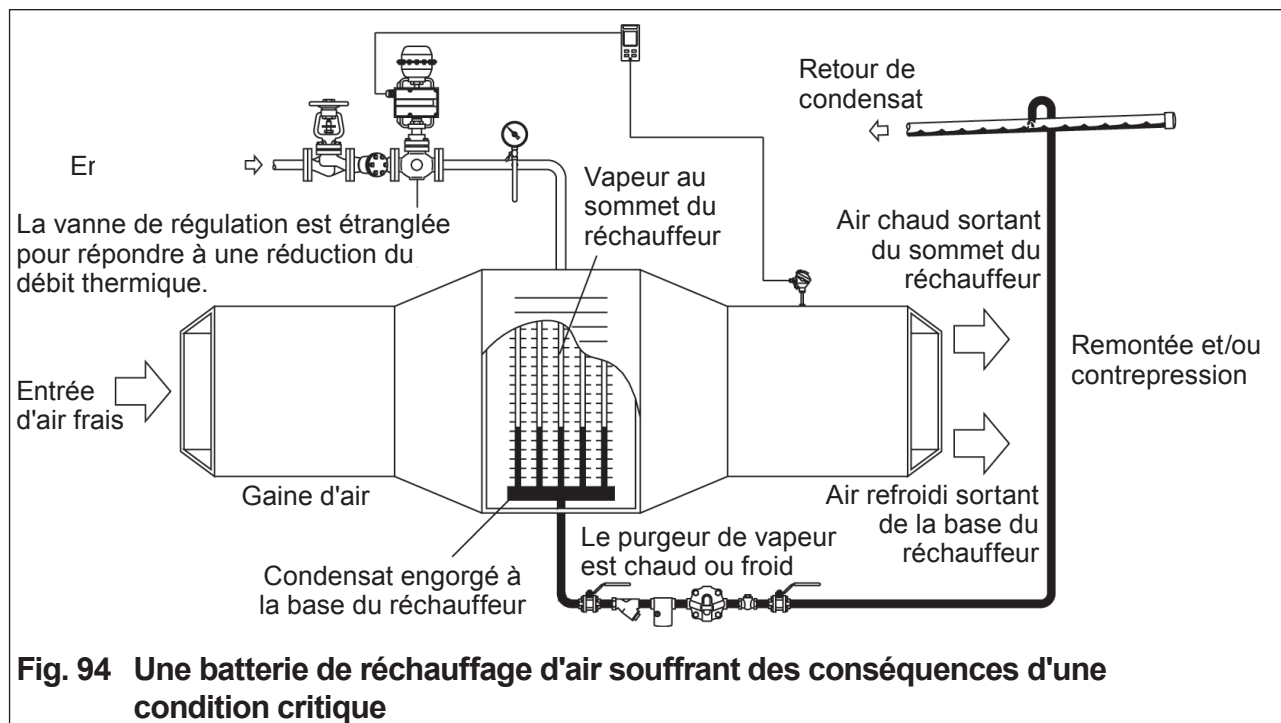
- Les conditions critiques, qui à leur tour affectent :
- La sélection du système de purge, et aussi,
- La taille de la vanne de régulation.

Avant toute sélection et tout dimensionnement des systèmes de purge, il est nécessaire de savoir si des conditions critiques peuvent se produire, et si elles se produisent, avec quelle intensité ?

Si ce n'est pas fait, l'échangeur de chaleur risque de souffrir d'engorgement continu. Toutefois, l'engorgement peut avoir des conséquences sérieuses, à court terme ou à long terme.

2.1.1 Problèmes à court terme

Considérons une batterie de réchauffage surdimensionnée fonctionnant comme un serpentin pouvant givrer et installée avec un mauvais système de purge (type ou taille), comme sur la Figure 94. Dans cet exemple, il s'agit d'air froid préchauffé avant qu'il passe dans la batterie principale du réchauffeur. Bien que le serpentin pouvant givrer réalise ses conditions thermiques, la moitié inférieure du serpentin sera engorgée. De l'air froid entrant à une température inférieure à 4°C, passant à 3 m/s sur les serpentins peut provoquer immédiatement leur gel. Cela entraîne une réparation ou le remplacement de la batterie par une nouvelle batterie de réchauffeur, les deux provoquent un inconvénient et un coût inattendus. Il n'y a ni engorgement ni gel si un purgeur correctement sélectionné et correctement dimensionné, est installé.



2.1.2 Problèmes à long terme

Parfois, les purgeurs sous-dimensionnés ne présentent pas d'effets négatifs immédiats sur les rendements du réchauffeur, si le réchauffeur est surdimensionné. Ironiquement, l'installation d'un type de purgeur incorrect sur un échangeur de chaleur peut entraîner une amélioration apparente en dehors du système de condensat. Par exemple, un purgeur à orifice calibré ou thermostatique installé sur un échangeur de chaleur va retenir le condensat en amont pour le refroidir en dessous de la température de saturation. Cela réduit la quantité de vapeur de revaporisation évacuée à l'atmosphère. Un observateur occasionnel peut interpréter cela comme une manière d'économiser l'énergie, et peut facilement réagir en installant ces systèmes dans les mêmes circonstances.

Malheureusement, la situation n'est pas aussi simple qu'elle en donne l'air. La réalité est que les purgeurs thermostatiques et à orifice calibré généreront à partir d'un moment, un engorgement de l'échangeur qu'ils sont sensés purger. L'engorgement a toujours une conséquence à long terme sur les échangeurs de chaleur. Le condensat qui engorge continuellement l'espace vapeur provoque de la corrosion, ce qui n'est pas vu par l'observateur, mais qui entraîne des dépenses. La durée de vie de l'échangeur de chaleur est réduite, et les coûts généraux de l'échangeur et du purgeur augmentent.

Les conséquences, dont un échangeur de chaleur engorgé peut souffrir, dépendent des circonstances particulières de toute l'installation.

Les symptômes et les conséquences des conditions critiques sont détaillés pages 96 et 97.

2.2 Comment se produit une condition critique ?

Pour comprendre une condition critique, il est nécessaire de comprendre que la vapeur saturée est un gaz se condensant, qui donne sa chaleur lorsqu'elle se condense en eau. La condensation se produit toujours à température constante lorsque la pression dans l'espace vapeur reste constante.

Par exemple, la vapeur saturée à la pression atmosphérique a une température de 100°C et se condense de nouveau en eau à 100°C, tandis qu'à une pression effective de 1 bar, la vapeur saturée a une température de 120°C et se condense de nouveau en eau à 120°C. La vapeur peut aussi exister dans les échangeurs de chaleur à une pression inférieure à la pression atmosphérique, par exemple, une vapeur à 0,5 bar en dessous de la pression atmosphérique a une température d'environ 80°C, et se condensera aussi en eau à 80°C. Les relations pression/température de la vapeur saturée sont prévisibles et données dans les tables de la vapeur.

La théorie établit que plus la température de la vapeur est élevée et supérieure à celle du fluide secondaire chauffé, plus le transfert thermique est élevé. Plus cette différence de température est basse, plus le transfert thermique est faible. Pour modifier le transfert thermique dû à la condensation de la vapeur, il faut aussi modifier la température (et donc la pression) de la vapeur dans l'espace vapeur.

Par exemple, si un échangeur de chaleur utilise de la vapeur à 160°C pour la charge thermique maximale, et si le débit est réduit de 50 %, la vapeur nécessaire doit avoir une température inférieure. Pour ce faire, la pression de la vapeur doit être réduite, et, comme on peut le voir dans les pages 99 à 101, il est probable que dans de nombreuses applications, la pression de vapeur doit être réduite en dessous de la contrepression.

Exemple :

Un process fonctionnant à débit maximum utilise une vapeur à 1 bar eff à 120°C pour chauffer un produit de 40°C à 60°C (température moyenne = 50°C). La différence entre la température moyenne de la vapeur et la température moyenne du produit est : $120^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$. C'est la moyenne arithmétique des différences de température ou AMTD. (Une méthode de calcul plus classique utiliserait les moyennes logarithmiques des différences de température (LMTD), mais pour cet exercice, l'AMTD est plus facile à utiliser).

Si le process est à débit moitié, la température du produit secondaire entrant a augmenté de 40°C à 50°C et la température moyenne du produit est donc de 45°C. L'AMTD à débit moitié sera égale à la moitié de l'AMTD à débit complet c'est-à-dire : $0,5 \times 70^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C}$.

Il s'ensuit que la température de la vapeur à débit moitié doit être la température moyenne du produit plus l'AMTD, c'est-à-dire : $45^{\circ}\text{C} + 35^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C}$.

Cela signifie que, à débit moitié, la pression dans l'espace vapeur est inférieure à la pression atmosphérique c'est à dire dans le vide. Il n'y a donc pas de pression de vapeur disponible dans l'espace vapeur pour pousser le condensat au travers du purgeur de vapeur. Même si la ligne de condensat descend vers un purgeur de vapeur refoulant à l'atmosphère, le condensat ne peut pas être évacué de l'échangeur. Si des précautions adéquates ne sont pas prises, le condensat va refouler dans la ligne de purge et engorger l'espace vapeur.

Les conséquences sont développées dans la section suivante.

2.3 Quels sont les symptômes et les conséquences d'une condition critique ?

Un ou plusieurs des symptômes suivants peut être évident :

- Le purgeur de vapeur reste froid, ou est vraiment plus froid que la température de la tuyauterie d'entrée de la vapeur dans l'échangeur de chaleur.
- La vanne de régulation est prédisposée au pompage c.-à-d. elle pompe régulièrement entre ses positions ouverte et fermée.
- La température du fluide secondaire sortant de l'échangeur de chaleur est moins précise que celle attendue ou nécessaire.
- La température se stratifie à la sortie de l'échangeur de chaleur. Ce sera plus apparent sur les batteries de réchauffage et les réchauffeurs.

Par exemple, il est presque certain de le détecter sur la batterie de réchauffage présentée Figure 94, page 94. La conception est telle que la surface de l'échangeur de chaleur est généralement accessible, souvent via un panneau d'accès ou une porte du côté des tuyauteries. En cas de condition critique, le sommet de la batterie le plus proche de l'entrée de vapeur sera brûlant, alors que plus bas, ce sera beaucoup plus froid, voire froid, et le purgeur sera frais ou froid. La température de l'air s'écoulant au travers de la partie supérieure de la batterie sera plus élevée que celle de l'air s'écoulant au travers de la partie plus basse.

- L'échangeur de chaleur produits des crépitements, des claquements, des battements par intermittence ou continuellement. Quelquefois, ces bruits sont accompagnés de forts coups de bélier qui peuvent détériorer l'échangeur de chaleur et tous les appareils installés sur l'échangeur. La condensation de la vapeur chaude sur les condensats engorgés provoque des coups de bélier et les bruits qui en résultent, spécialement lorsque le niveau d'engorgement varie avec les changements de débit et de la modulation de la vanne de régulation.
- La charge thermique de l'échangeur de chaleur est inférieure à celle attendue. Dans les applications de process, elle peut être caractérisée dans les process qui nécessitent un temps de mise en température trop long (et donc pour atteindre le régime nominal) ou qui sont simplement incapables de fonctionner sérieusement à des taux normaux de production.
- Dans les applications de process, l'un ou plusieurs des symptômes décrits ci-dessus entraîne une qualité de produit médiocre ou peu fiable.
- Augmentation de la corrosion. Les condensats engorgés se refroidissent à des températures bien inférieures à la température de la vapeur à l'entrée de l'espace vapeur. Le dioxyde de carbone et l'oxygène se dissolvent beaucoup plus rapidement dans l'eau plus froide. Le dioxyde de carbone est un produit dérivé du traitement incorrect de l'eau de chaudière et est entraîné dans l'échangeur de chaleur avec la vapeur. Lorsqu'il se dissout dans l'eau, il forme de l'acide carbonique qui provoque la corrosion. L'oxygène est présent dans l'eau brute et s'il n'est pas complètement évacué par le process de traitement d'eau de la chaufferie, il sera aussi entraîné avec la vapeur. Sa présence avec l'eau, spécialement l'eau froide dans laquelle il se dissout rapidement, aggrave aussi la corrosion.

Le degré de corrosion dépend du matériau de l'échangeur de chaleur. Le cuivre, l'acier au carbone et l'acier inoxydable seront affectés différemment.

- Contraintes mécaniques.

La vapeur chaude en haut de l'espace vapeur provoque la dilatation de l'échangeur de chaleur à cet endroit, alors que l'eau froide en bas de l'espace vapeur a l'effet inverse. Ces dilatations/contractions inégales entraînent des contraintes mécaniques sur la structure de l'échangeur de chaleur, particulièrement sur les soudures, les brasures et autres joints soudés des échangeurs de chaleur à 'plaques' ou 'tubulaires', et des batteries de réchauffage. Il en résultent le plus couramment des fuites de vapeur dans les premiers, et dans les deuxièmes, une entrée d'air dans le circuit secondaire. Les contraintes deviennent encore plus sérieuses si le niveau d'engorgement varie continuellement, spécialement s'il varie rapidement. Le niveau d'engorgement varie avec les changements de débit, et la vanne de régulation et le purgeur de vapeur ont beaucoup de difficultés à maintenir une régulation stable.

La conséquence finale de tous ces symptômes est une maintenance accrue, une durée de vie plus courte de l'échangeur de chaleur et des appareils associés. Tout cela augmente les coûts de fonctionnement généraux.

Ce sujet est étudié dans les sections suivantes.

2.4 Tous les échangeurs de chaleur souffrent-ils d'une condition critique ?

Non. Les conditions peuvent être telles qu'il y a toujours une pression positive suffisante en amont du purgeur pour évacuer les condensats ce qui évite la condition critique.

En règle générale, plus haute sera la température du process au dessus de 100°C et plus le débit nominal sera stable (spécialement s'il est proche du débit maximum de l'échangeur de chaleur), moins il sera possible qu'une condition critique se produise. Toutefois, chaque application est unique et nécessite une analyse individuelle. La seule manière de déterminer les caractéristiques inhérentes, c'est soit de tracer l'application sur un abaque, soit d'effectuer un calcul mathématique. Tout ceci est expliqué dans la section suivante.

Certaines applications semblent aussi fonctionner avec une condition critique sans les symptômes et les effets décrits dans la section précédente. Cela se produit lorsque les applications sont constantes ou ont des débits stables, où lorsque le débit change très légèrement et très lentement, et/ou si les applications emploient des échangeurs de chaleur très robustes.

Des exemples peuvent être des tuyauteries de chauffage de grandes sections, résistantes à la corrosion, installées dans des tuyauteries de transport de produit, ou des serpentins de chauffage de grandes sections, résistant à la corrosion, dans des réservoirs de stockage de produits et installés pour avoir une pente positive vers les points de purge.

Même dans ces types d'applications, si l'installation est conçue ou corrigée pour éliminer les conditions critiques, le fonctionnement est amélioré, la fiabilité aussi et les coûts de durée de vie sont réduits.

2.5 Comment prévoir une condition critique ?

On peut facilement prévoir une condition critique en utilisant un 'abaque de condition critique', dont un exemple est présenté Figure 95. L'abaque simule effectivement ou affiche ce qui se passe dans l'espace vapeur d'un échangeur de chaleur sous toutes les conditions entre les débits thermiques minimum et maximum.

Pour un échangeur de chaleur fonctionnant avec un débit du fluide secondaire constant, la quantité de chaleur transférée est principalement dépendante de la température de l'espace vapeur. C'est pourquoi, lorsque le débit thermique externe diminue, la température de la vapeur doit être réduite en proportion. Cela se réalise avec la fermeture de la vanne de régulation, qui, en termes simples, réduit à la fois le débit de vapeur et la pression de l'espace vapeur. Comme la pression et la température de la vapeur sont directement liées, une pression plus basse signifie une température plus faible, ce qui correspond à la réduction du débit thermique.

L'abaque de condition critique de la Figure 95 peut être utilisé pour montrer les relations entre les modifications de débits et les changements de pression et de température de la vapeur. L'axe horizontal indique le débit thermique de l'échangeur de chaleur du débit maximum nominal (100 % sur le côté gauche) à une rangeabilité nominale ou un débit nul (0 % sur le côté droit). L'exemple représenté dans la Figure 95 concerne l'application présentée Figure 96, page 100. Il montre que lorsque l'eau est chauffée de 20°C à 60°C par un réchauffeur tubulaire, la pression de vapeur nécessaire est 5,2 bar eff. à 160°C.

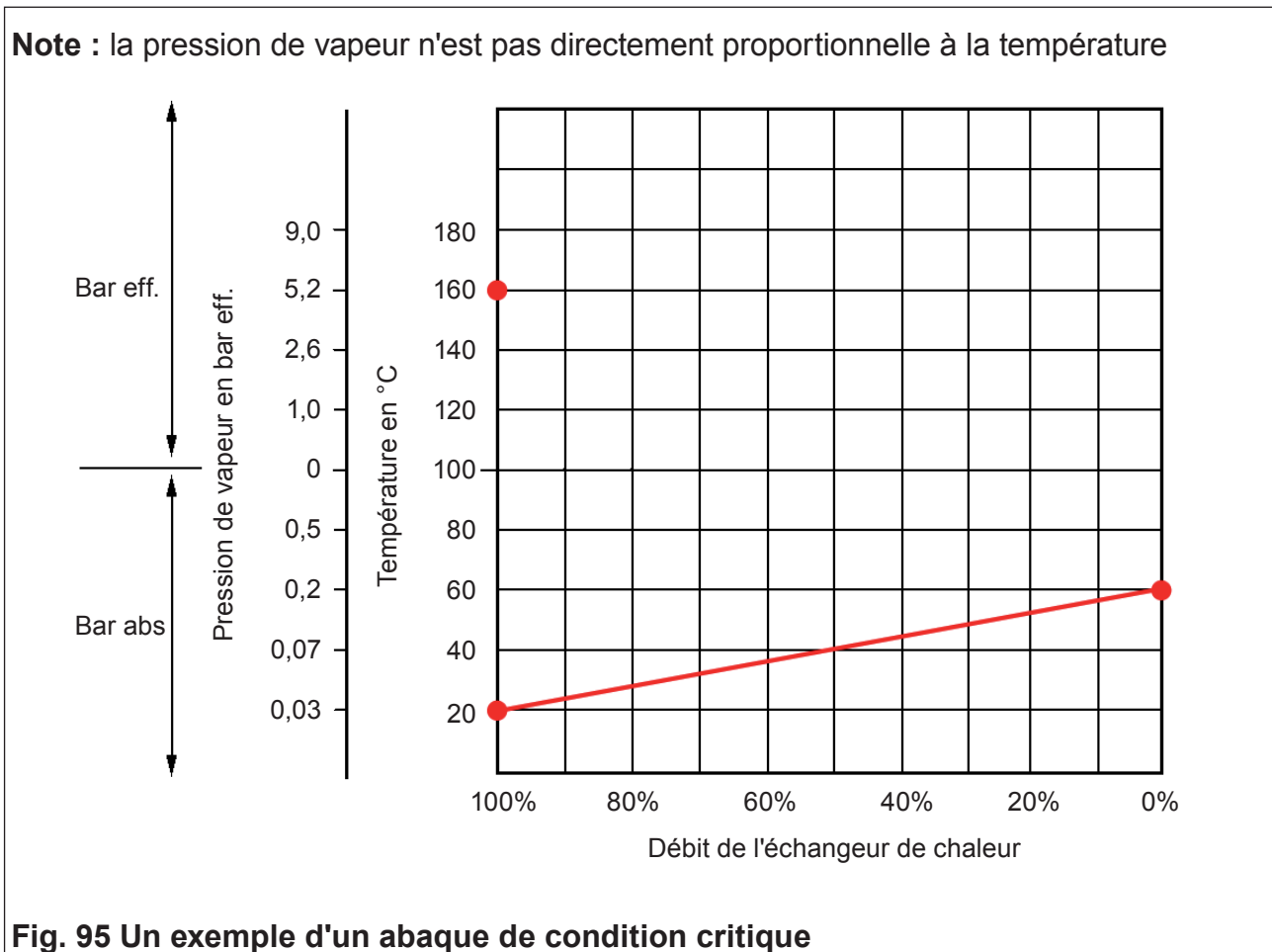
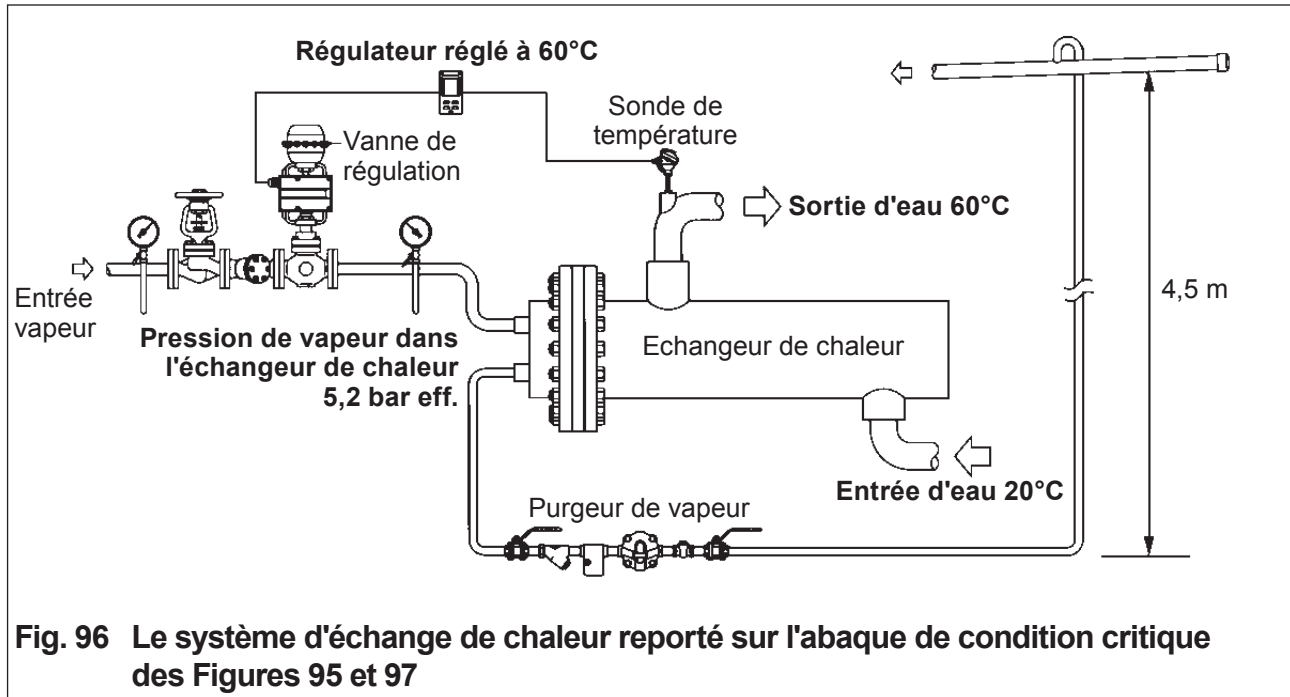


Fig. 95 Un exemple d'un abaque de condition critique



Considérons l'abaque (Fig. 97) à la condition de débit nominal. Sur l'axe vertical, tracer les points pour les températures de 160°C et 20°C sur la verticale de la valeur de débit 100 %, parce qu'ils représentent la température de la vapeur et de l'eau de retour à cette condition de débit.

Considérons l'abaque à la condition de débit nul. L'eau doit être chauffée à 60°C. Ce point est aussi tracé sur l'axe vertical au-dessus de la valeur du débit 0 %, ceci représente le fait que si de l'eau retourne à l'échangeur de chaleur à 60°C, le débit thermique sera nul, et il ne faudra plus ajouter de chaleur.

Deux lignes sont maintenant tracées, l'une joignant les points 160°C et 60°C, l'autre joignant les points 20°C et 60°C. Ils représentent ce qui se passe pour la température de vapeur **nécessaire** lorsque le débit thermique diminue quand la température de l'eau en retour augmente, et vice versa. Par exemple, le point immédiatement à gauche du point **A** sur l'axe des ordonnées représente l'eau retournant à 50°C. Le point immédiatement en dessous du point **A** sur l'axe des abscisses montre que le débit thermique est de 25 % du débit maximum. En partant verticalement du point **A** vers le point **B**, la température correspondante de la vapeur peut aussi être lue sur l'axe gauche.

Cela montre que, lorsque la température de retour de l'eau est 50°C, une température de vapeur de 85°C est nécessaire, ce qui se produit avec une pression de vapeur d'environ 0,6 bar abs (-0,4 bar eff), qui est inférieure à la pression atmosphérique, c.-à-d. que des conditions de vide se produisent dans l'espace vapeur.

En pratique, toutefois, cet niveau de vide ne sera jamais atteint. Une autre ligne tracée sur

l'abaque de condition critique explique ceci – c'est la ligne horizontale **C - D** représentant la contrepression de 0,45 bar provoquée par la ligne de remontée des condensats de 4,5 m. Le point **E** se trouve là où la ligne **C - D** traverse la ligne de température de la vapeur à 110°C. Il représente le point auquel la température de l'espace vapeur est réduite pour être égale à la contrepression. En descendant verticalement de **E** à **F**, il est possible de voir que la température de l'eau lorsque cela se produit, est de 40°C et en descendant vers l'axe des abscisses, on peut voir que le débit thermique est de 50 % du débit maximum.

Si le débit thermique est réduit de plus de 50 %, c.-à-d. si la température de l'eau en retour est supérieure à 40°C, la pression de vapeur sera insuffisante pour évacuer les condensats, qui alors resteront dans l'espace vapeur. Lorsque le niveau augmente, la zone de surface de chauffage exposée à la vapeur sera réduite. La capacité de débit thermique de l'échangeur de chaleur est réduite; ce qui nécessite maintenant une température de vapeur supérieure (et donc une pression plus élevée) pour répondre à la demande. Pour réaliser cela, la vanne de régulation s'ouvre plus. Sous l'influence de la vanne de régulation, l'installation atteint un état d'équilibre. Elle fonctionne avec un certain niveau d'engorgement nécessité par une pression vapeur juste suffisante pour évacuer les condensats de l'espace vapeur. L'échangeur de chaleur fonctionne maintenant sous des conditions critiques et est à même de présenter les symptômes et souffrir des conséquences décrites.

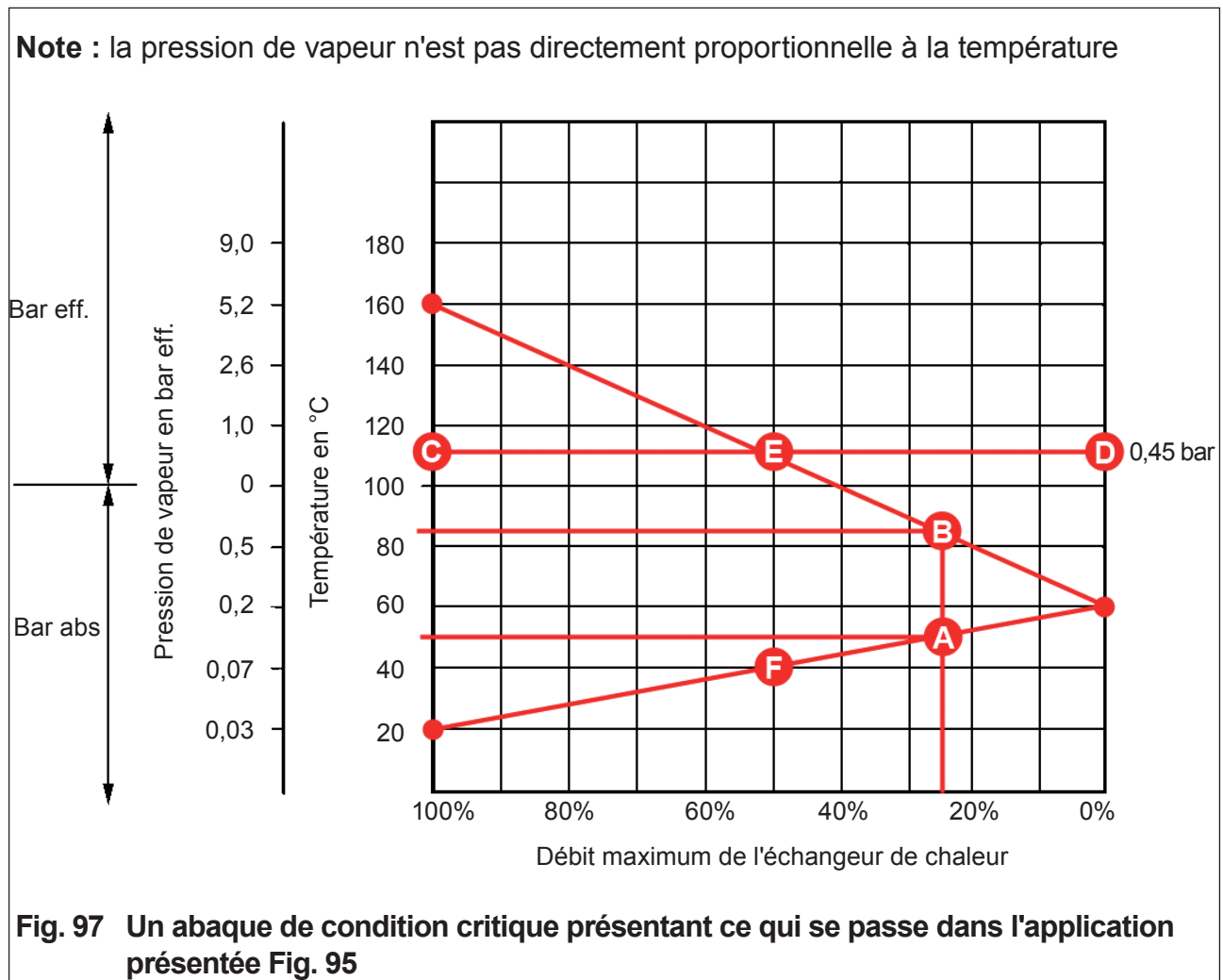


Fig. 97 Un abaque de condition critique présentant ce qui se passe dans l'application présentée Fig. 95

L'abaque de condition critique peut aussi être utilisé pour indiquer si et quand se produit la condition critique.

Considérons l'exemple précédent, mais avec la température de l'eau au retour ne dépassant jamais 30°C. L'abaque de condition critique montre que cela se produit avec une température de vapeur supérieure à la contrepression de 0,45 bar eff, donc dans cas il n'y a pas de condition critique.

Il faut noter que l'axe des abscisses indique la capacité de chaleur réelle de l'échangeur de chaleur et non le débit thermique requis de l'installation. Les échangeurs de chaleur sont généralement surdimensionnés par rapport au débit nominal. Cela est dû aux facteurs de sécurité qui sont ajoutés aux calculs nominaux pour couvrir des contingences telles que les facteurs d'encrassement ou les futurs débits. Le surdimensionnement entraîne à donner aux échangeurs de chaleur une surface de chauffage plus importante que nécessaire, ce qui résulte en une pression de vapeur inférieure à celle que l'on peut atteindre à débit nominal. L'effet final est que la condition critique se produit à une pression de vapeur plus faible que celle à laquelle elle se produit si le même échangeur de chaleur était dimensionné parfaitement. Cela doit être pris en compte en utilisant l'abaque. Si l'échangeur de chaleur est une nouvelle installation, il est utile de demander au fabricant de donner la pression de vapeur prévue dans l'espace vapeur à débit nominal. Si l'installation existe déjà, un manomètre placé entre la vanne de régulation et l'entrée de l'échangeur indiquera la pression réelle de la vapeur à débit nominal. Pour cette raison seulement, il est intéressant d'installer un manomètre de chaque côté de la vanne de régulation.

L'abaque de condition critique comme décrit précédemment s'applique aux applications dont les températures de l'eau au retour varient comme réponse au changement de débit thermique. Dans certains cas, la température de retour secondaire reste constante mais le débit secondaire dans l'échangeur varie en fonction du changement de débit.

Dans d'autres applications le changement de débit a lieu lorsque la température de l'eau à la sortie de l'échangeur est réduite. Dans tous ces cas, la condition critique se produit plus vite et l'abaque de condition critique est plus complexe - il doit être construit et interprété différemment.

2.6 Que peut-on faire d'une condition critique ?

Lorsque les conditions critiques sont inévitables, les problèmes potentiels peuvent être résolus en concevant l'installation autour d'une des trois méthodes de base suivantes :

- S'assurer que les conditions dans l'espace vapeur ne chutent jamais en dessous de la pression atmosphérique, et que le condensat peut être évacué par gravité vers et à partir d'un purgeur de vapeur.
- Accepter que la pression dans l'espace vapeur soit inférieure à la contrepression, et donner une alternative pour évacuer les condensats, en installant un purgeur-pompe.
- S'assurer que la pression dans l'espace vapeur est stable et supérieure à la contrepression. Cela impose d'installer le système de régulation de température sur le côté secondaire du système.

Les installations qui assurent des conditions dans l'espace vapeur qui ne chutent jamais en dessous de la pression atmosphérique, et qui évacuent les condensats par gravité vers et à partir d'un purgeur-pompe :

2.6.1 Méthode de la hauteur statique et du casse-vide (voir Figure 98)

Le purgeur de vapeur ne peut pas être sujet à toute contrepression supérieure à la pression atmosphérique, et doit évacuer les condensats soit à l'atmosphère (ce qui peut être peu rentable), soit dans un collecteur dégazé et une pompe, ce qui permet de récupérer l'énergie contenue dans les condensats. Il faut observer deux critères. Premièrement, un casse-vide doit être installé à l'entrée vapeur de l'échangeur en aval de la vanne de régulation. Deuxièmement, le purgeur doit être installé à une distance donnée en dessous de la sortie de l'échangeur de chaleur pour créer une hauteur statique suffisante pour passer la quantité nécessaire de condensat à la condition critique. Une distance entre 0,5 à 1 m est généralement le cas, toutefois, des distances plus courtes peuvent convenir aux purgeurs plus gros, s'il y a moins de place disponible verticalement.

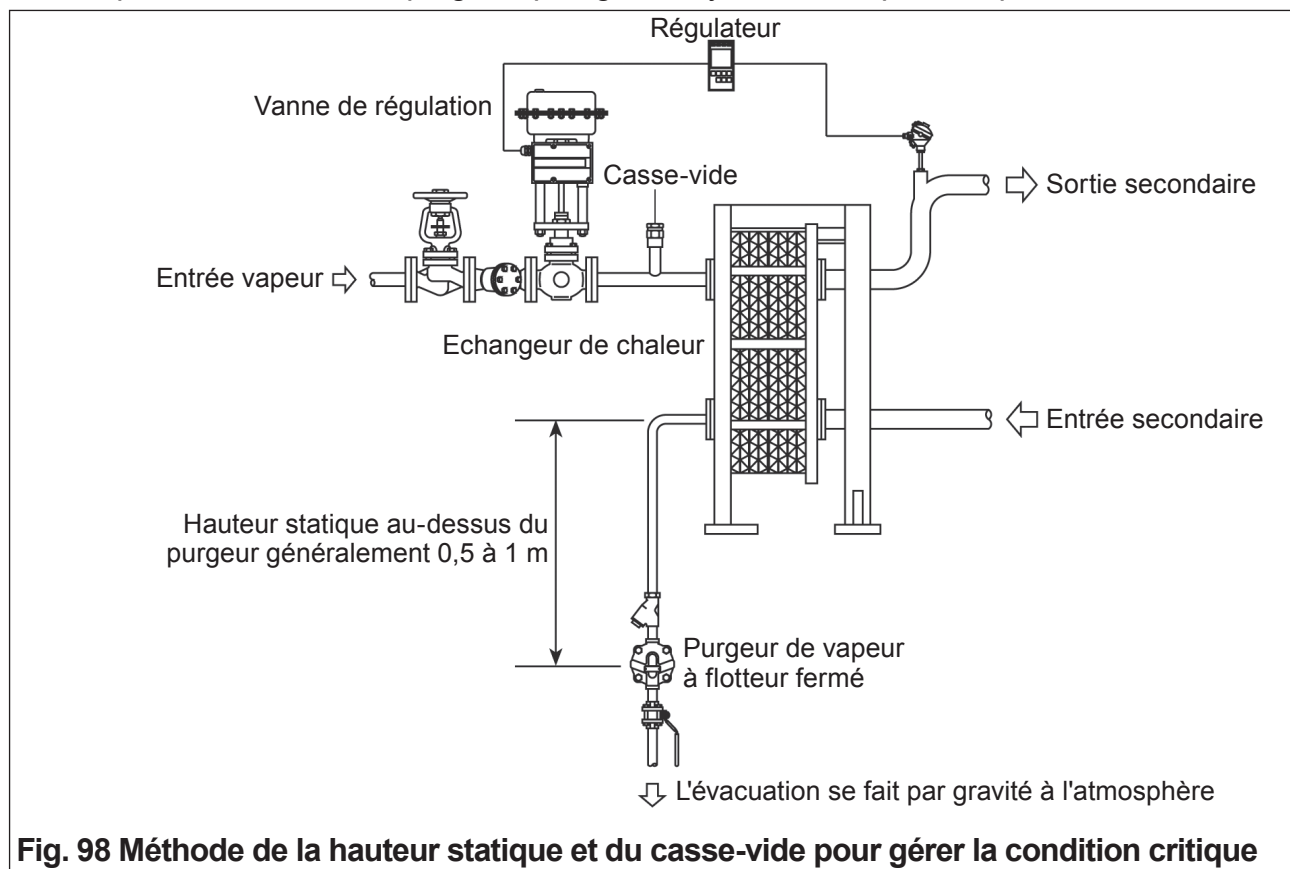


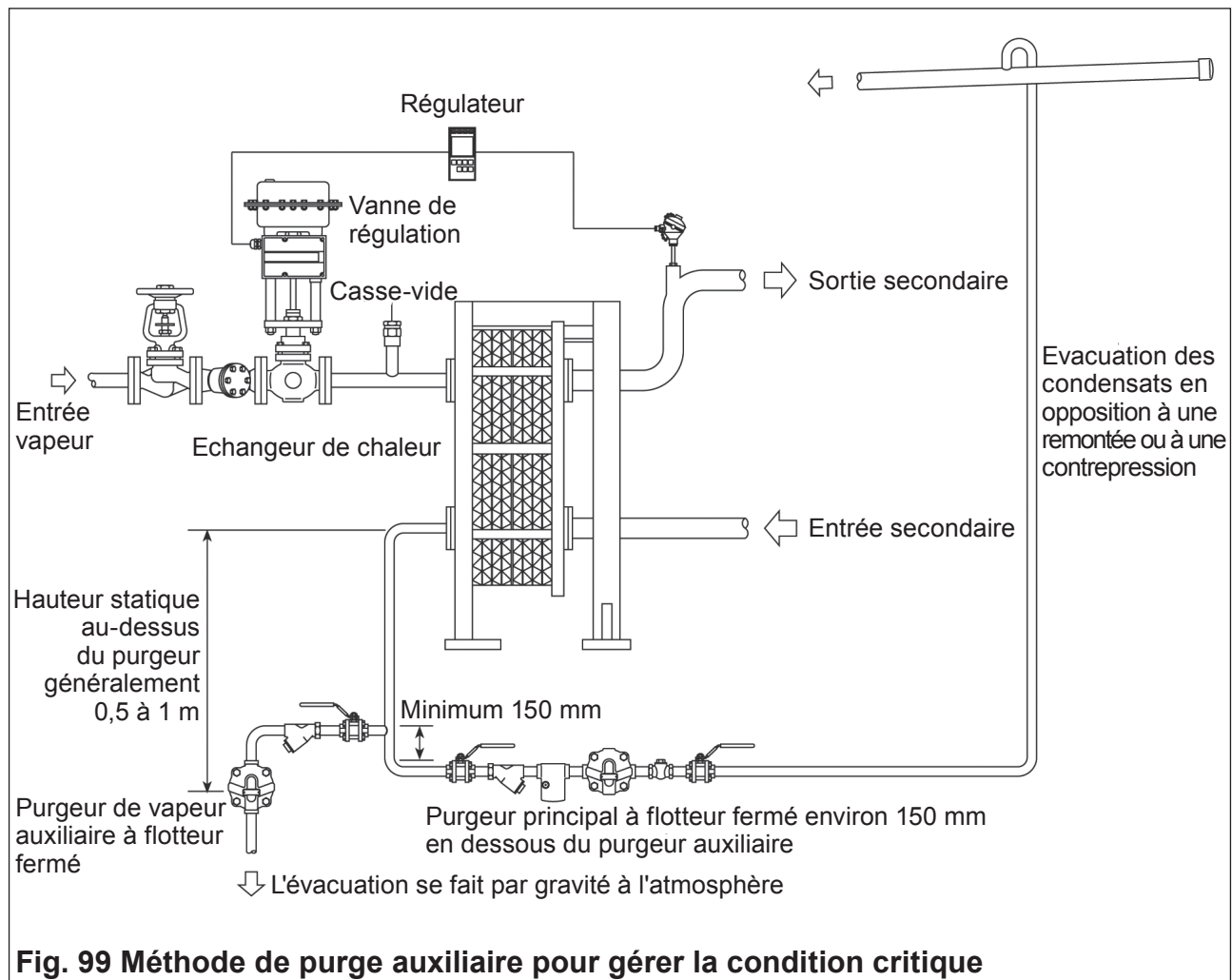
Fig. 98 Méthode de la hauteur statique et du casse-vide pour gérer la condition critique

2.6.2 Méthode de la purge auxiliaire (voir Figure 99)

Un poste de purge standard est installé pour recycler les condensats dans un système de condensat, qui est soit pressurisé soit alimenté par une ligne ascendante ou les deux. Un purgeur à flotteur fermé auxiliaire peut être installé en parallèle de la ligne de purge normale, pour une évacuation à l'atmosphère.

Lorsque la pression de vapeur est suffisante pour supporter la contrepression, le purgeur standard fonctionne, mais lorsque la condition critique se produit, le purgeur auxiliaire s'en charge et stoppe le retour des condensats dans l'échangeur de chaleur. Comme ce condensat est évacué à l'égout, cette méthode doit être seulement utilisée si la condition critique se produit rarement. Le purgeur auxiliaire doit être dimensionné en fonction de la hauteur statique pour passer la condition critique comme dans la méthode de hauteur classique et de casse-vide, et le purgeur 'standard' doit être de la même taille, mais installé au moins à 150 mm en aval de l'évacuation auxiliaire au moyen d'un 'T'.

Ces deux méthodes ont besoin d'un grand espace entre les purgeurs et l'échangeur de chaleur.



2.6.3 Une pompe et un purgeur installés en combinaison (voir Figure 100)

Les installations dont la pression de vapeur dans l'espace vapeur chute en dessous de la contrepression, mais où les condensats sont évacués par gravité dans une installation purgeur-pompe combinés :

Cette méthode utilise une pompe et un purgeur de vapeur installés en combinaison. Il s'agit d'une pompe à fluide auxiliaire, dans laquelle une alimentation de vapeur auxiliaire prend automatiquement la place du purgeur de vapeur, et fournit l'énergie motrice pour évacuer les condensats lorsque la condition critique a lieu. Si la pression dans l'espace vapeur est supérieure à la contrepression, la pompe s'arrête de fonctionner et le purgeur fonctionne de manière normale pour évacuer les condensats.

Cette méthode est la plus pratique et la plus économique pour la plupart des installations, par exemple, celles utilisant des lignes de purge de condensat de DN40 et plus.

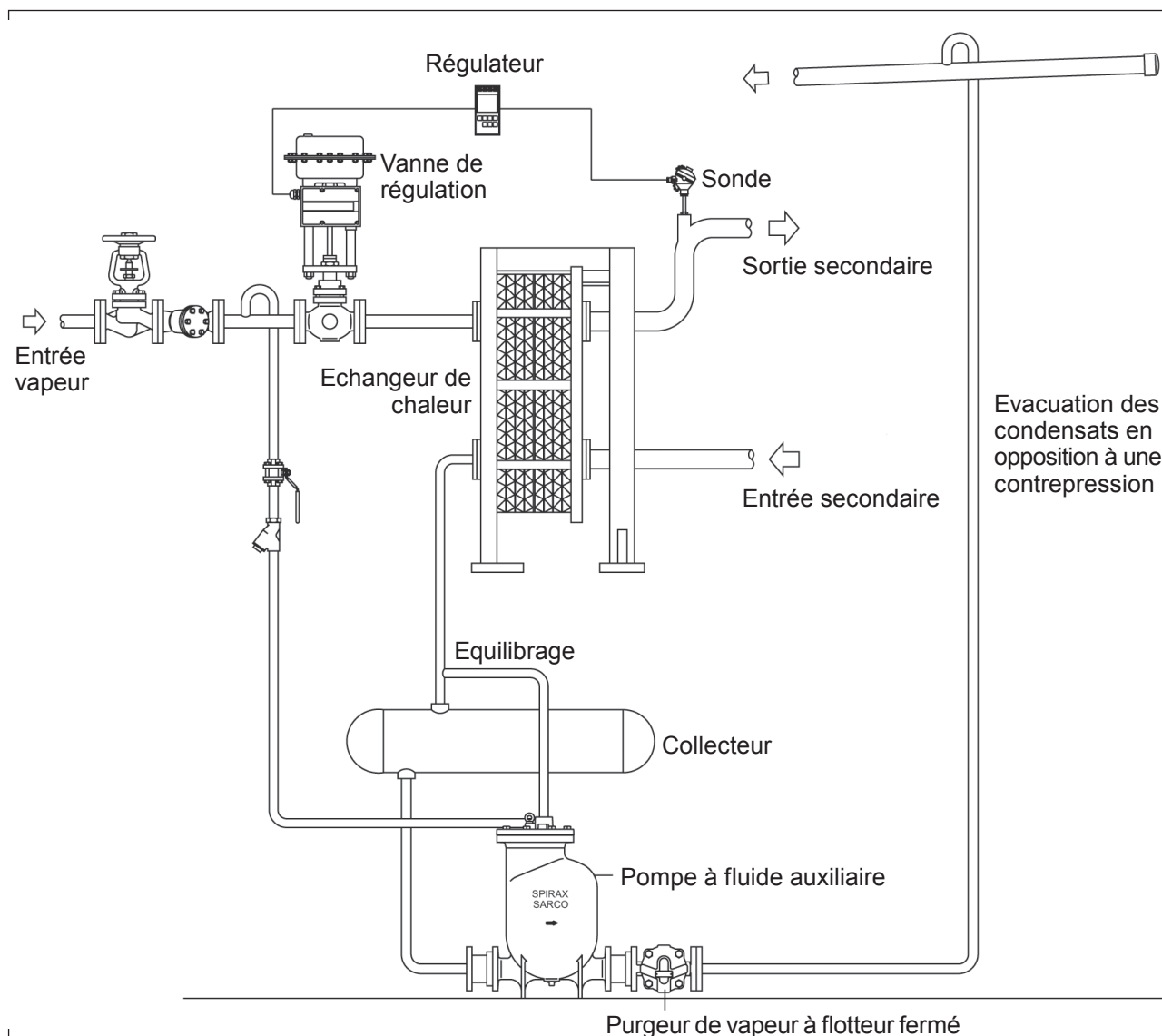


Fig. 100 Combinaison pompe et purgeur de vapeur pour gérer la condition critique

Note : Si la charge minimale est plus élevée que la charge critique, (disons de 70%, c.-à-d. une réduction de 30%), la pression différentielle du système ne s'inversera jamais. Alors, un purgeur suffit, et il est dimensionné sur la condition de débit minimum, c.-à-d. 70% de 600 kg/h = 420 kg/h, à la pression différentielle à travers le purgeur à ce point - voir ci-dessous pour la définir :

Température de vapeur à débit maximum	= 170°C (a)
Température de vapeur à débit nul	= 80°C (b)
c.-à-d. plage de température de vapeur	= 90°C (a-b)
30% de la plage	= 30°C (c) = ([a-b] x 0,3)
Température vapeur avec réduction de 30%	= 140°C (a-c)
Pression de vapeur à 140°C	= 2,6 bar eff. (d'après les tables)
Contre-pression du condensat	= 2,0 bar eff.
Pression différentielle minimale	= 0,6 bar

Le purgeur à flotteur fermé est dimensionné pour passer 420 kg/h avec une différence de pression de 0,6 bar.

2.6.4.2 Exemple 2

Le débit critique peut aussi être calculé mathématiquement. Cela peut être mieux expliqué en utilisant les données provenant de l'exemple précédent :

$$\frac{(\text{Température équivalente à la contre-pression}) - (\text{Température de sortie du secondaire})}{(\text{Température de l'espace vapeur à charge maxi}) - (\text{Température de sortie du secondaire})}$$

$$= \frac{134 - 80}{170 - 80}$$

Pourcentage de débit critique	= 60%
Débit critique réel	= 60% x 600 kg/h
	= 360 kg/h

Comme le débit minimum de 40% (240 kg/h) sera inférieur au débit critique de 60% (360 kg/h), le système nécessitera un purgeur-pompe ou une pompe pour évacuer correctement le condensat.

2.6.4.3 Exemple 3

Une méthode plus facile pour déterminer si un système subit une inversion de pression différentielle ou s'il nécessite un purgeur ou un purgeur-pompe est obtenue au moyen du programme de dimensionnement pour le purgeur-pompe. Ce programme trace, également, précisément un abaque d'inversion de pression différentielle spéciale pour toute installation.

2.6.4.4 Un abaque classique d'inversion de pression différentielle

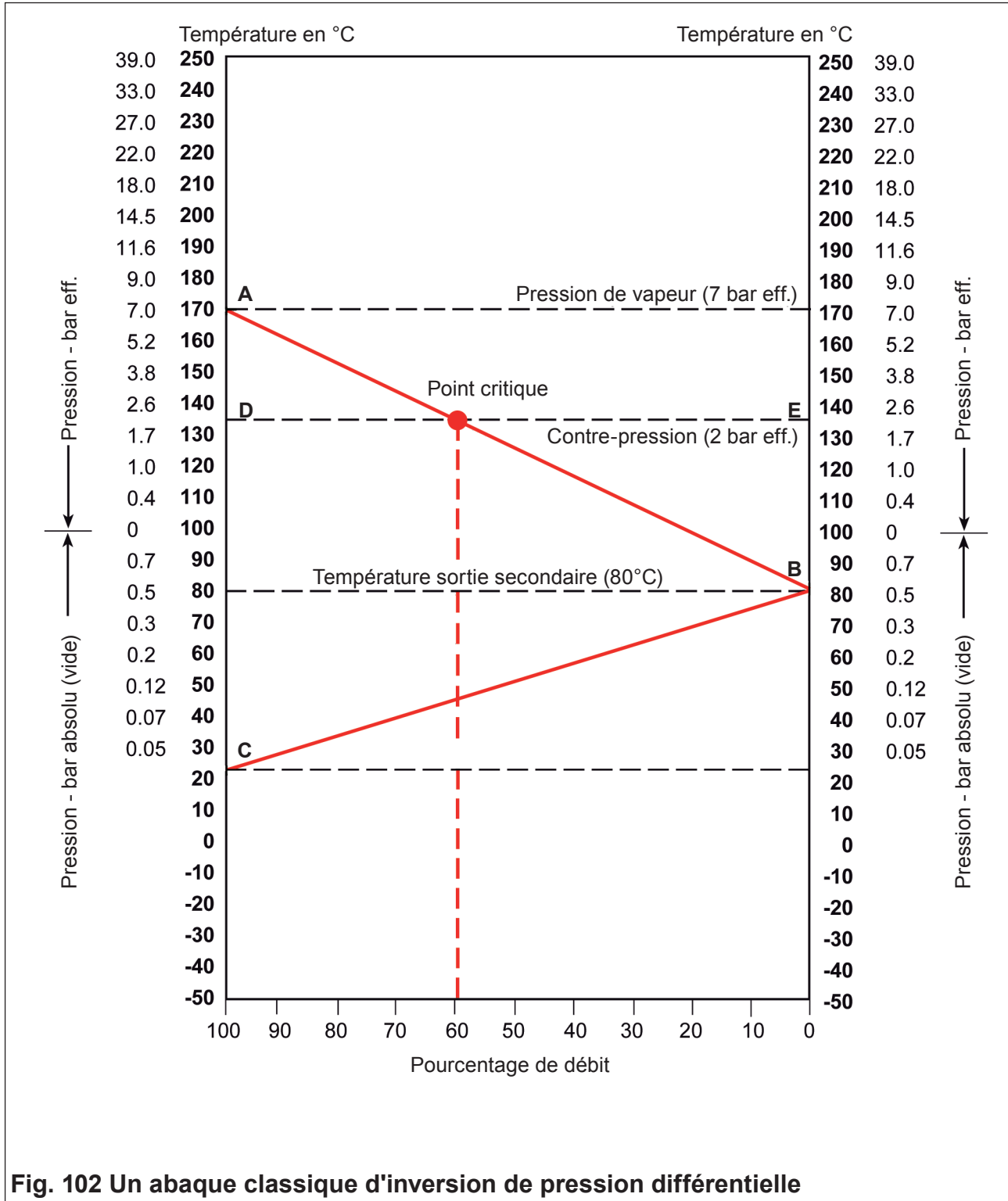


Fig. 102 Un abaque classique d'inversion de pression différentielle

2.7 Conclusion

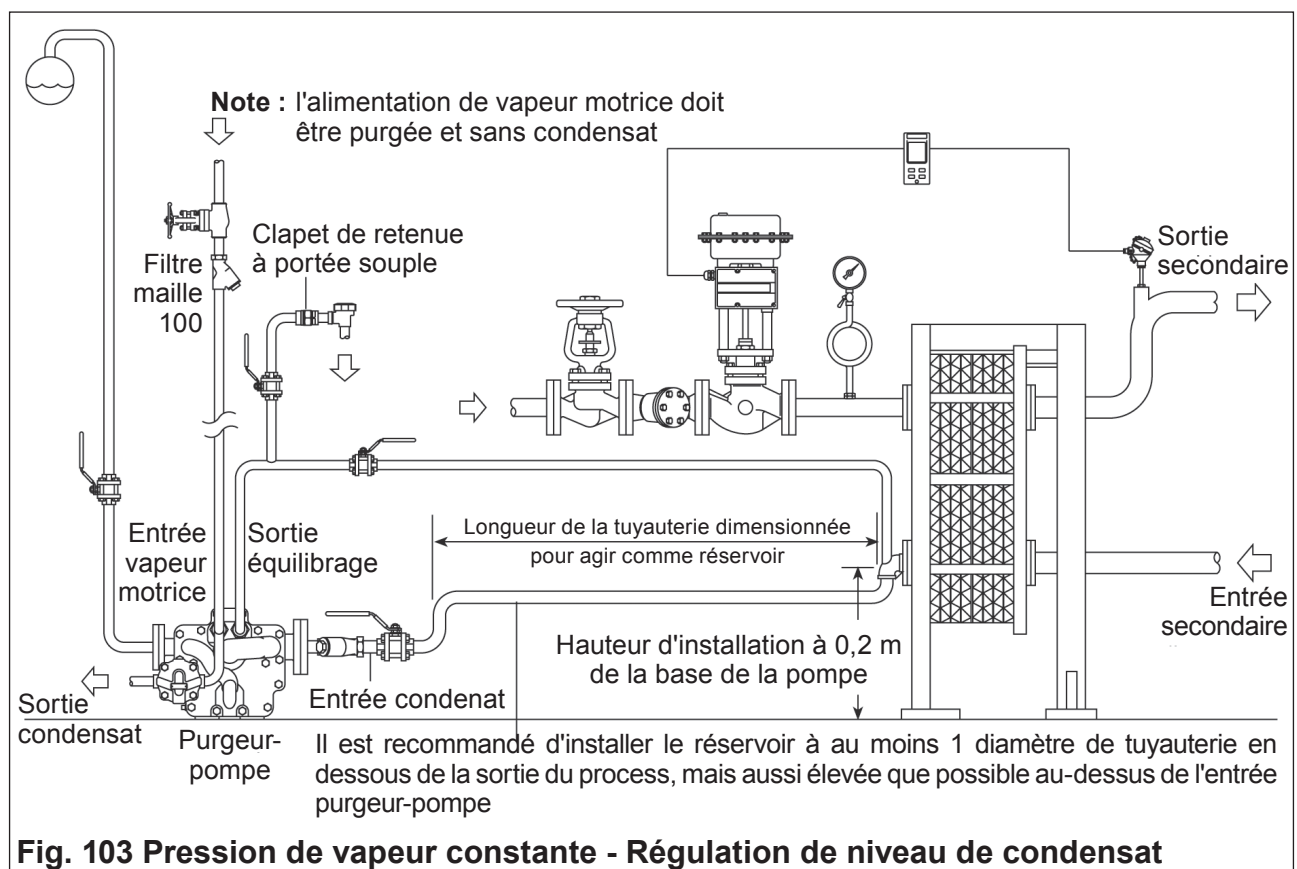
Le purgeur à flotteur fermé avec purgeur d'air à pression équilibrée intégré est le type de purgeur de vapeur le plus approprié aux appareils d'échange de chaleur en général, et spécialement s'il peut y exister des conditions critiques. La gamme de purgeurs à flotteur fermé est conçu pour répondre à ce service, en étant robuste et fiable en service.

S'il y a une éventualité de condition critique, le purgeur-pompe, ou une combinaison pompe à fluide auxiliaire et purgeur à flotteur fermé sont généralement les solutions les plus appropriées.

Leurs avantages étant :

- Simple,
- Rentable,
- Compact.

Nota : Les schémas ne contiennent pas les équipements accessoires qui seraient nécessaires ou conseillés pour une installation spécifique. La Figure 103 fait exception, car elle montre une installation détaillée, réelle d'un purgeur-pompe automatique.



Finalement, on peut constater que le sujet de la condition critique peut devenir complexe, spécialement lorsqu'il faut sélectionner les appareils les plus appropriés et concevoir leur installation pour qu'ils fonctionnent correctement dans tous les cas de service.

Cette publication n'entend pas faire du lecteur un expert de la condition critique, mais plutôt :

- De lui permettre de comprendre de quoi il s'agit.
- Pourquoi elle existe.
- Ce qu'il faut faire pour l'éviter.
- Qui contacter pour un conseil adapté.

Et savoir réagir si :

- Le système est mal conçu.
- Le système est déjà mis en service mais ne donne pas ce qu'on attend.

Chapitre 3

Récupération de condensat et de vapeur de revaporisation

3.1 Retour de condensat

Un système de récupération de condensat efficace, collectant le condensat chaud d'un appareil utilisant la vapeur et le retournant au réseau d'alimentation de la chaudière se rembourse lui-même en un temps remarquablement bref. La Figure 104 présente un circuit classique de vapeur et de condensat, où le condensat est retourné à la bache alimentaire.

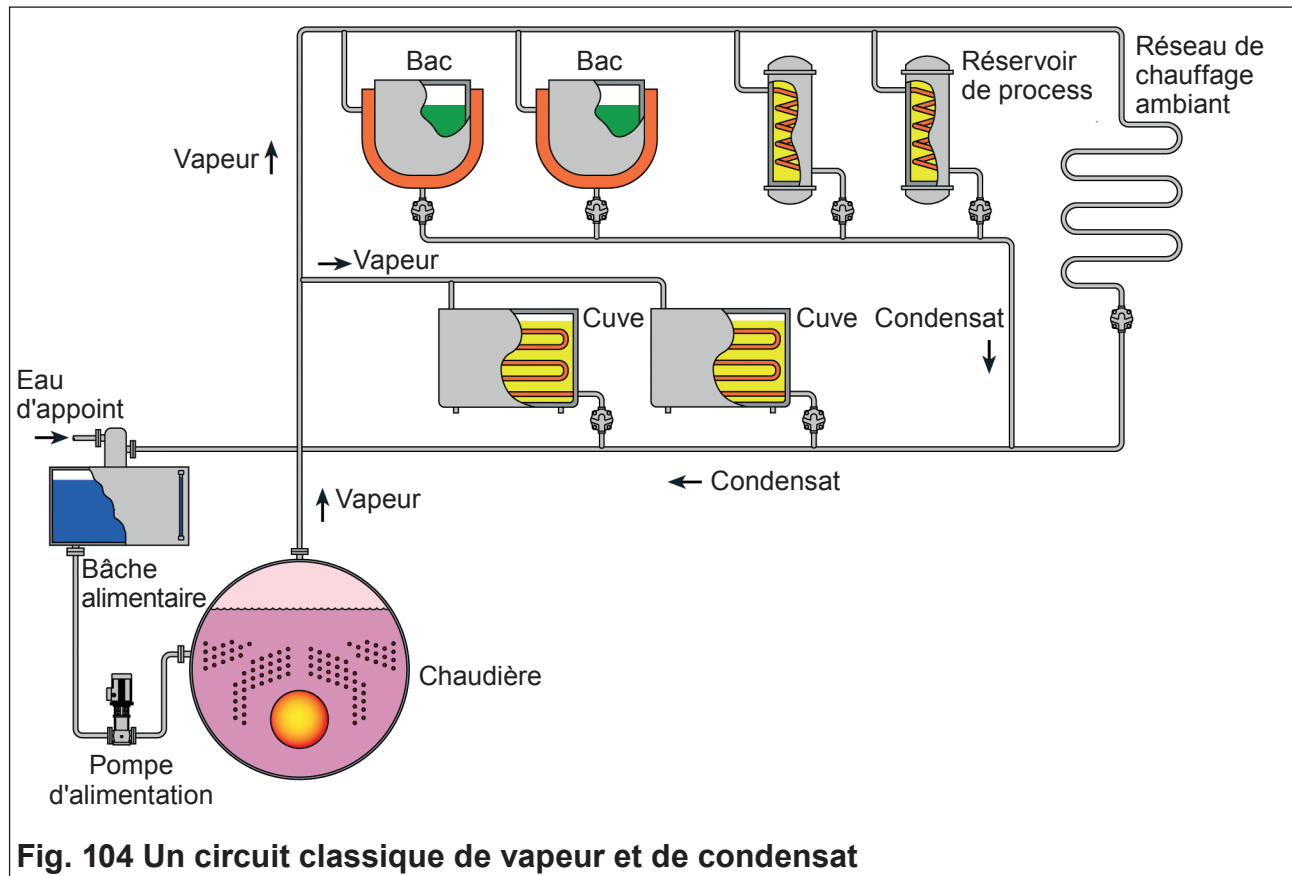


Fig. 104 Un circuit classique de vapeur et de condensat

3.1.1 Pourquoi retourner le condensat et le réutiliser ?

Valeur monétaire. Le condensat est une ressource précieuse et même la récupération de petites quantités est souvent économiquement justifiable. L'évacuation d'un simple purgeur vaut souvent la peine d'être récupérée.

Le condensat non récupéré est remplacé par de l'eau d'appoint avec des coûts supplémentaires de traitement d'eau et de fuel pour chauffer cette eau à basse température.

Prix de l'eau. Tout condensat non retourné doit être remplacé par de l'eau d'appoint, occasionnant d'autres coûts provenant du fournisseur local de l'eau.

Restrictions d'effluents. En France par exemple, l'eau dont la température est supérieure à 30 °C ne peut pas être retournée à l'égout public parce qu'elle est nuisible pour l'environnement et peut détériorer les tuyauteries. Le condensat dont la température est supérieure à cette valeur doit être refroidi avant d'être évacué, ce qui occasionne des coûts supplémentaires d'énergie. Des restrictions similaires régissent les charges concernant les effluents dans de nombreux pays et des amendes peuvent être appliquées par les fournisseurs d'eau ou les autorités locales pour non-conformité.

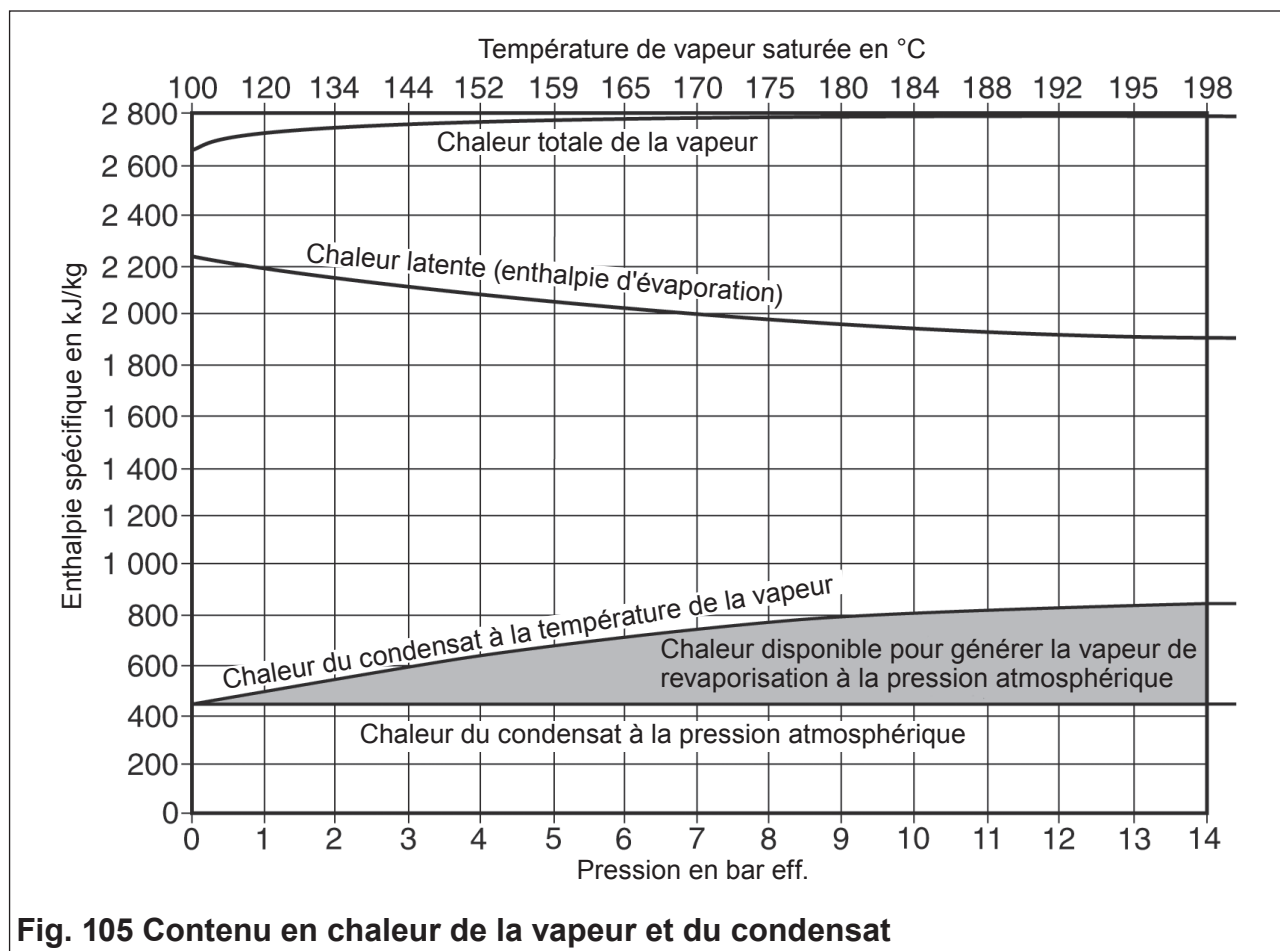


Fig. 105 Contenu en chaleur de la vapeur et du condensat

La Figure 105 présente les quantités relatives d'énergie de la vapeur et du condensat à différentes pressions.

Optimisation du débit d'une chaudière. Une eau d'alimentation de chaudière plus froide réduira la production de vapeur de la chaudière. Plus la température de l'eau d'alimentation est basse, plus il faut de chaleur et donc de fuel pour produire la vapeur.

Qualité de l'eau d'alimentation de chaudière. Le condensat est une eau distillée qui contient très peu de solides dissous (TDS). La déconcentration est utilisée pour réduire la concentration des solides dissous dans la chaudière. Plus de condensat est retourné à la bêche alimentaire, moins grand est le besoin de déconcentration et ainsi l'énergie perdue par la chaudière est réduite.

Résumé des avantages de la récupération de condensat.

- Les coûts de l'eau sont réduits.
- Les coûts dus aux rejets des effluents et au refroidissement nécessaire sont réduits.
- Les coûts de fuel sont réduits.
- La déconcentration de chaudière est réduite - moins d'énergie perdue par la chaudière.
- Le traitement chimique de l'eau d'appoint est réduit.

3.1.2 Exemple d'économie en récupérant le condensat

L'exemple suivant démontre comment les économies sont possibles en recyclant le condensat à la bêche alimentaire de la chaudière. Les économies dépendent évidemment du coût du fuel et de l'eau. Cet exemple donne des coûts classiques.

Le fuel utilisé dans cet exemple est du fuel lourd avec un pouvoir calorifique élevé de 42MJ/litre.

Economies de fuel basées sur les températures moyennes suivantes.

Température du condensat retourné = 90°C

Température d'eau d'appoint = 10°C

Différence de température = 80°C

Chaque kg de condensat non retourné doit être remplacé par 1 kg d'eau d'appoint froide qui devra être chauffé à la même température.

Chaleur nécessaire pour augmenter 1 kg d'eau froide de 80°C :

$$1 \text{ kg} \times 80^\circ\text{C} \times 4,19 \text{ kJ/kg} = 335 \text{ kJ/kg}$$

En basant les calculs sur une moyenne de production totale de vapeur de 10 000 kg/h, et si aucun condensat n'est actuellement retourné, 24 heures par jour, 7 jours par semaine, 50 semaines par an (soit 8400 h/an), l'énergie nette nécessaire pour remplacer la chaleur dans l'eau d'appoint est :

$$10\,000 \text{ kg/h} \times 335 \text{ kJ/kg} \times 8\,400 \text{ h/an} = 28\,140 \text{ GJ/an}$$

Si le rendement moyen de la chaudière est de 85%, l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau d'appoint :

$$\frac{28\,140 \text{ GJ/an}}{0,85} = 33\,106 \text{ GJ/an}$$

Avec un pouvoir calorifique de 42 MJ/litre, les économies potentielles de fuel

$$\frac{33\,106 \text{ GJ/an}}{42 \text{ MJ/litre}} = 788\,000 \text{ litres/an}$$

Avec un fuel à 0,5 cts €/litre, les économies sont de 788 000 x 0,5 cts €/an.

Donc, les économies de **fuel** annuelles potentielles sont de :

394 000 €

Economies d'eau. La quantité totale d'eau nécessaire en un an pour remplacer le condensat qui n'est pas retourné :

$$\frac{8\,400\text{ h} \times 10\,000\text{ kg/h}}{1\,000\text{ kg/m}^3} = 84\,000\text{ m}^3$$

évalué à 3 € par m³ = 252 000 €

Les économies **d'eau** annuelles potentielles sont **de 252 000 €**

Economies d'effluents. Le condensat qui n'a pas été récupéré devrait être évacué à l'égout, ce qui peut générer une taxe supplémentaire.

La quantité totale d'eau à évacuer en un an est de 84 000 m³.

Avec une taxe sur les effluents de 2 € par m³ = 168 000 €.

Donc les économies normales potentielles en supprimant les rejets des effluents sont = **168 000 €**.

Economies potentielles totales. Les économies annuelles totales potentielles pour une production totale de vapeur de 10 000 kg/h et basées sur le fait qu'aucun condensat n'est actuellement retourné, sont :

Economies de fuel = 394 000 €
 Economies d'eau = 252 000 €
 Economies d'effluents = 168 000 €
 Economies totales = **814 000 €**

Il s'ensuit que pour chaque 1% de condensat retourné pour 10 000 kg/h de production totale de vapeur, comme donné dans l'exemple précédent, une économie de 1% de chacune des valeurs ci-dessus est possible.

Pour calculer des économies relatives basées sur le même raisonnement, utiliser les formules de la page suivante en mettant les chiffres dans les cases blanches.

Economies de fuel (avec une augmentation de l'eau d'alimentation à 80°C)	= €
Economies d'eau	= €
Economies d'effluents	= €
Total	= €

Cet exemple de calcul n'inclut pas la valeur correspondant aux économies dues à une régulation correcte de la concentration en sels de la chaudière et une déconcentration réduite qui permettront ultérieurement de réduire les pertes d'eau et les coûts de produits chimiques.

Ces valeurs peuvent vraiment différer d'un cas à un autre, mais elles doivent être prises en compte pour une analyse finale. Evidemment, pour la prise en compte de la gestion du condensat pour un projet spécifique, ces économies doivent être déterminées et incluent dans le projet.

Economies de fuel. Les économies financières sont 'D' =

$$\frac{335 \times A \times B \times C \times D}{E \times F}$$

où :

A = Production moyenne de vapeur en tonnes/h

B = Heures par an

C = Pourcentage d'augmentation du retour de condensat

D = Coût par unité de fuel (€/litre ; €/therm ; €/kg)

E = Pouvoir calorifique du fuel pour la même unité (MJ/litre ; MJ/therm ; MJ/kg)

F = Rendement de chaudière

Ex. Considérons l'exemple précédent : avec une augmentation de 30 % de retour de condensat, des économies annuelles de fuel sont :

$$\frac{335 \times 10 \times 8\,400 \times 30 \times 0,5}{42 \times 85}$$

Economies de fuel = 118 235 €

Economies d'eau. Les économies financières sont 'C' =

$$\frac{A \times B \times C \times D}{100}$$

où :

A = Production moyenne de vapeur en tonnes/heure

B = Heures par an

C = Coût par m³ d'eau

D = Augmentation en pourcentage du retour de condensat

Ex. considérons l'exemple précédent, avec une augmentation de 30 % du retour de condensat, les économies annuelles d'eau seront de :

$$\frac{10 \times 8\,400 \times 3 \times 30}{100}$$

Economies d'eau = 75 600 €

Economies d'effluents. Les économies financières sont 'C' =

$$\frac{A \times B \times C \times D}{100}$$

où :

A = Production moyenne de vapeur en tonnes/heure

B = Heures par an

C = Coût par m³ d'effluent

D = Augmentation en pourcentage du retour de condensat

Ex. considérons l'exemple précédent, avec une augmentation de 30 % du retour de condensat, les économies annuelles d'effluents seront de :

$$\frac{10 \times 8\,400 \times 2 \times 30}{100}$$

Economies d'effluents = 50 400 €

3.2 Lignes de retour de condensat

Le chapitre traitant des tuyauteries de condensat se divise naturellement en quatre sections différentes. Elles sont :

Types de ligne	Tuyauterie dimensionnée pour transporter :
• Lignes vers purgeurs	Condensat
• Lignes après des purgeurs	Vapeur de revaporisation
• Lignes de retour communes	Vapeur de revaporisation
• Lignes de retour avec pompe	Condensat pompé

3.2.1 Lignes de retour vers purgeurs

Le condensat doit s'écouler de la sortie de l'espace vapeur vers le purgeur. L'espace vapeur et le corps du purgeur en amont de son orifice d'évacuation seront généralement à la même pression, et l'écoulement se produit généralement sous l'effet de la gravité. S'il n'y a pas de perte de charge significative entre le process et le purgeur, il n'y a pas de vapeur de revaporisation dans la tuyauterie, qui alors peut être dimensionnée pour transporter uniquement du condensat. Il ne faut jamais supposer que le raccordement de sortie du process indique la taille correcte du purgeur ou de la tuyauterie de condensat, spécialement dans le cas de process avec régulation de température où des différentielles de pression faibles peuvent se produire dans le purgeur lors des fonctionnements à faible charge. Chaque process aura ses propres conditions de fonctionnement et devra être traité en gardant celles-ci à l'esprit.

Des lignes de purge longues provenant des installations peuvent se remplir de vapeur et empêcher que le condensat atteigne le purgeur. La conséquence est généralement appelée "bouchon de vapeur".

Pour minimiser ce risque, les lignes de purge doivent être courtes (Figure 106), avec une descente verticale partout où c'est possible avant toute ligne horizontale, pour que le purgeur soit placé en dessous de la sortie de l'installation. Cette disposition facilite aussi l'écoulement par gravité entre la sortie de process et le purgeur. Les purgeurs à flotteur fermé sont aussi disponibles avec un dispositif anti-bouchon de vapeur pour atténuer le problème.

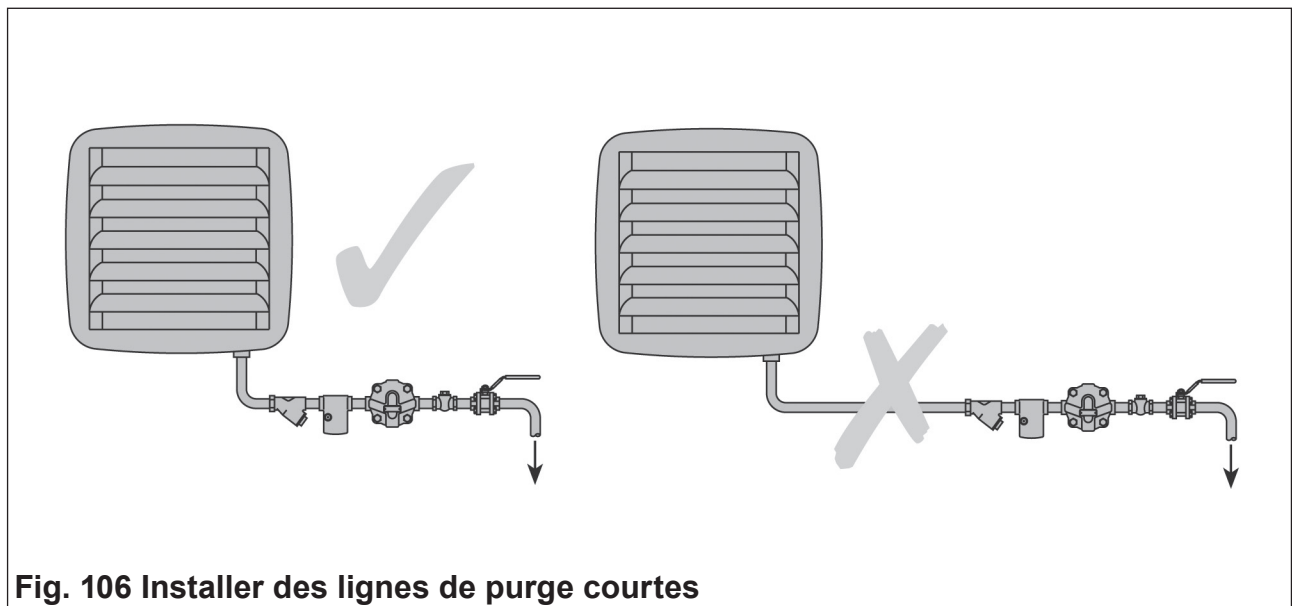


Fig. 106 Installer des lignes de purge courtes

3.2.2 Lignes de retour après des purgeurs

Elles transportent des condensats, des gaz incondensables, de la vapeur de revaporisation du purgeur au réseau de retour de condensat (Figure 107). La vapeur de revaporisation se forme à cause de la perte de charge à travers l'orifice du purgeur, provoquée par la différence de pression entre la vapeur et les réseaux de condensat.

Pendant le démarrage d'un réseau vapeur, le condensat sera refroidi avec peu ou pas de vapeur de revaporisation, mais le débit de condensation sera maximal, et l'air passera avec le condensat.

Ensuite, comme le réseau se réchauffe, le débit de vapeur devient maximal, la pression dans l'espace vapeur sera à son maximum, et la quantité de vapeur de revaporisation évacuée dans la ligne de retour immédiatement après le purgeur sera aussi à son maximum. C'est la raison pour laquelle les lignes de retour en aval des purgeurs sont dimensionnées à partir des conditions de débit maximal. En faisant cela, la tuyauterie sera correctement dimensionnée pour les débits de démarrage et permettra une purge efficace des gaz incondensables.

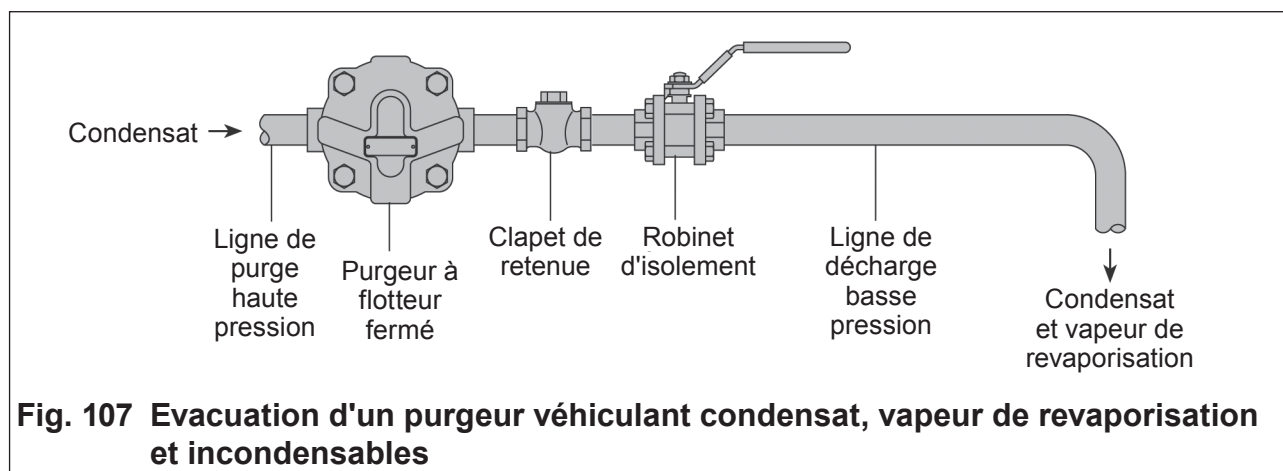


Fig. 107 Evacuation d'un purgeur véhiculant condensat, vapeur de revaporisation et incondensables

3.2.3 Purge dans des lignes de retour noyées

Il vaut mieux éviter que les purgeurs évacuent dans des réseaux de retour noyés, spécialement les purgeurs par chasse purgeant des tuyauteries vapeur à la température de saturation. Les lignes de condensat ascendantes et les lignes de condensat pompées suivent souvent la même trajectoire que les lignes vapeur, et il est tentant d'y raccorder simplement les lignes de retour du purgeur. Le volume élevé de vapeur de revaporisation évacué dans des lignes longues noyées, pousseront l'eau violemment dans les tuyauteries, provoquant coups de bélier, bruit et en dernière extrémité, la détérioration mécanique des tuyauteries. La solution est d'éviter d'évacuer dans des lignes noyées et de retourner le condensat et la vapeur de revaporisation avec des lignes dont la pente est au moins de 1/70 vers un collecteur dégazé, à partir duquel il peut être pompé.

3.2.4 Lignes de retour communes

Lorsque les condensats provenant de plus d'un purgeur s'écoulent vers le même point de collecte comme un collecteur dégazé, il est possible d'installer une ligne commune dans laquelle les lignes individuelles peuvent être évacuées, dans la mesure où certaines conditions sont satisfaites et où la tuyauterie est correctement dimensionnée. Pour les raccordements à une ligne commune, des liaisons en sifflet aideront à réduire les contraintes mécaniques et l'érosion de la soudure (Figure 108).

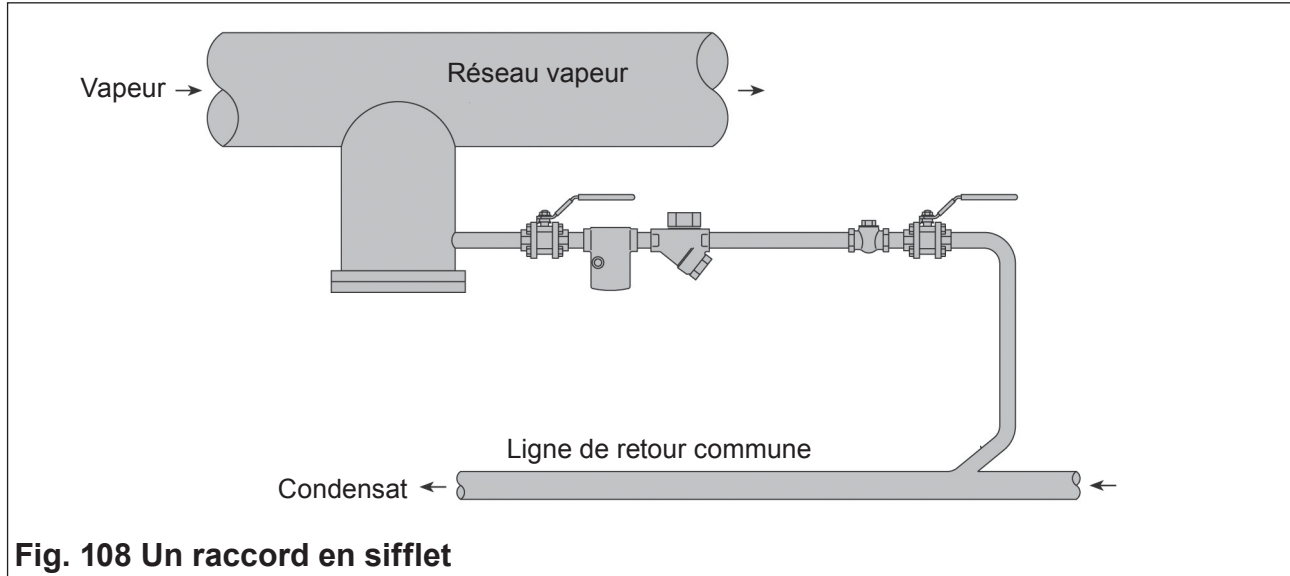


Fig. 108 Un raccord en sifflet

Si ce n'est pas possible, utiliser un purgeur à flotteur fermé pour évacuer les condensats dans la ligne noyée (Figure 109). L'énergie dissipée par le débit continu relativement faible provenant du purgeur à flotteur fermé peut normalement être absorbée par la ligne noyée, spécialement si le purgeur refoule dans la tuyauterie noyée avec un diffuseur.

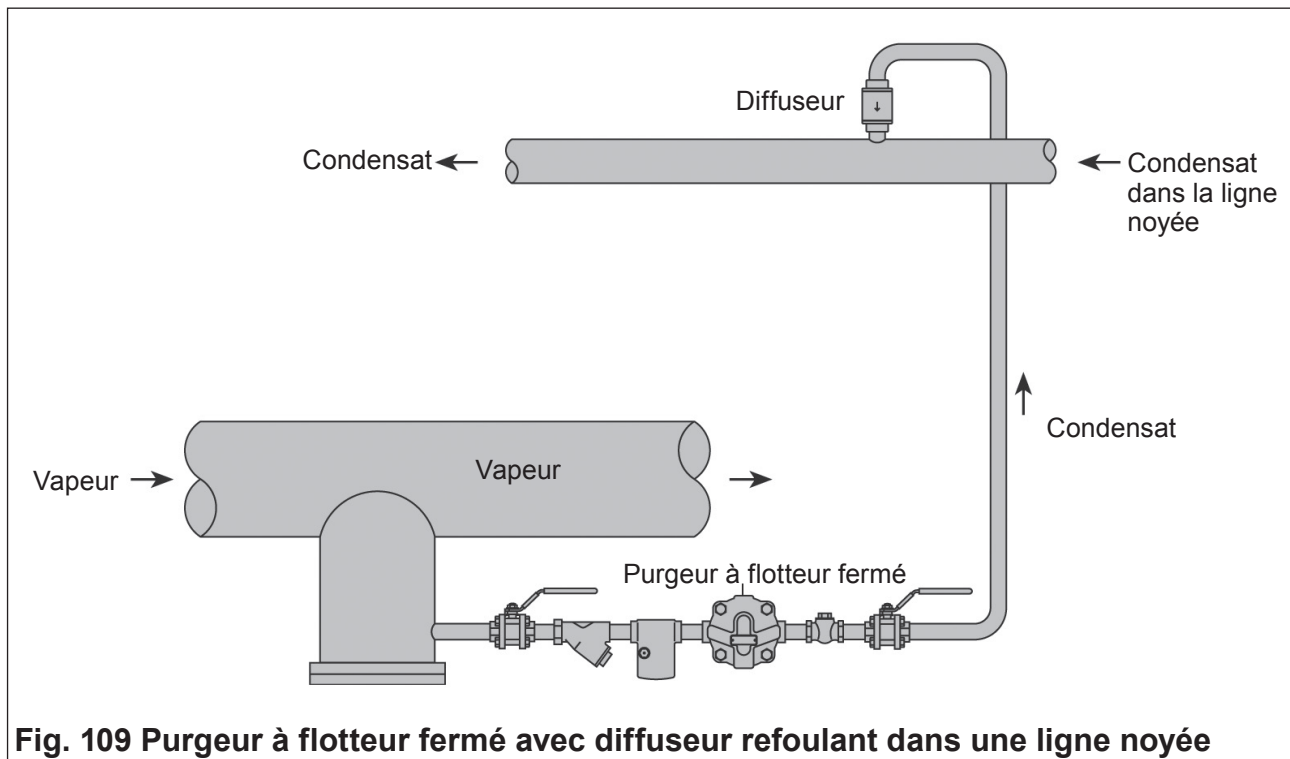
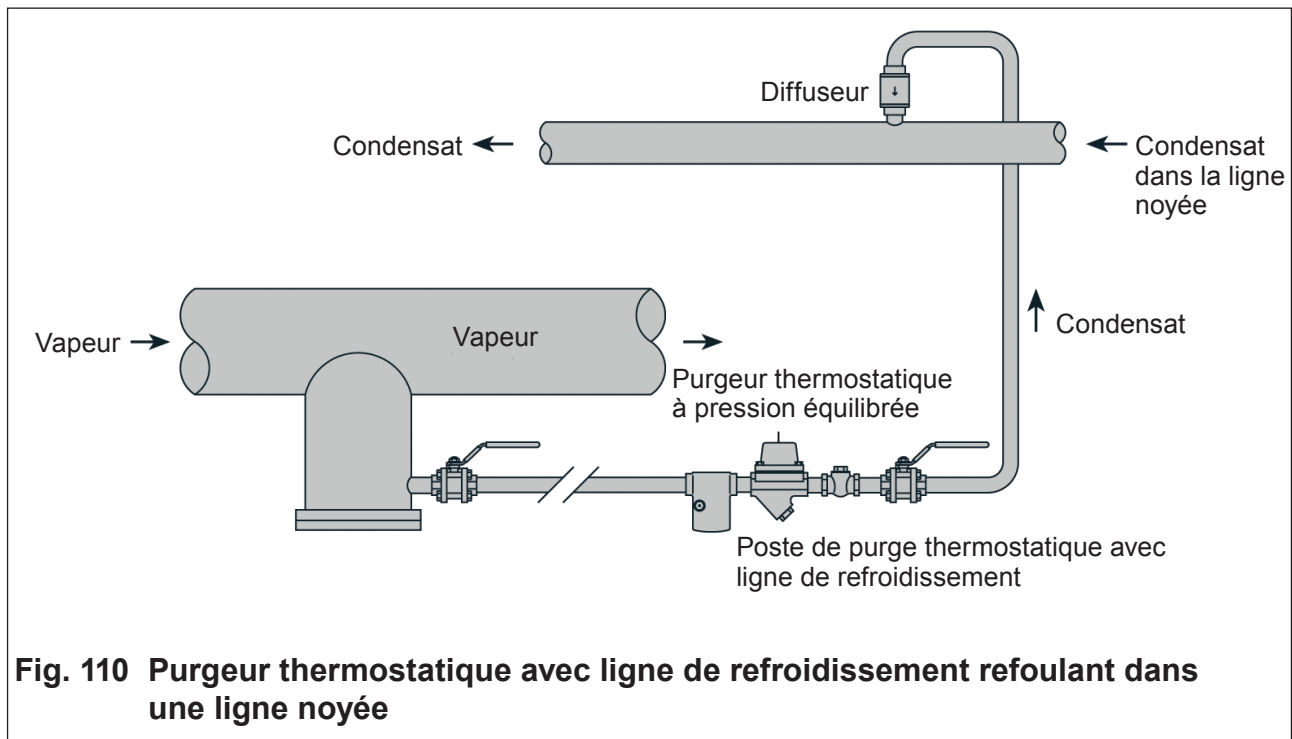


Fig. 109 Purgeur à flotteur fermé avec diffuseur refoulant dans une ligne noyée

Une alternative est d'utiliser un purgeur thermostatique qui retient le condensat jusqu'à ce qu'il soit refroidi en dessous de la température de saturation de la vapeur réduisant ainsi la quantité de vapeur de vaporisation formée (Figure 110). Pour éviter l'engorgement du réseau vapeur, l'utilisation d'une poche de collecte importante sur le réseau et une ligne de refroidissement non calorifugée de 2 à 3 mètres vers le purgeur est essentielle. La ligne de refroidissement permet de stocker le condensat pendant qu'il se refroidit à la température d'évacuation. S'il existe un danger d'engorgement du réseau, il ne faut pas utiliser cette méthode.



Installation avec température régulée et purgeurs refoulant dans des lignes noyées.
 Faire attention au cas où le condensat, sortant de purgeurs d'installation avec température régulée, est évacué dans des lignes noyées. La contre-pression pourrait avoir un effet contraire sur le rendement du purgeur et l'efficacité du process (Figure 111).

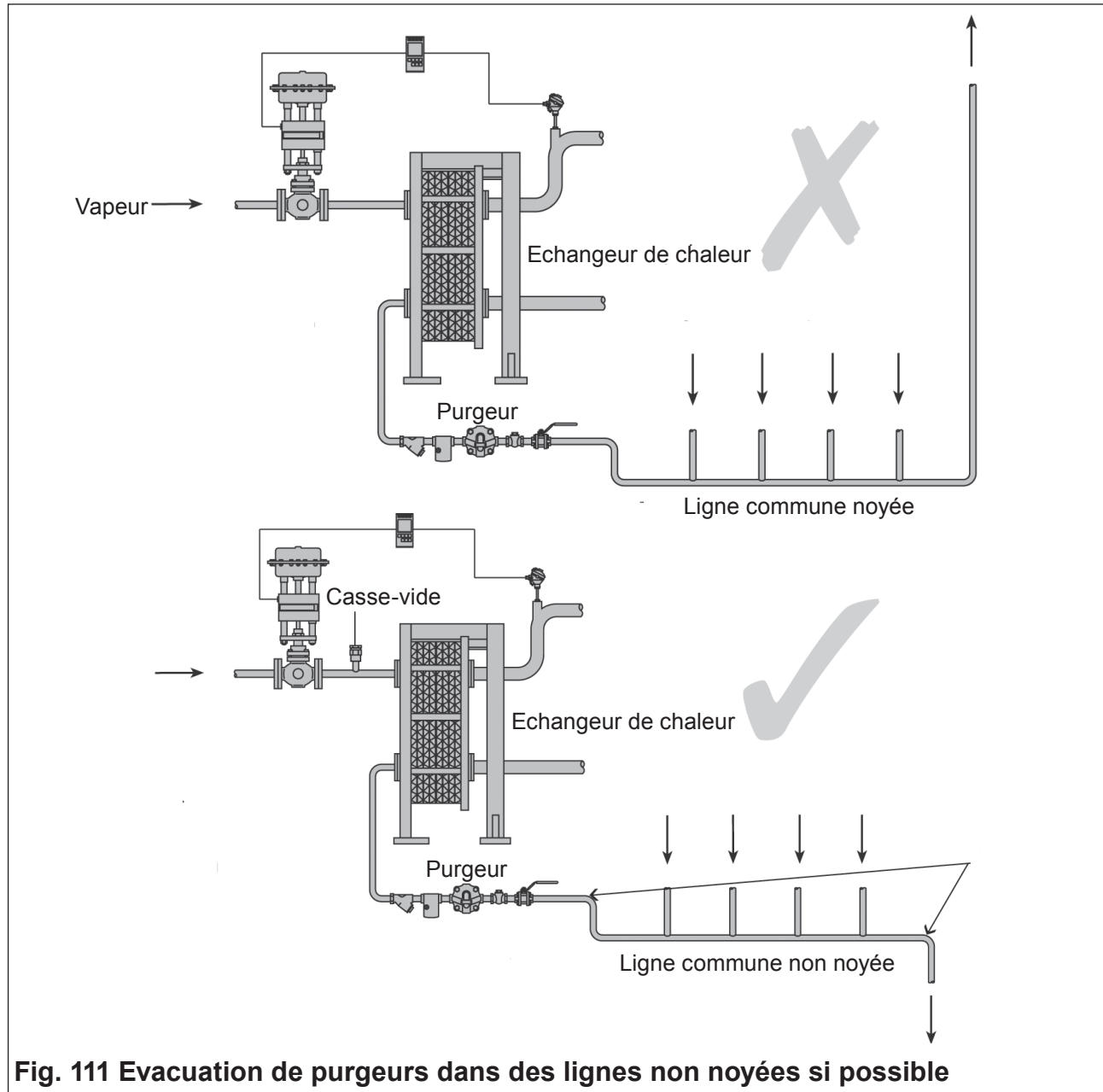


Fig. 111 Evacuation de purgeurs dans des lignes non noyées si possible

3.2.5 Dimensionner les lignes de condensat

Comme mentionné précédemment, les quatre cas principaux pour dimensionner les lignes de condensat sont :

Types de ligne	Tuyauterie dimensionnée pour transporter :
• Lignes de purge vers purgeurs	Condensat
• Lignes de retour après des purgeurs	Vapeur de revaporisation
• Lignes de retour communes	Vapeur de revaporisation
• Lignes de retour pompées	Condensat pompé

3.2.6 Dimensionner les lignes de retour après des purgeurs

La section de tuyauterie en aval du purgeur transportera condensat et vapeur de revaporisation à la même pression et à la même température. Cette situation complexe est appelée " débit bi-phasique ", où le mélange des fluides aura les caractéristiques de la vapeur et de l'eau, en fonction des proportions de chacune des phases. Considérons par exemple le cas où 10 % de condensat forme de la vapeur de revaporisation.

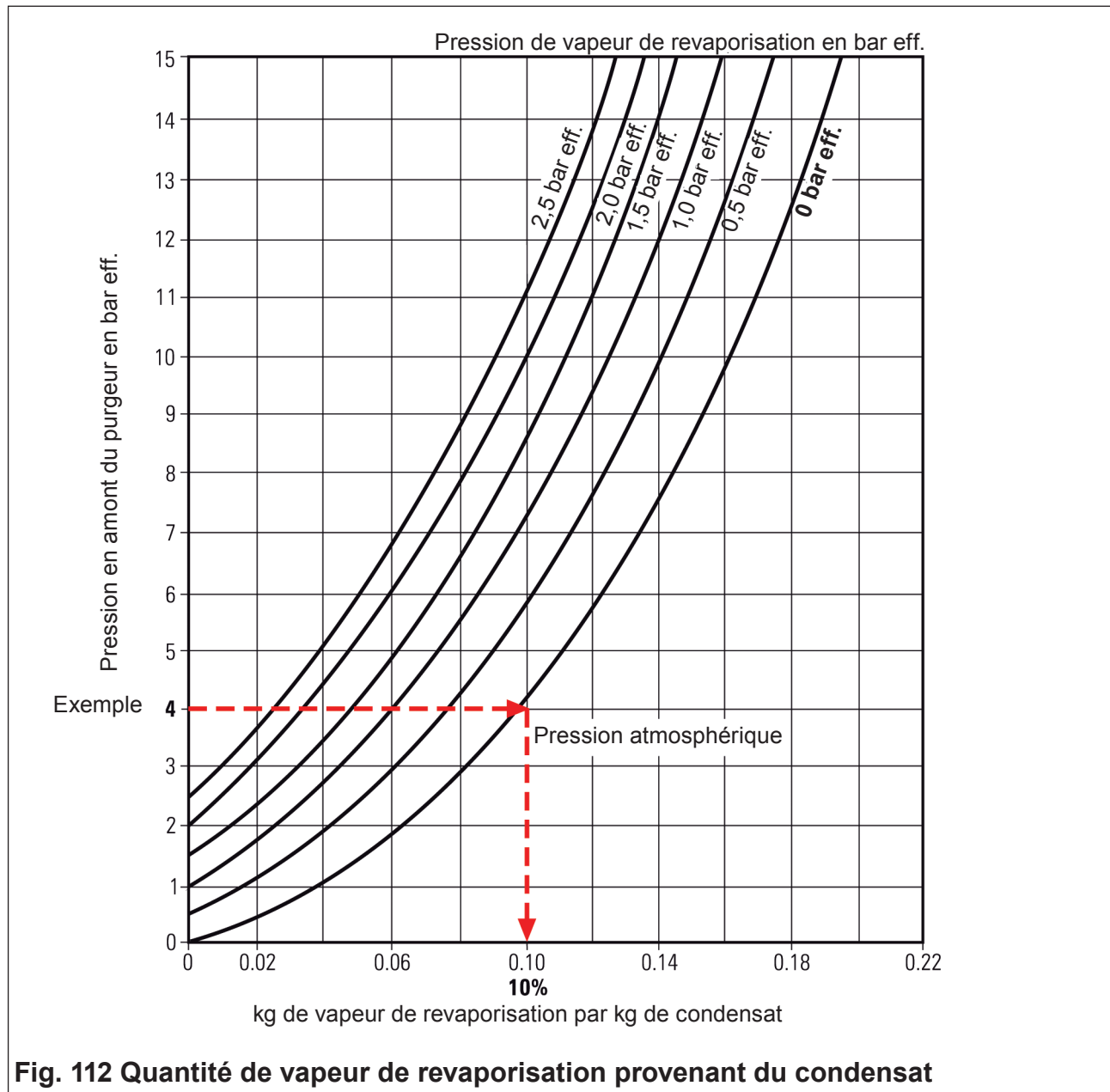


Fig. 112 Quantité de vapeur de revaporisation provenant du condensat

Lorsque chaque kg de condensat à 4 bar eff. passe à travers le purgeur, 0,1 kg se transformera en vapeur à 100 °C, et 0,9 kg se transformera en eau à 100 °C. Toutefois, les volumes respectifs dépendront du volume spécifique de chacune des phases à la pression de la ligne (0 bar eff).

0,9 kg de condensat aura un volume = 0,0009 m³

0,1 kg de vapeur de revaporisation aura un volume de = 0,1673 m³
 0,1 kg >< 1,673 m³/kg (volume spécifique à 0 bar eff)

Volume total de 1 kg du mélange = 0,1682 m³

Le volume d'eau dans la ligne est : $\frac{0,0009}{0,1682} \times 100 = 0,5 \%$

et le % de volume de vapeur de revaporisation est : $\frac{0,1673}{0,1682} \times 100 = 99,5 \%$

Il s'ensuit que le débit du fluide dans cette tuyauterie a plus en commun avec la vapeur qu'avec l'eau, et il est préférable de dimensionner pour des vitesses de vapeur raisonnables plutôt que pour le volume de condensats relativement faible. Si les tuyauteries sont sous dimensionnées, les vitesses de la vapeur de revaporisation et la contre-pression augmenteront, ce qui provoquera des coups de béliers et réduira le débit du purgeur.

Les tuyauteries sont dimensionnées en faisant attention aux vitesses maximales. La vapeur saturée sèche peut se déplacer sans risque jusqu'à 40 m/s. La vapeur humide doit se déplacer un peu plus lentement (15 à 25 m/s) car elle transporte de l'humidité qui peut éroder et détériorer les raccords et les vannes si elle se déplace trop vite. De même, les lignes de retour peuvent être considérées comme des lignes de vapeur transportant de la vapeur très humide, et doivent être dimensionnées pour des vitesses similaires.

Les lignes de retour de condensat en aval des purgeurs sont notoirement plus complexe à dimensionner que les lignes de vapeur à cause des caractéristiques de l'écoulement biphasique. En pratique, il est impossible de déterminer avec certitude ce qui se passe dans la tuyauterie.

Bien que la quantité de vapeur de revaporisation produite soit liée à la différence de pression dans le purgeur, il y a d'autres facteurs qui auront quelque influence sur ce qui se passe dans la tuyauterie. Par exemple :

- Si, pour quelque raison, le condensat en amont du purgeur est plus froid que la température de saturation, la quantité de vapeur de revaporisation qui se forme après le purgeur est réduite. Cela peut réduire la taille nécessaire de la tuyauterie.
- Si la tuyauterie est descendante après le purgeur vers son extrémité, le degré de l'inclinaison aura une incidence sur le débit du condensat, mais de quelle importance, et comment peut-elle être quantifiée ?
- Sur des lignes plus longues, les pertes par radiation des tuyauteries peuvent condenser une partie de la vapeur de revaporisation, son volume diminuera ainsi que sa vitesse, et cela peut être une raison pour réduire la taille de la tuyauterie. Mais à quel point doit-elle être réduite et de combien ?
- Si la ligne de retour monte vers un collecteur, il y aura des périodes où la ligne ascendante sera pleine de condensat froid et des périodes où la vapeur de revaporisation provenant du purgeur évaporera une partie ou la totalité de ce condensat. La ligne doit-elle être dimensionnée par rapport à la vitesse de la vapeur de revaporisation ou par rapport à la quantité de condensat ?
- La plupart des process fonctionnent en dessous de leur condition de débit maximal pendant une grande partie de leur cycle de fonctionnement, ce qui réduit la quantité de vapeur de revaporisation produite la plupart du temps. Le dimensionnement doit-il être basé sur la condition de débit maximal sans savoir la fréquence et du peu de temps à laquelle elle se produit ?
- Sur une installation thermorégulée, la pression différentielle dans le purgeur se modifiera elle-même selon la charge thermique. Cela affectera la quantité de vapeur de revaporisation produite en ligne.

A cause de la nature conflictuelle de tous ces cas, un calcul exact de la taille de la ligne sera complexe et probablement imprécis. En pratique, l'expérience a montré que si les lignes de retour des purgeurs sont dimensionnées sur des vitesses de vapeur de revaporisation confortables et conformément à certaines recommandations, il y aura peu de problèmes.

3.2.7 Recommandations concernant les lignes d'évacuation des purgeurs

- Les lignes d'évacuation des purgeurs correctement dimensionnées avec une pente dans la direction du débit et une extrémité ouverte, ne sont pas noyées et permettent à la vapeur de revaporisation de passer sans obstacle au-dessus du condensat. (Figure 113). Une pente minimale de 1 pour 70 (soit une pente de 150 mm tous les 10 mètres) est recommandée. Une vérification visuelle simple confirmera généralement si la ligne est inclinée - si aucune inclinaison n'est apparente, elle n'est pas assez inclinée !

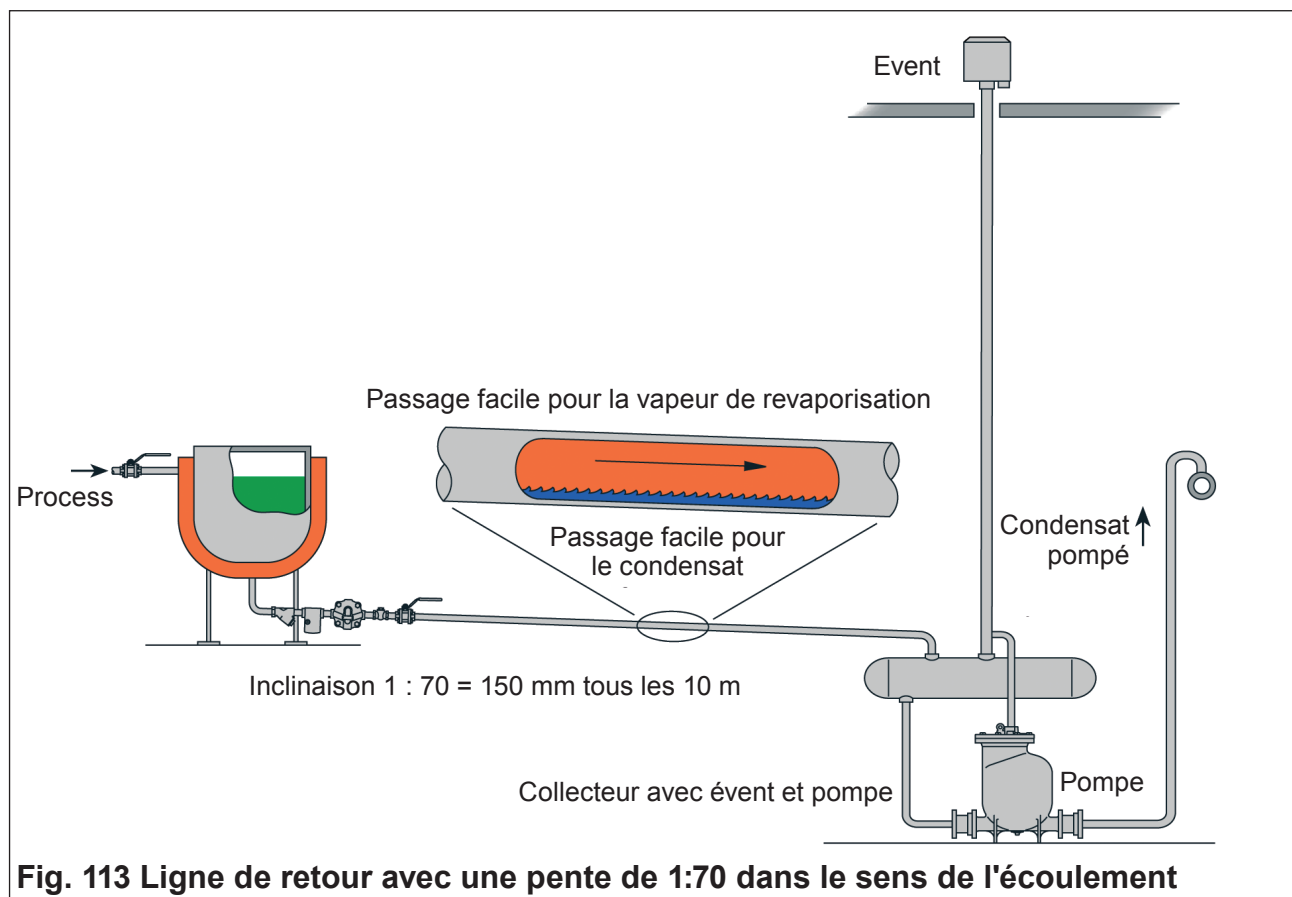
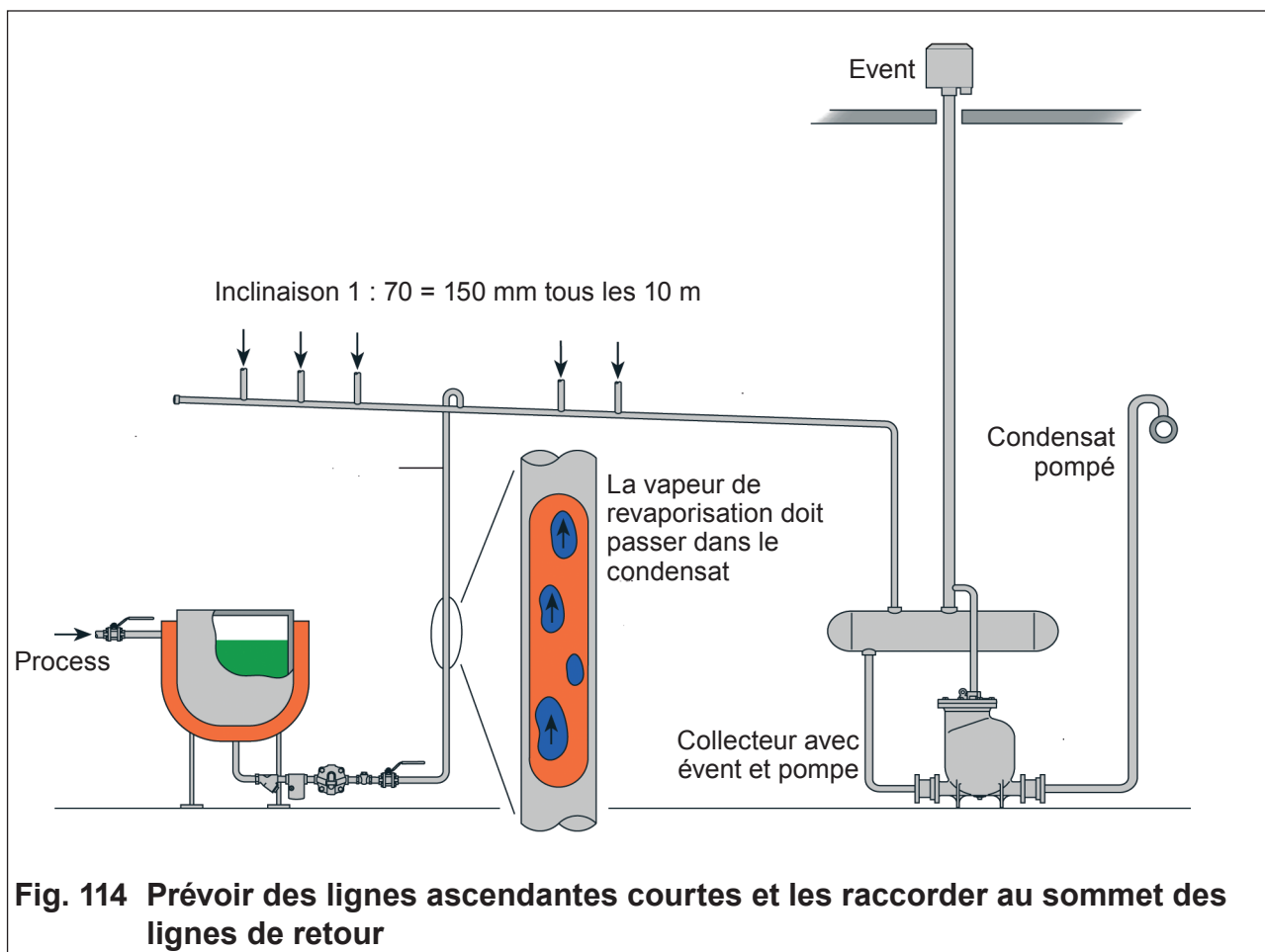


Fig. 113 Ligne de retour avec une pente de 1:70 dans le sens de l'écoulement

- Si ce n'est pas possible, les lignes ascendantes non pompées (Figure 114) doivent être les plus courtes possibles et installées avec un clapet de non-retour pour empêcher le retour des condensats dans le purgeur. Elles doivent être raccordées à la partie supérieure des lignes de retour pour permettre un passage facile de la vapeur de revaporisation. Il est raisonnable d'envisager des sections de tuyauteries légèrement plus grandes ayant des vitesses de vapeur de revaporisation plus basses pour réduire les risques de coups de bélier et de bruit provenant de la vapeur essayant de trouver un passage à travers le condensat liquide dans la tuyauterie ascendante.

Important : Une ligne ascendante doit seulement être utilisée lorsque la pression de la vapeur la plus basse dans le process est plus élevée que la contre-pression totale du condensat.



- Les lignes de retour doivent aussi avoir une inclinaison descendante et ne doivent pas être noyées (Figure 114). Pour éviter la production de vapeur de revaporisation dans les lignes de retour noyées, le condensat chaud provenant des lignes d'évacuation des purgeurs doit être évacué dans des collecteurs avec évent (ou vases de revaporisation si appropriés), à partir desquels il peut être pompé vers sa destination finale par une ligne noyée à température plus basse.

3.2.8 Abaque de dimensionnement de tuyauterie de condensat (Figure 114)

L'abaque de dimensionnement des tuyauteries de condensat peut être utilisé pour dimensionner tout type de ligne de condensat.

- Les tuyauteries contenant un débit biphasique, telles que les lignes d'évacuation de purgeur, sont sélectionnées selon les pressions de chaque côté du purgeur. L'abaque fonctionne avec des vitesses de vapeur de revaporisation normales suivant la taille des tuyauteries et le pourcentage de vapeur de revaporisation formée.
- L'abaque peut être utilisé avec des températures plus basses que la température de saturation de vapeur, comme cela peut être le cas en utilisant des purgeurs de vapeur thermostatique pour l'évacuation du condensat.
- Les tailles des tuyauteries peuvent être estimées pour des lignes de condensat pompés contenant du condensat inférieur à 100°C, comme présenté sur l'exemple 5. De même, des lignes de purge courtes vers les purgeurs (moins de 5 mètres) peuvent être déterminées de la même manière.

Note : dans le cas de lignes de condensat pompés, la perte de charge et la vitesse doivent toujours être contrôlées en reportant le débit de condensat et la taille de la tuyauterie.

- L'abaque est utilisé pour dimensionner les lignes de retour pour des conditions de débit maximal. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des facteurs de surdimensionnement pour un débit de démarrage ou pour l'évacuation des gaz incondensables.

3.2.9 Utiliser l'abaque

Sur l'abaque du bas, établir le point où les pressions vapeur et condensat se rencontrent. Se déplacer verticalement vers le haut sur l'abaque du haut pour choisir le débit de condensat. Si la ligne de retour descend (non-noyée) et la sélection est sur ou entre les lignes, sélectionner la taille de la ligne la plus basse. Si la ligne de retour monte (noyée), choisir la taille de ligne la plus haute (Figure 115).

Quelques exemples de dimensionnement de lignes de retour de purgeur sont donnés ci-après.

Note : le raisonnement pour le dimensionnement d'un purgeur est différent de celui d'une ligne de retour, et il est parfaitement normal qu'une ligne d'évacuation de purgeur ait une taille différente de celle du purgeur correspondant. Toutefois, les équipements auxiliaires associés au poste de purge, comme les robinets d'isolement, les filtres, les chambres de test du purgeur, et les clapets anti-retour peuvent être de la même taille que le purgeur quelle que soit la taille de la ligne de retour.

Un abaque de dimensionnement de la ligne de condensat est fourni au paragraphe 3.6

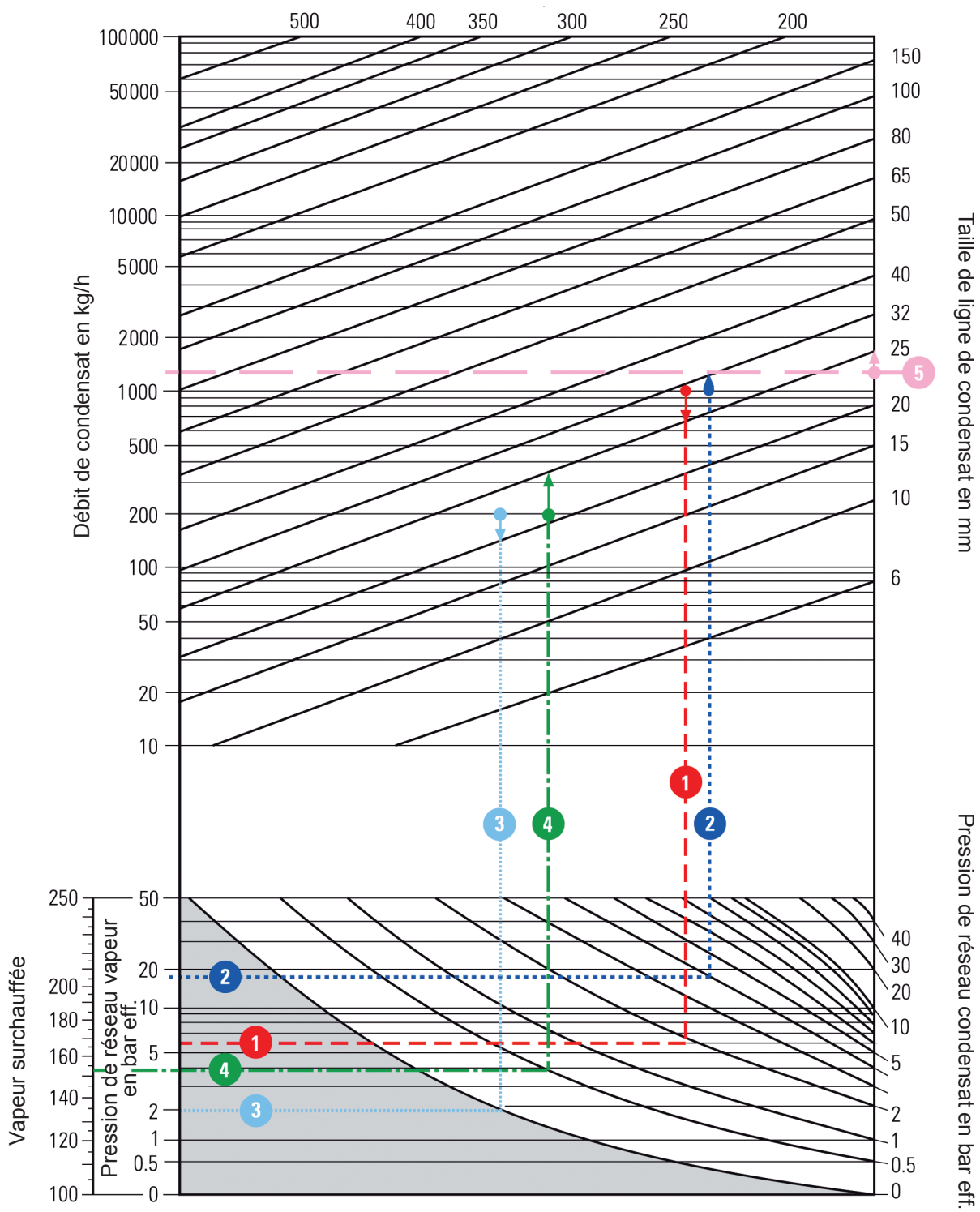
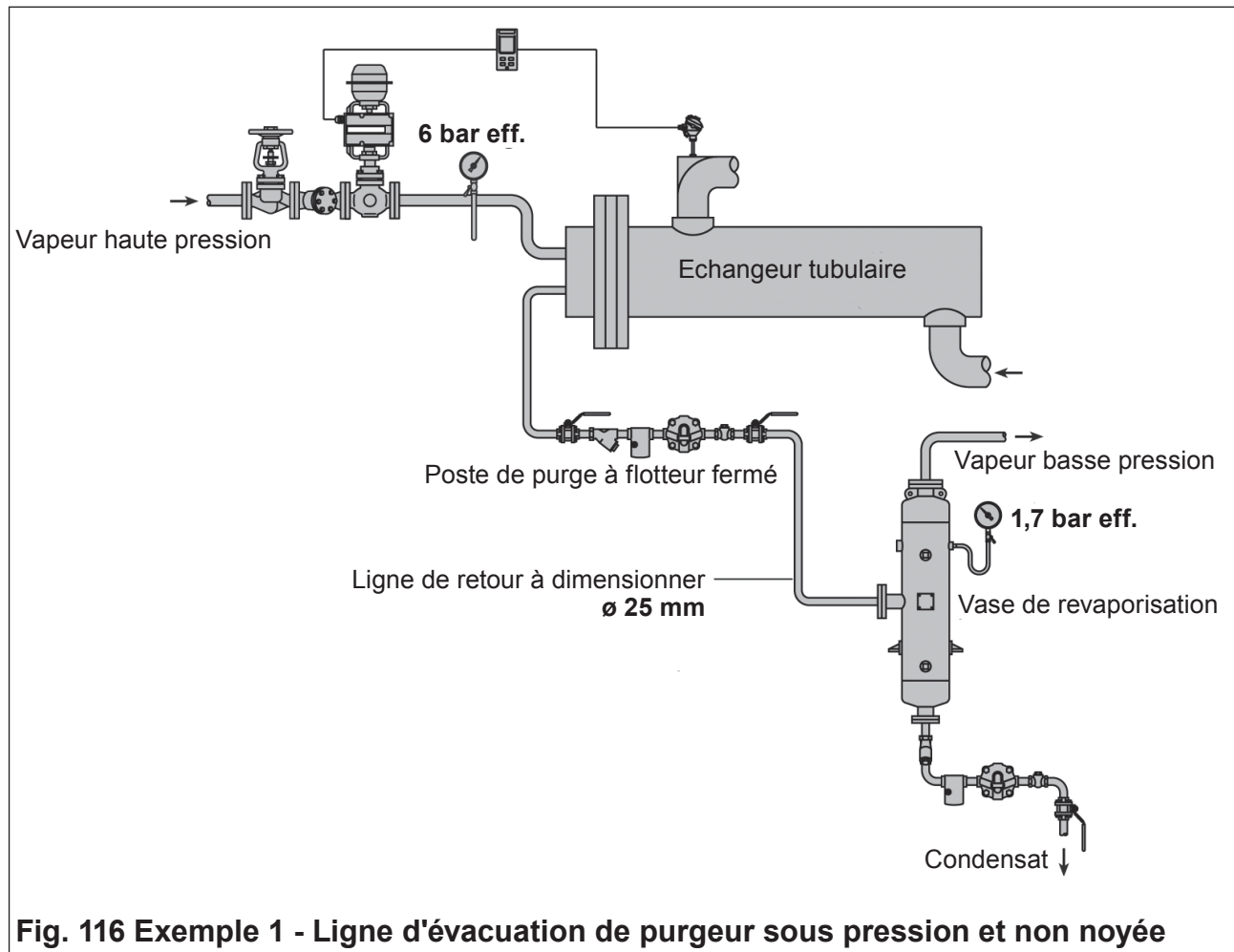


Fig. 115 Abaque de dimensionnement de ligne de condensat

3.2.9.1 Exemple 1

Un purgeur de vapeur évacue un débit de 1 000 kg/h sous une pression de vapeur saturée de 6 bar eff. dans une ligne de retour inclinée vers un vase de revaporisation à 1,7 bar eff.



Comme la ligne de retour n'est pas noyée, le nombre le plus bas (25 mm) est sélectionné à partir de l'abaque.

3.2.9.2 Exemple 2

Un purgeur de vapeur évacue un débit de 1000 kg/h sous une pression de vapeur saturée de 18 bar eff dans une ligne de retour ascendante sur 5 m de hauteur jusqu'à une ligne de retour de condensat à 3,5 bar eff.

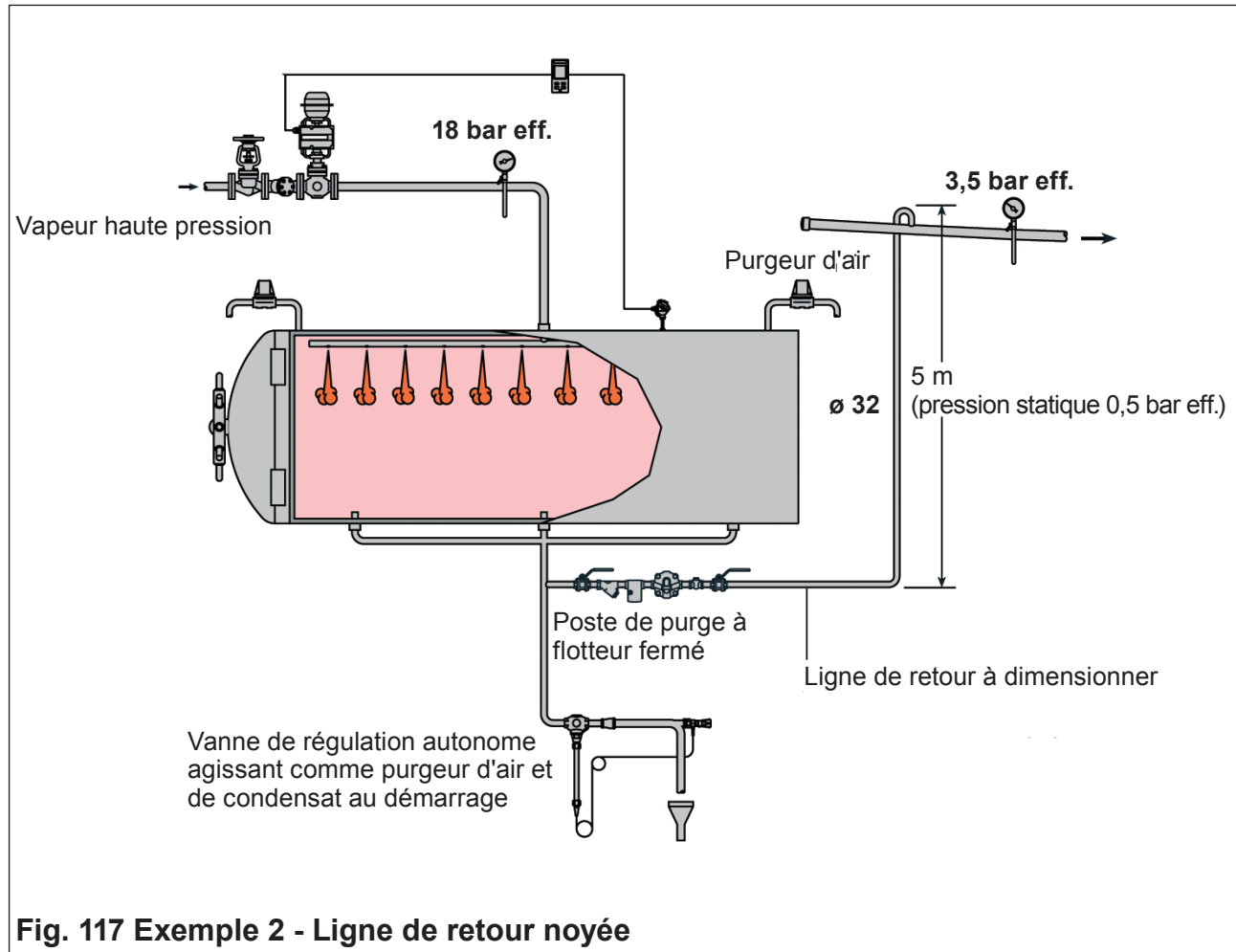


Fig. 117 Exemple 2 - Ligne de retour noyée

Ajouter une pression statique de 0,5 bar (hauteur 5 mètres) à la pression de condensat de 3,5 bar pour donner une contre pression de 4 bar eff.

Comme la ligne de retour monte et donc est noyée, le nombre le plus haut de 32 mm est sélectionné sur l'abaque.

3.2.9.3 Exemple 3

Un purgeur de vapeur évacue un débit de 200 kg/h sous une pression de vapeur saturée de 2 bar eff. dans une ligne de retour descendante vers un collecteur de condensat dégazé à la pression atmosphérique.

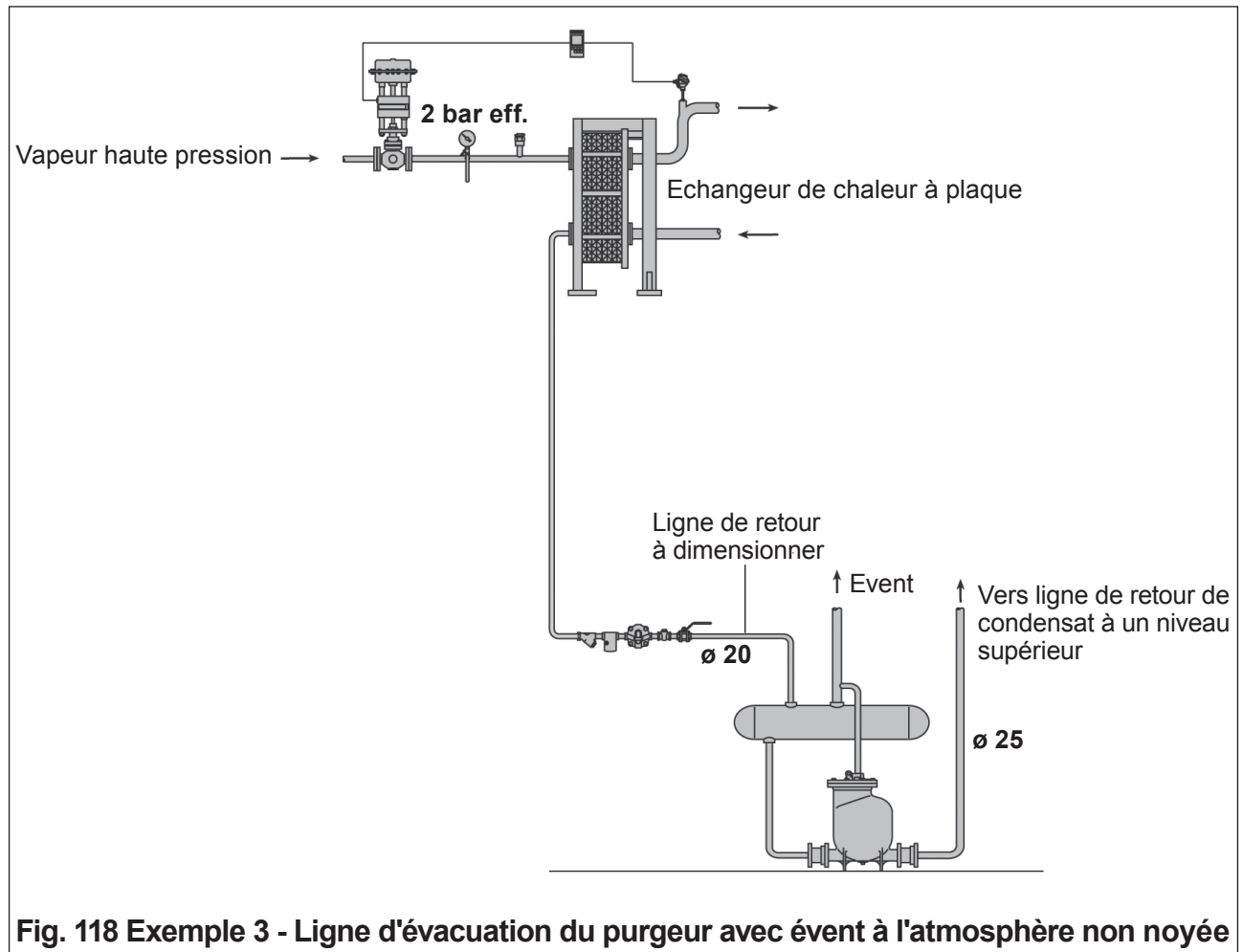


Fig. 118 Exemple 3 - Ligne d'évacuation du purgeur avec événement à l'atmosphère non noyée

Comme la ligne n'est pas noyée, le nombre le plus bas de 20 mm est sélectionné dans l'abaque.

3.2.9.5 Exemple 5

La ligne de retour de la pompe automatique de condensat présentée dans l'exemple 3 peut aussi être dimensionnée avec l'abaque. Le débit de purge de la pompe est dimensionné à 6 fois le débit d'entrée maximal, dans ce cas :

$$6 \gg 200 \text{ kg/h} = 1200 \text{ kg/h}$$

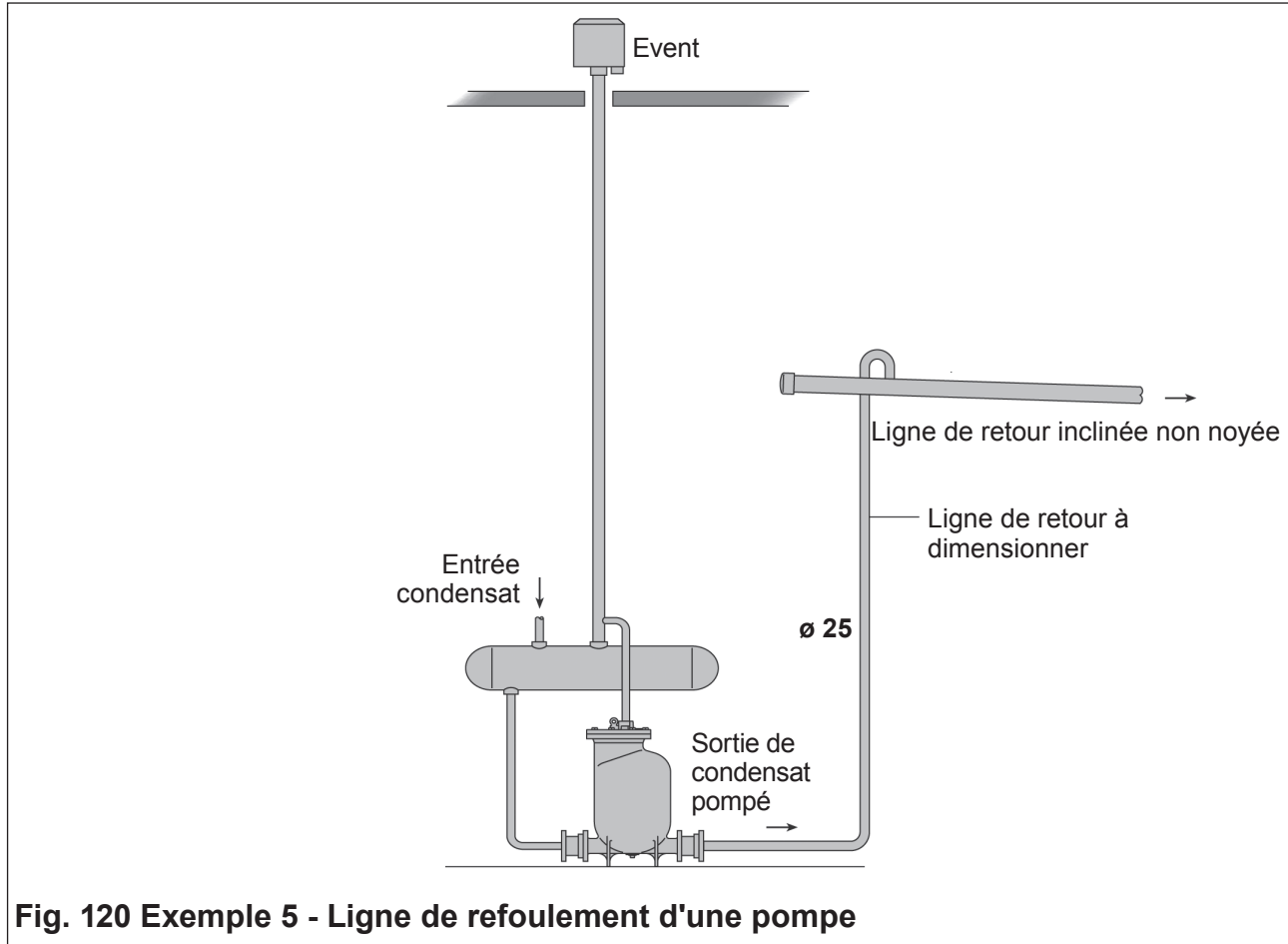


Fig. 120 Exemple 5 - Ligne de refoulement d'une pompe

Parce que le condensat a perdu son contenu en vapeur de revaporisation à l'atmosphère via l'évent du collecteur, la pompe pompera uniquement le condensat liquide. Dans cet exemple, il est nécessaire d'utiliser le graphique haut comme présenté sur cet exemple. Comme la ligne de refoulement de la pompe est ascendante, le nombre le plus élevé de 25 mm est sélectionné. Une solution pratique pour des lignes de 100 m ou moins est de sélectionner la ligne de refoulement avec la même taille que la pompe. Pour des détails supplémentaires, se référer aussi à la dernière section concernant le pompage de condensat.

3.2.9.6 Exemple 6

Un purgeur thermostatique à pression équilibrée purge une table chauffante fonctionnant avec une pression de vapeur constante à 2,6 bar eff. Il évacue les condensats sous-refroidis de 20°C par rapport à la température de saturation par une ligne de sous-refroidissement de 2 mètres de longueur. Le purgeur purge vers une ligne de condensat non noyée placée 2 mètres au-dessus du purgeur. Le débit maximum est de 100 kg/h.

La température de saturation de la vapeur à 2,6 bar eff. est de 140°C, la température à la sortie du purgeur sera d'environ 120°C. L'abaque est utilisé avec l'échelle de température à 120°C plutôt qu'avec l'échelle de pression.

La contre-pression de 2 m contribue à la contre-pression totale de 0,2 bar eff.

Comme la ligne de retour du purgeur monte, le nombre le plus élevé de 15 mm est choisi.

3.2.10 Dimensionnement des lignes de retour communes

Il est quelquefois nécessaire de raccorder plusieurs lignes de retour provenant de process indépendants dans une ligne de retour commune. Il n'y aura pas de problèmes si les remarques suivantes sont prises en compte :

- la ligne commune n'est pas noyée et les pentes sont dans le sens de l'écoulement vers une extrémité ouverte ou vers un collecteur avec évent à l'atmosphère ou dans un vase de revaporisation si les conditions le permettent.
- le diamètre de la ligne commune est dimensionné par rapport au cumul des tailles des lignes d'arrivée de condensat.

La section de la ligne de retour commune est égale à la somme des sections des lignes d'arrivée de condensat.

3.2.10.1 Exemple 1

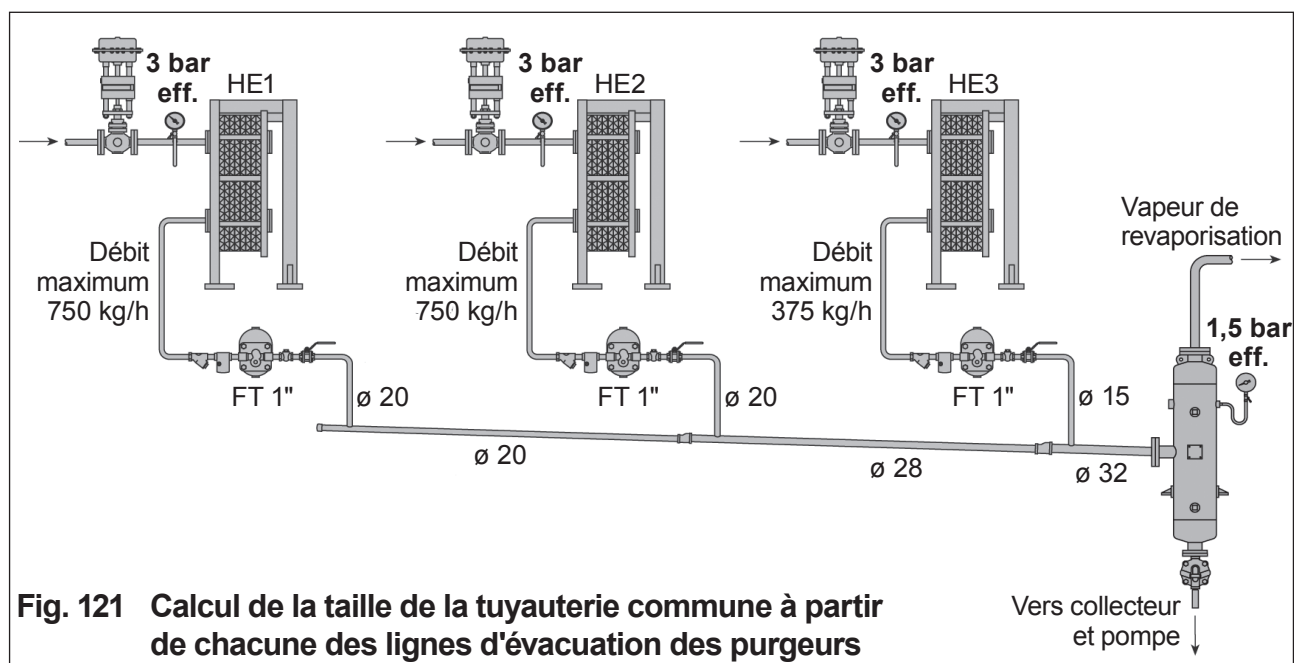
L'exemple présente trois échangeurs de chaleur, chacun étant régulé séparément et chacun fonctionnant au même moment. Les débits présentés sont des débits de condensat à charge maximale et se produisent avec 3 bar eff. dans l'espace vapeur. La ligne de retour commune est inclinée vers le vase de revaporisation à 1,5 bar eff situé dans le même local. Le condensat du vase revaporisation est évacué par un purgeur à flotteur fermé vers un collecteur avec évent à l'atmosphère d'où il est directement pompé vers la chaufferie.

Les lignes d'évacuation des purgeurs sont dimensionnées par rapport au débit maximal avec une pression de vapeur à 3 bar eff. et une pression du condensat à 1,5 bar eff. Comme chaque ligne n'est pas noyée, les tailles de tuyauterie sont prises sur les courbes inférieures du graphique.

Tuyauterie 1 prise à 20 mm, tuyauterie 2 à 20 mm, tuyauterie 3 à 15 mm.

Ligne commune pour 1 + 2 $\sqrt{20^2 + 20^2} = 28 \text{ mm}$

Ligne commune pour (1 + 2) + 3 $\sqrt{28^2 + 15^2} = 32 \text{ mm}$



La dimension théorique de 28 mm pour la tuyauterie commune 1 + 2 n'existe pas en diamètre nominal des tuyauteries. Les diamètres internes des tuyauteries peuvent être plus ou moins larges que le diamètre nominal en fonction du schedule des tuyauteries. Par exemple, pour une tuyauterie en acier au carbone suivant DIN 2448, le diamètre interne pour un DN de 25 mm est d'environ 28,5 mm, alors que pour une tuyauterie DN25 schedule 40, il est d'environ 26,6 mm. De façon pratique, une tuyauterie DN25 mm peut être confortablement sélectionnée.

3.2.10.2 Exemple 2

Exemple de calcul de la taille de ligne commune (Figure 122).

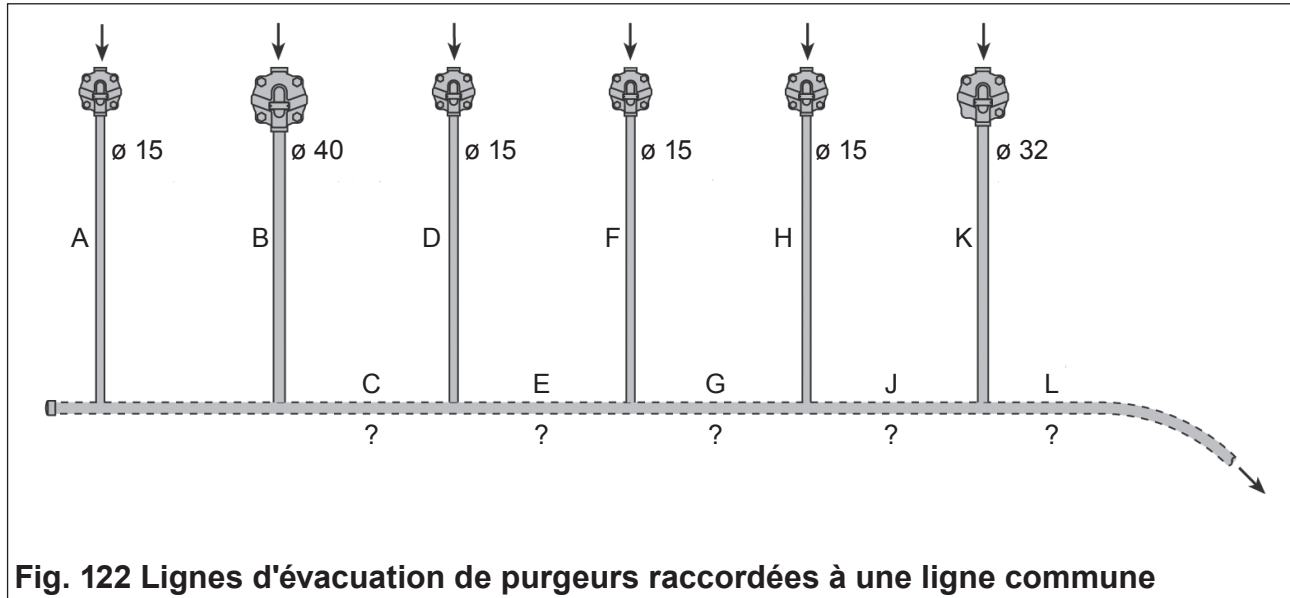


Fig. 122 Lignes d'évacuation de purgeurs raccordées à une ligne commune

Ligne	Taille (mm)	Taille commerciale (DN)
A	15	
B	40	
C	$\sqrt{15^2 + 40^2} = 42,7$	40
D	15	15
E	$\sqrt{15^2 + 42,7^2} = 45,2$	40
F	15	15
G	$\sqrt{15^2 + 45,2^2} = 47,6$	50
H	15	15
J	$\sqrt{15^2 + 47,6^2} = 49,9$	50
K	32	32
L	$\sqrt{32^2 + 49,9^2} = 59,3$	65

Choisir la taille de tuyauterie disponible dans le commerce, la plus proche possible de la taille calculée. Cela peut signifier un sous dimensionnement dans certains cas, mais cela ne posera pas de problèmes grâce à la diversité des débits des autres lignes.

3.2.11 Dimensionnement de lignes de retour avec pompe

La vapeur de revaporisation, séparée du condensat, sera utilisée dans un système de récupération de vapeur de revaporisation ou simplement évacuée à l'atmosphère. Le condensat chaud restant doit être pompé vers la chaufferie où son contenu énergétique et sa pureté pourront être correctement réutilisés.

La ligne de retour avec pompe transportera seulement le condensat mais à des vitesses plus basses (généralement 1-2 m/s) que celles utilisées dans l'évacuation du purgeur et les lignes communes. Comme représenté dans l'exemple 5 (page 132), la ligne d'évacuation de la pompe peut être sélectionnée sur l'abaque de dimensionnement des lignes de condensat ou souvent simplement dimensionnée de la même taille que la sortie de la pompe.

Il est important de rappeler que le débit dans une ligne avec pompe peut être intermittent, à cause des cycles de la pompe. Le débit instantané pendant que la pompe évacue est plus élevé que celui qui entre dans la pompe. C'est la valeur instantanée évacuée qui doit être prise en compte pour les lignes de retour.

3.2.12 Lignes avec pompe de longueurs supérieures à 100 m

L'eau dans des tuyauteries de longueurs supérieures à 100 m développera des forces d'inertie plus importantes à cause de la masse d'eau plus importante qui se déplace pendant le cycle de la pompe. Il est judicieux d'ajouter les conséquences de ce facteur d'inertie aux calculs de perte de charge lors du dimensionnement de ces tuyauteries plus longues lorsque des pompes mécaniques sont utilisées. En règle générale, la tuyauterie doit être au moins supérieure d'un diamètre à celui du clapet anti-retour à la sortie de la pompe.

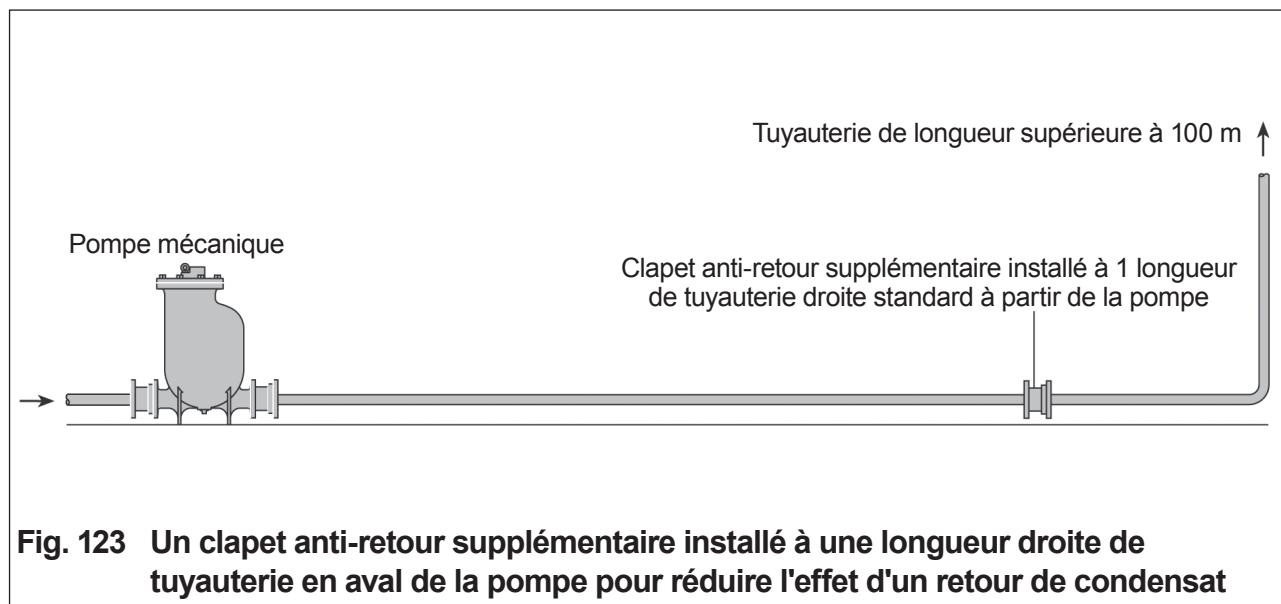


Fig. 123 Un clapet anti-retour supplémentaire installé à une longueur droite de tuyauterie en aval de la pompe pour réduire l'effet d'un retour de condensat

À la fin du cycle de la pompe, le condensat aura tendance à continuer à se déplacer et provoquera souvent un vide en aval du clapet anti-retour à la sortie de la pompe. Lorsque la vitesse du condensat diminue, le vide crée un contre débit soudain sur le clapet anti-retour qui peut, dans des cas extrêmes, provoquer bruit et coups de bélier. Un clapet anti-retour installé à une longueur de tuyauterie en aval du clapet anti-retour en aval de la pompe tend à amortir cette action et protège le clapet anti-retour de la pompe. (Figure 123).

S'il y a le choix, il vaut toujours mieux prévoir une tuyauterie ascendante immédiatement après la pompe sur une hauteur permettant ensuite un écoulement par gravité vers l'extrémité de la tuyauterie (Figure 124). Si la pente est suffisante pour supporter la résistance de friction de la tuyauterie (Figure 126), la seule contre-pression sur la pompe sera formée par la remontée initiale. Un casse-vide peut être installé au sommet de la remontée non seulement pour assister l'écoulement dans la tuyauterie descendante mais aussi pour éviter toute tendance de contre débit à la fin du cycle.

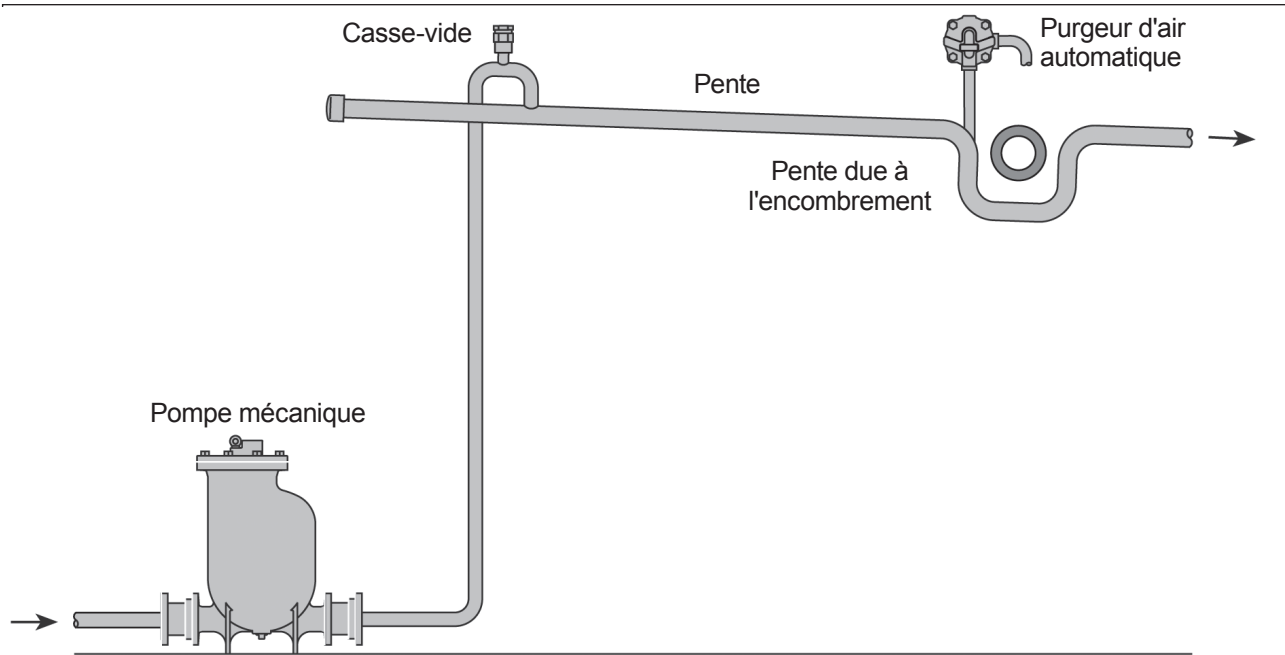


Fig. 124 Meilleur choix - Remontée après la pompe

Si la ligne inclinée rencontre un obstacle le long de sa longueur, un purgeur d'air automatique installé au point le plus élevé aidera le débit autour de cet obstacle.

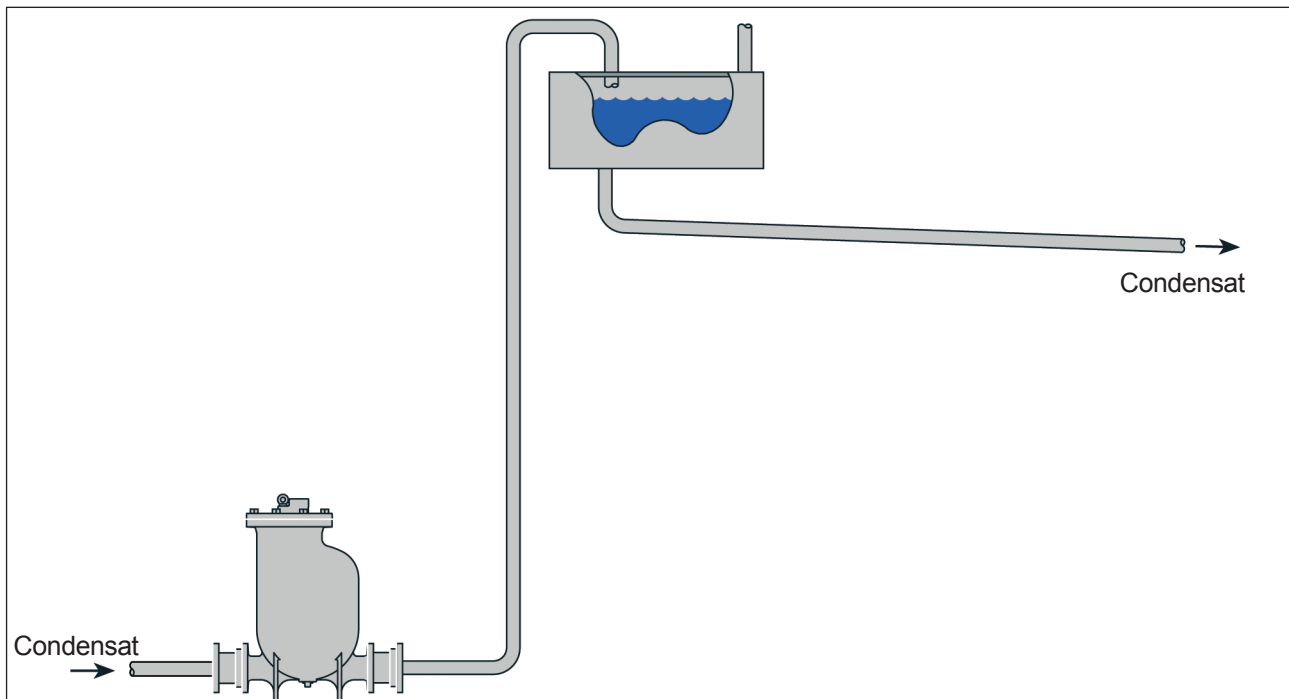


Fig. 125 Autre choix - Remontée après la pompe vers un réservoir intermédiaire

En alternative, tout problème de contre-pression causé par une tuyauterie horizontale peut être entièrement éliminé par une installation telle que celle de la Figure 123 dans laquelle la pompe refoule simplement dans un réservoir intermédiaire. La tuyauterie provenant du réservoir doit être inclinée en conformité avec le tableau de la Figure 126 .

Inclinaison nécessaire de la tuyauterie pour surmonter la friction	Diamètre de tuyauterie (DN en mm)										
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	Litres d'eau par heure										
25 mm en 15 m	48	140	303	580	907	1 950	3 538	5 806	12 610	22 906	37 284
25 mm en 10 m	59	177	381	694	1 134	2 449	4 445	7 257	15 680	28 576	46 492
25 mm en 8 m	69	204	442	800	1 310	2 834	5 148	8 391	18 159	33 089	53 862
25 mm en 6 m	79	231	503	907	1 487	3 220	5 851	9 525	20 638	37 602	61 223
25 mm en 4 m	93	279	598	1 093	1 778	3 878	7 030	11 521	24 811	45 994	73 571
25 mm en 3 m	113	338	730	1 329	2 168	4 672	8 527	13 925	30 073	54 073	89 356
25 mm en 2 m	140	419	907	1 655	2 694	5 851	10 614	17 327	37 421	68 039	111 128
25 mm en 1,75* m	152	454	984	1 793	2 923	6 327	11 498	18 756	40 573	73 708	120 426
25 mm en 1,5 m	165	490	1 061	1 932	3 152	6 804	12 383	20 185	43 726	79 378	129 725
25 mm en 1 m	206	612	1 324	2 404	3 923	8 482	15 422	25 174	54 431	99 019	161 476

* (1:70)

Fig. 126 Inclinaison de la tuyauterie pour surmonter les pertes par friction

3.2.13 Installations de pompes dégazées à l'atmosphère, de purgeurs/ pompes et de combinaisons pompes/purgeurs

Les lignes de retour provenant de pompes avec mise à l'atmosphère sont dimensionnées en fonction du débit d'évacuation de la pompe. Le condensat passant dans les purgeurs-pompes et les combinaisons purgeur/pompe dans les applications en boucle fermée sera souvent à des pressions et des températures plus élevées et de la vapeur de revaporisation se formera dans la ligne de retour.

A cause de cela, les lignes de retour après des purgeurs-pompes, et les combinaisons purgeur et pompe sont dimensionnées pour le débit maximum et non pour les conditions normales de pompage, car la ligne doit être dimensionnée pour gérer la vapeur de revaporisation. Dimensionner par rapport à la vapeur de revaporisation, assurera que la tuyauterie sera capable d'assumer une condition normale de pompage.

3.3 Vapeur de revaporisation

3.3.1 Qu'est-ce que la vapeur de revaporisation et pourquoi doit-elle être utilisée ?

La " vapeur de revaporisation " est libérée du condensat chaud lorsque sa pression diminue. Même l'eau à une température ambiante ordinaire de 20°C pourra bouillir si sa pression est inférieure à 0,02 bar abs et l'eau à 170°C pourra bouillir si la pression est inférieure à 6,9 bar eff.

La vapeur libérée par le process de revaporisation est la même que la vapeur évacuée lorsque de la chaleur est ajoutée à de l'eau à la température de saturation sous une pression constante.

Par exemple, si une chaudière débite de la vapeur, et si la pression de la chaudière diminue un peu, une partie du contenu d'eau de la chaudière se revaporisera pour augmenter la vapeur vive qui est produite par l'apport de chaleur crée par le fuel de la chaudière. Parce qu'elle est produite dans la chaudière, toute cette vapeur est considérée comme de la vapeur vive.

Le terme " vapeur de revaporisation " est généralement utilisé lorsque la revaporisation se produit à basse pression côté évacuation des purgeurs. Malheureusement cet usage a mené à une conclusion erronée qui laisse penser que la vapeur de revaporisation est différente et moins précieuse que la vapeur vive.

Dans tout système dont on doit maximiser le rendement, la vapeur de revaporisation doit être séparée du condensat, pour être utilisée à basse pression, en appoint de tout débit à basse pression. Chaque kilogramme de vapeur de revaporisation utilisé de cette façon est un kilogramme de vapeur vive qui n'a pas à être fourni par la chaudière. C'est aussi un kilogramme conservé et non évacué à l'atmosphère, où il serait tout simplement perdu.

C'est donc de l'énergie économisée, mais aussi moins de consommation d'eau et moins de consommation de produits de traitement chimique de l'eau alimentaire de la chaudière.

Les motifs justifiant la récupération de la vapeur de revaporisation sont évidents à la fois sur le plan économique et pour l'environnement.

3.3.2 Combien de vapeur de revaporisation ?

Si l'utilisation de la vapeur de revaporisation est possible, on doit connaître la quantité disponible. Cette quantité est rapidement déterminée par calcul, où à partir de simples tableaux ou d'abaques. Comme exemple, considérons le réservoir à double enveloppe présenté Figure 131. Le condensat entre dans le purgeur sous forme d'eau saturée, à une pression de 7 bar eff. et une température de 170°C. La quantité de chaleur dans le condensat à cette pression est de 721 kJ/kg. Après le purgeur, la pression dans la ligne de retour de condensat est de 0 bar eff. A cette pression, la quantité maximale de chaleur que le condensat peut contenir est de 419 kJ/kg et la température de 100°C. Où l'excès de chaleur de 302 kJ/kg va-t-il ? En fait, il évapore une partie du condensat, mais quelle quantité ?

La chaleur nécessaire pour produire 1 kg de vapeur saturée à partir d'eau, à la même température et à une pression de 0 bar eff., est de 2 257 kJ.

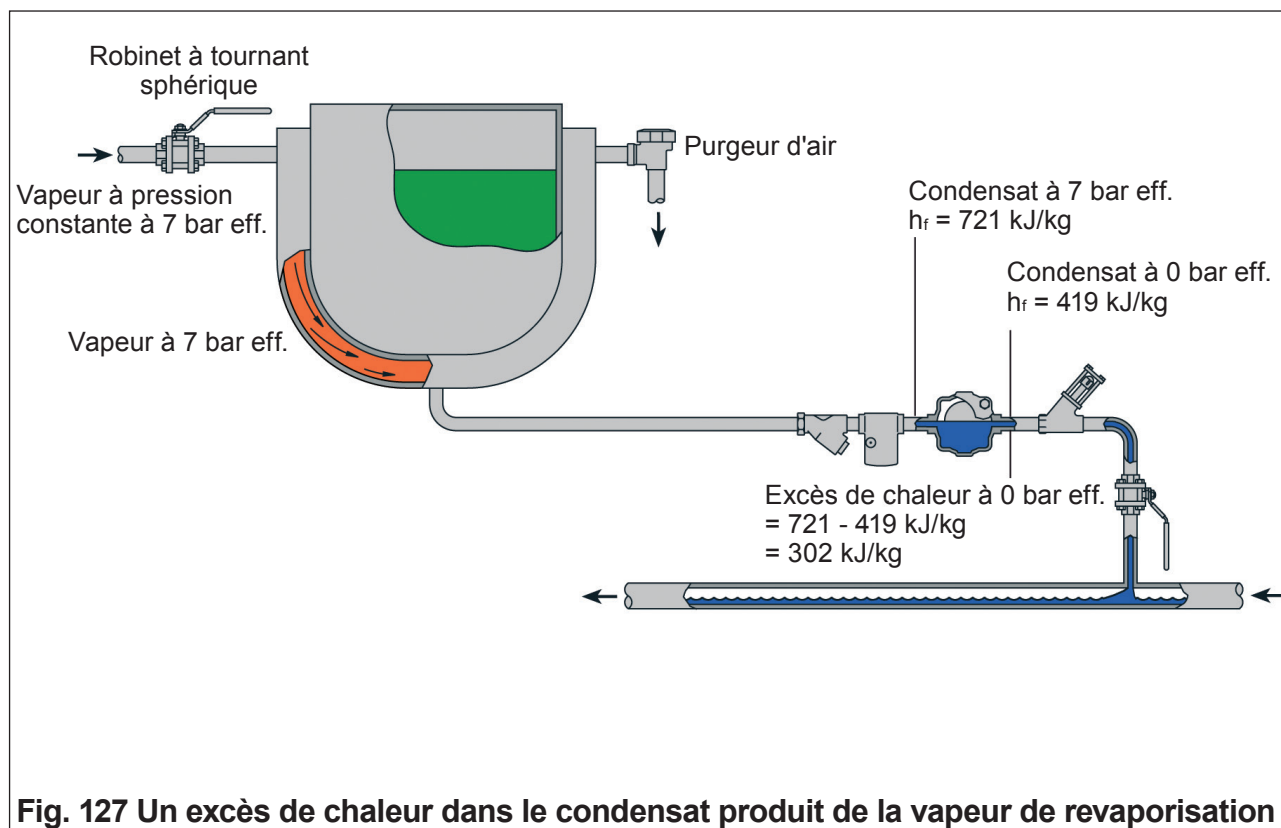
Une quantité de 302,4 kJ peut donc évaporer :

$$\frac{302}{2\,257} = 0,134 \text{ kg de vapeur par kg de condensat}$$

de chaque kilogramme de condensat, et la proportion de vapeur de revaporisation générée est donc de 13,4%.

Si l'appareil utilisant la vapeur à 7 bar eff. condense 250 kg/h, la quantité de vapeur de revaporisation émise par le condensat à 0 bar eff est de :

$$0,134 \times 250 \text{ kg/h} = 33,5 \text{ kg/h}$$



En variante, la Figure 127, peut être utilisée directement pour les pressions faibles et moyennes que l'on peut rencontrer dans diverses installations.

L'exemple précédent est représenté sur la Figure 128, indiquant 0,134 kg de vapeur de revaporisation par kg de condensat.

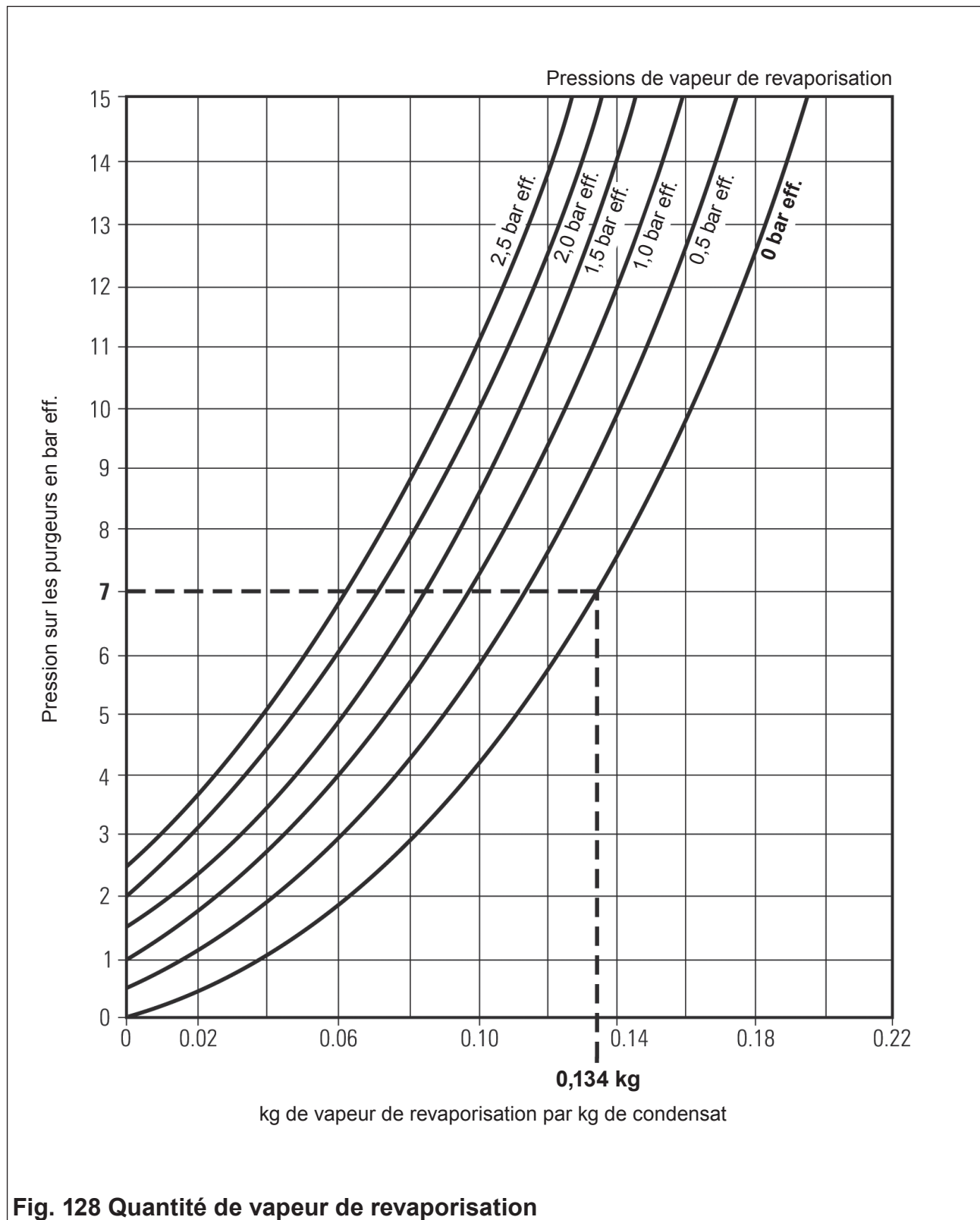


Fig. 128 Quantité de vapeur de revaporisation

3.3.3 Condensat sous-refroidi

Si le purgeur est de type thermostatique, il retient le condensat avant l'évacuation jusqu'à ce qu'il soit sous-refroidi en dessous de la température de saturation. La chaleur de ce condensat refroidi sera moindre, et la quantité de vapeur de revaporisation produite sera inférieure.

Si le purgeur de l'exemple précédent évacuait le condensat à 15°C en dessous de la température de saturation de la vapeur, la chaleur contenue dans le condensat sera moindre.

Température de saturation de condensat à 7 bar eff.	= 170°C
Sous refroidissement	= 15°C
Température de condensat sous-refroidi à 7 bar eff. (d'après les tableaux de vapeur)	= 155°C
Quantité de chaleur dans le condensat à 155°C	= 654 kJ/kg
Quantité de chaleur dans le condensat à 0 bar eff.	= 419 kJ/kg
Surplus	= 235 kJ/kg
Chaleur dans la vapeur à 0 bar eff.	= 2 257 kJ/kg
Proportion de vapeur	= $\frac{235 \text{ kJ/kg}}{2 257 \text{ kJ/kg}}$
	= 0,104 kg/kg de condensat

3.3.4 Condensat sous pression

Donc, dans cet exemple, une réduction de la température du condensat en amont du purgeur de 15°C a réduit la production de vapeur de revaporisation côté aval de 13,4 à 10,4 %.

Si la ligne de retour était raccordée à un réservoir à une pression de 1 bar eff, la chaleur maximale dans le condensat au point d'évacuation du purgeur serait de 505 kJ/kg et l'enthalpie d'évaporation à 1 bar eff. serait 2201 kJ/kg. La proportion de condensat qui se transforme en vapeur de revaporisation à 1 bar eff serait alors calculée de la façon suivante :

Chaleur dans le condensat à 7 bar eff.	= 721 kJ/kg
Quantité de chaleur à 1 bar eff	= 505 kJ/kg
Surplus	= 216 kJ/kg
Chaleur dans la vapeur à 1 bar eff	= 2 201 kJ/kg
Proportion de vapeur de revaporisation	= $\frac{216 \text{ kJ/kg}}{2 201 \text{ kJ/kg}}$
	= 0,098 kg/kg de condensat

Si l'appareil utilisant la vapeur à 7 bar eff. condense 250 kg/h de vapeur, la quantité de vapeur de revaporisation libérée par le condensat à 1 bar eff., est : 0,098 x 250 kg/h = 24,5 kg/h.

Donc, la quantité de vapeur de revaporisation produite peut dépendre du type de purgeur utilisé, de la pression de vapeur en amont du purgeur, et de la pression de condensat en aval du purgeur.

3.3.5 Le vase de revaporisation

Le vase de revaporisation sépare la vapeur de revaporisation du condensat produite dans une ligne de retour de condensat. La Figure 129 montre un vase de revaporisation classique.

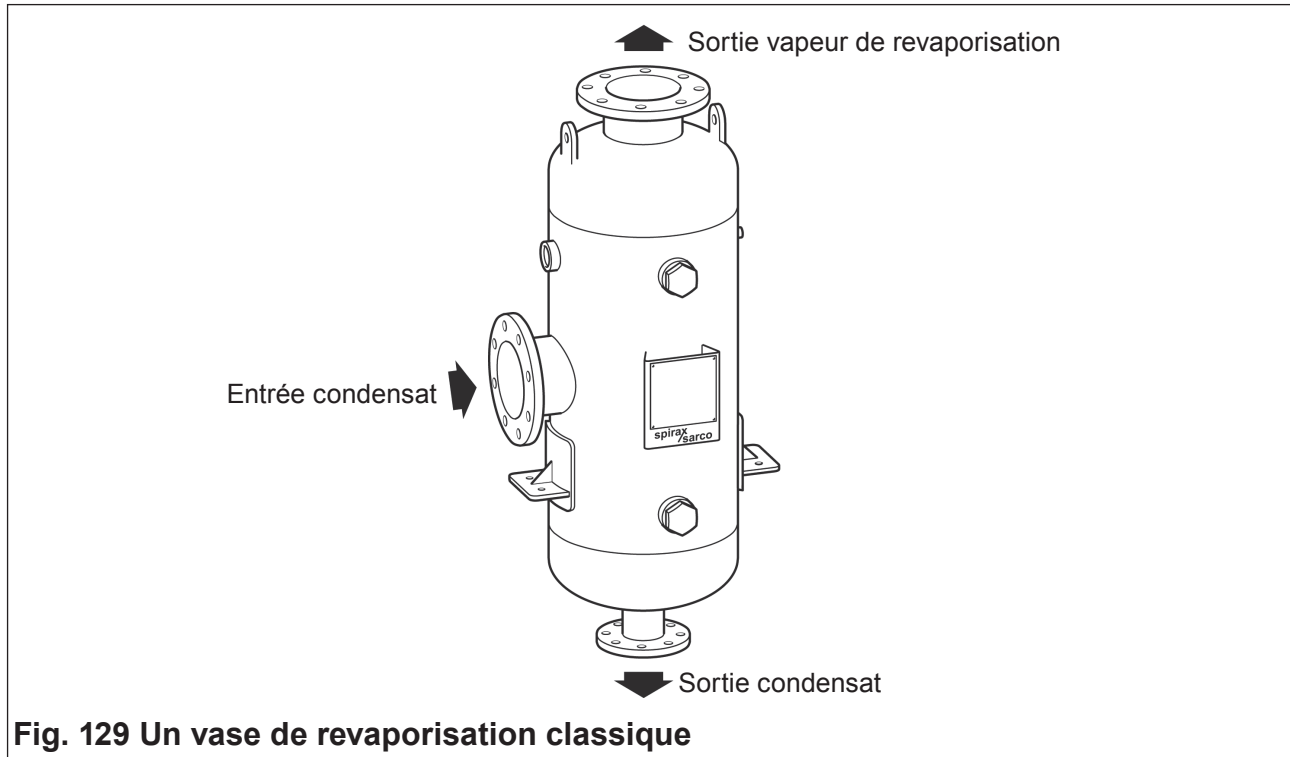


Fig. 129 Un vase de revaporisation classique

Lorsque le condensat et la vapeur de revaporisation entrent dans le réservoir, le condensat tombe par gravité à la base du réservoir, où il est drainé vers un réseau de récupération de condensat, le dirigeant généralement vers un réservoir dégazé collectant le condensat pour son pompage. La vapeur de revaporisation dans le vase peut alors être transportée par tuyauterie vers un appareil utilisant de la vapeur basse pression.

3.3.6 Dimensionner les réservoirs de récupération de vapeur de revaporisation

Pour dimensionner le vase de revaporisation, les informations suivantes sont nécessaires :

- La pression en amont des purgeurs alimentant le vase.
- Le débit de condensat.
- La pression de vapeur de revaporisation (désirée ou existante).

En utilisant ces informations, et un abaque de dimensionnement des vases de revaporisation, la taille du vase nécessaire peut être déterminée. (Figure 130).

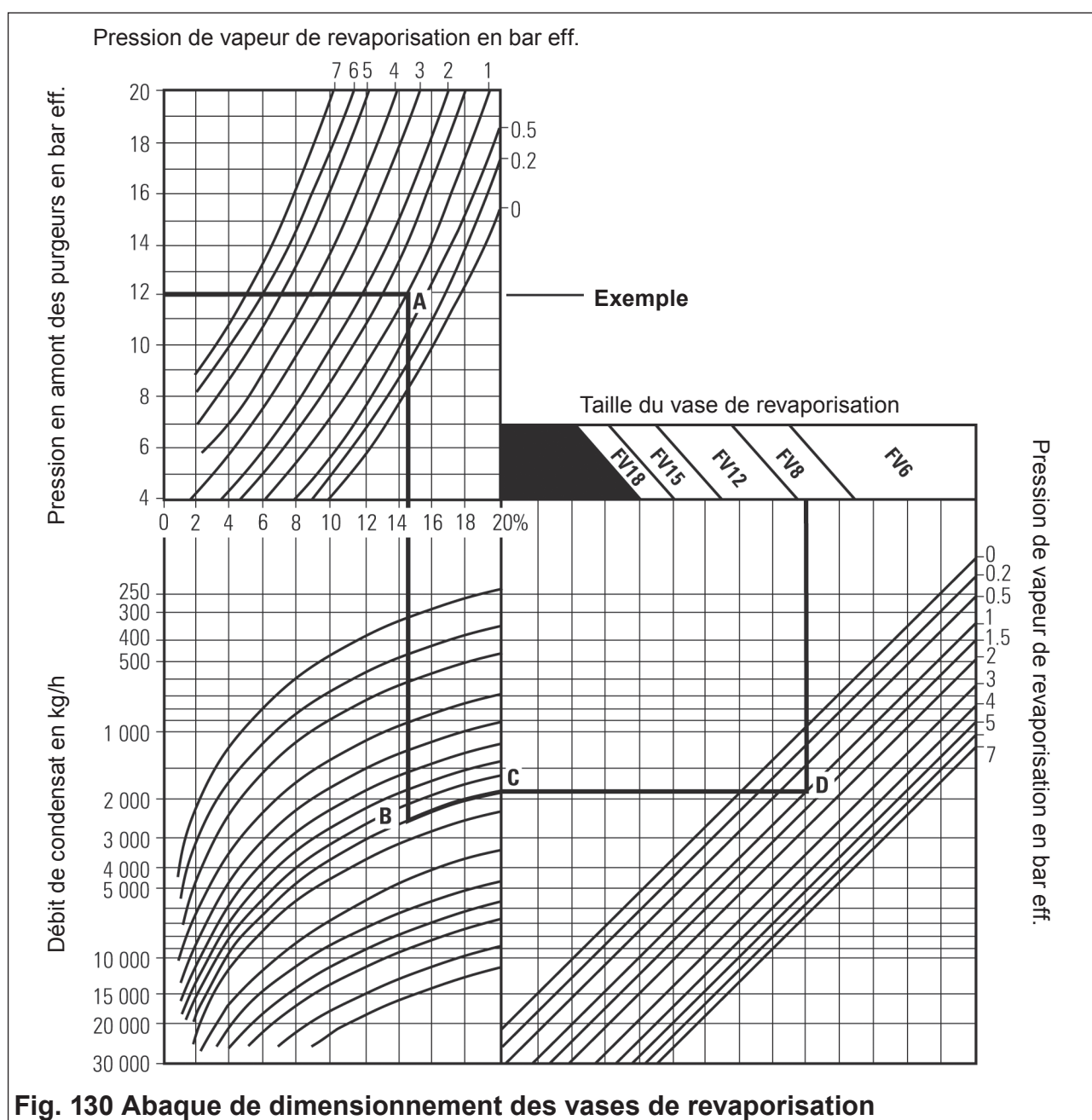
L'exemple suivant montre aisément le dimensionnement d'un vase de revaporisation en utilisant un simple abaque.

Exemple

La pression en amont des purgeurs est de 12 bar eff. avec un débit de condensat total de 2 500 kg/h. La vapeur de revaporisation provenant du réservoir doit alimenter un appareil utilisant de la vapeur basse pression à 1 bar eff.

Méthode

1. A partir de l'axe " Pression en amont du purgeur " à 12 bar eff., se déplacer horizontalement vers la courbe de pression de vapeur de revaporisation pour définir le point **A**.
2. Descendre verticalement vers le débit de condensat, point **B**, et suivre la ligne courbe jusqu'au point **C**.
3. Se déplacer vers la droite à partir du point **C** pour rencontrer la ligne de revaporisation au point **D**.
4. Se déplacer vers le haut vers la taille du vase de revaporisation et sélectionner le vase. Dans ce cas, un vase de revaporisation FV8 sera nécessaire.



3.3.7 Conditions pour réussir des applications utilisant de la vapeur de revaporisation

Si toute la vapeur de revaporisation doit être utilisée, certaines conditions de base doivent être satisfaites.

- Une alimentation suffisante de condensat est essentielle, avec des débits à pressions suffisamment élevées, pour assurer qu'une quantité suffisante de vapeur de revaporisation soit libérée.
- Les purgeurs et les appareils qu'ils drainent doivent fonctionner d'une manière satisfaisante avec la contre pression appliquée par le système de revaporisation.
- En particulier, il faut faire attention au cas de la récupération de vapeur de revaporisation des condensats provenant d'appareils thermorégulés. Pour des charges réduites, la pression de l'espace vapeur est diminuée par l'action de la vanne de régulation. Si elle approche ou même diminue en dessous de la pression de la vapeur de revaporisation nécessaire, la récupération à partir de ce condensat nécessite une évacuation des condensats par pompe-purgeur.

- Il est indispensable d'avoir une utilisation appropriée pour la vapeur de revaporisation basse pression. Idéalement, ce doit être des appareils à basse pression qui nécessitent une alimentation de vapeur égale ou supérieure à la quantité disponible de vapeur de revaporisation. Tout déficit peut être complété par un détendeur. Si l'alimentation de vapeur de revaporisation est supérieure à sa demande, le surplus peut devoir être évacué à l'atmosphère via un déverseur.

Il est possible d'utiliser la vapeur de revaporisation provenant du condensat dans une installation de chauffage intérieur - mais les économies seront réalisées seulement pendant l'hiver. Lorsque le chauffage est inutile, le système de récupération devient sans effet.

Lorsque c'est possible, l'aménagement le plus judicieux est d'utiliser la vapeur de revaporisation provenant du condensat des process pour alimenter les débits de process - et la vapeur de revaporisation provenant du condensat de chauffage pour alimenter les débits de chauffage.

L'alimentation et la demande de vapeur fonctionneront "en cascade".

- Il est aussi préférable de sélectionner une application pour la vapeur de revaporisation assez proche de la source de condensat à pression élevée. Car la tuyauterie pour la vapeur basse pression est inévitablement d'un diamètre relativement grand, impliquant alors une installation plus coûteuse si de longues tuyauteries sont nécessaires.

3.3.8 Régulations de la pression de la vapeur de revaporisation

Ce paragraphe développe une méthode de régulation de la pression de la vapeur de revaporisation. Dans certains cas, cette pression trouvera naturellement son propre niveau, et rien d'autre ne doit être fait. Lorsque l'alimentation et la demande sont toujours "en cascade", et particulièrement si de la vapeur basse pression est utilisée sur le même appareil produisant le condensat haute pression, la solution la plus simple est de transporter la vapeur de revaporisation vers l'installation basse pression sans régulation.

La Figure 131 présente l'application de récupération de vapeur de revaporisation d'une batterie de réchauffage d'air qui fournit de l'air à température élevée à un process. Le condensat provenant de sections à pression élevées est revaporisé à basse pression et cette vapeur basse pression est utilisée pour préchauffer l'air froid entrant dans la batterie. La surface de la section du pré-réchauffeur, et la température relativement basse de l'air entrant permettent de condenser facilement la vapeur basse pression. En fonction des températures de service, la vapeur de revaporisation s'ajuste sur une pression basse. Elle peut même être inférieure à la pression atmosphérique. Si les conditions du site et d'installation le permettent, le vase de revaporisation et le purgeur du serpentin à basse pression doivent être suffisamment loin, en dessous de la sortie de condensat pour donner une hauteur statique permettant de pousser le condensat dans le purgeur. Sinon, des purgeurs/pompes peuvent être utilisés pour évacuer le serpentin du préchauffeur et le vase de revaporisation.

La condensation de la vapeur peut nécessiter un casse-vide. Cela évite que la pression dans la batterie devienne inférieure à la pression atmosphérique et facilite l'écoulement du condensat vers le purgeur. L'évacuation des purgeurs est alors assurée par gravité.

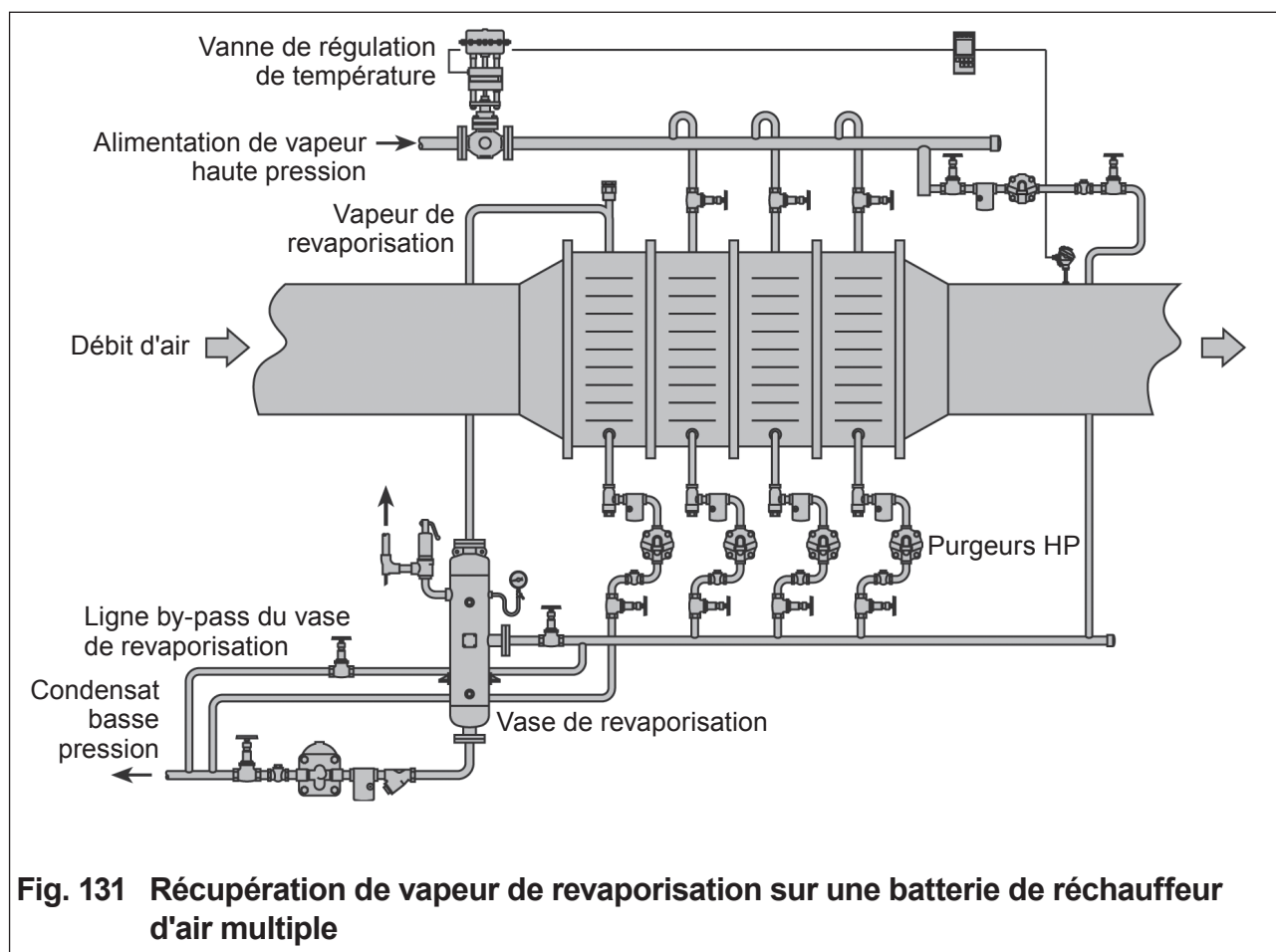


Fig. 131 Récupération de vapeur de revaporisation sur une batterie de réchauffeur d'air multiple

3.4 Applications classiques de la vapeur de revaporisation

La Figure 132 présente une application où le système de vapeur de revaporisation est maintenu à une pression constante déterminée par la vapeur provenant d'un détendeur. Cela assure une source fiable de vapeur dans le système basse pression même s'il y a un manque de vapeur de revaporisation pour satisfaire la demande.

Il faut se souvenir que cela diminuera la pression différentielle des purgeurs haute pression, qui doivent être dimensionnés en conséquence.

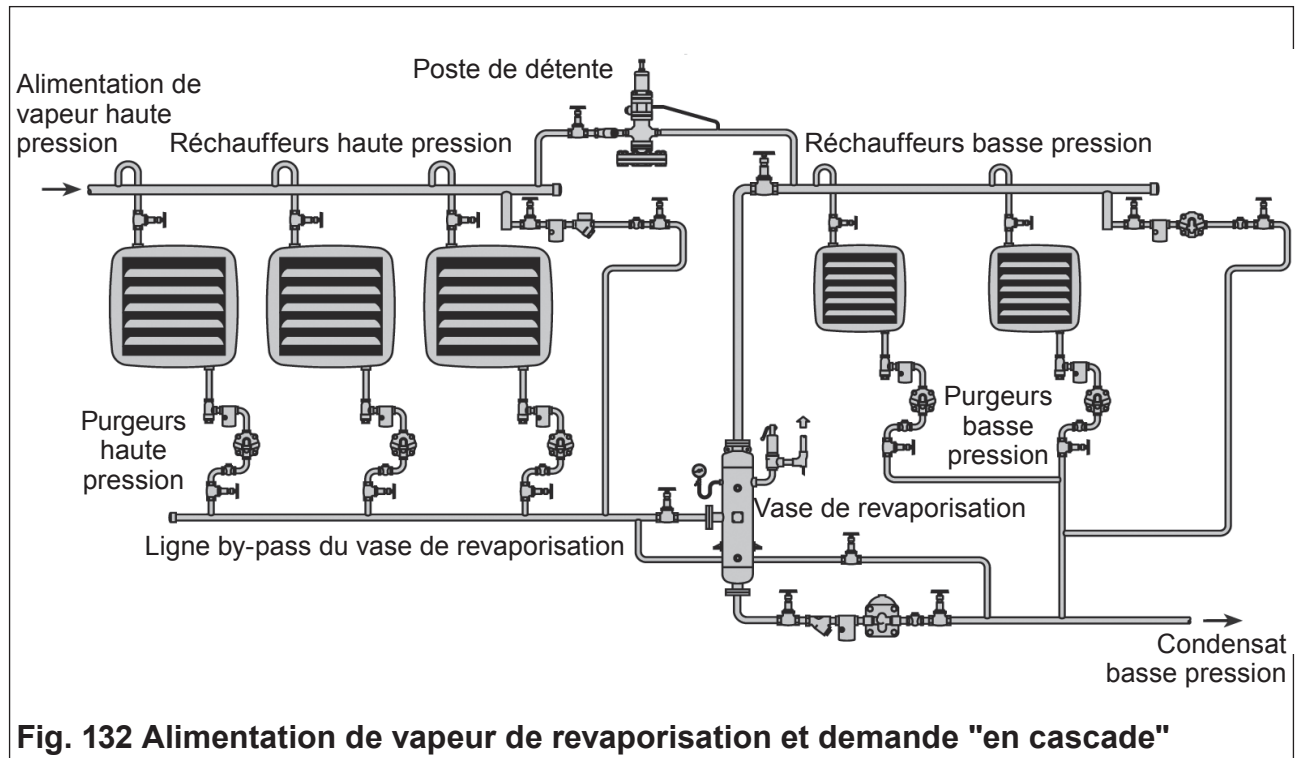


Fig. 132 Alimentation de vapeur de revaporisation et demande "en cascade"

3.4.1 Alimentation de vapeur de revaporisation et demande en "cascade"

Cette méthode assure l'utilisation maximale de la vapeur de revaporisation disponible. La batterie de réchauffage d'air précédente est un tel système, mais des aménagements similaires sont possibles dans de nombreuses autres applications comme des installations de réchauffage d'air utilisant soit des panneaux radiants soit des réchauffeurs.

La Figure 132 présente un système où plusieurs réchauffeurs sont alimentés par de la vapeur haute pression. Le condensat provenant d'environ 90% des réchauffeurs est collecté et apporté à un vase de récupération de la vapeur de revaporisation. Il fournit la vapeur basse pression aux 10% restant des réchauffeurs.

Avec 10% des unités alimentées par de la vapeur dont la pression est plus basse que précédemment, la consommation d'énergie totale du système est considérablement réduite. Toutefois, il est rare de trouver une installation qui n'a pas une marge de sécurité suffisante par rapport à la charge normale et qui ne puisse pas accepter cette petite réduction.

Quelquefois un problème se pose lorsque l'utilisation de la vapeur de revaporisation nécessite plus d'un réchauffeur mais moins de deux. Il serait préférable dans ce cas de raccorder deux réchauffeurs à l'alimentation de vapeur de revaporisation, plutôt qu'évacuer la vapeur de revaporisation excédante à l'égout. Deux réchauffeurs ensemble tirent généralement la pression de revaporisation à un niveau plus bas, parfois même à des niveaux inférieurs à la pression atmosphérique. Pour répondre à cela, l'alimentation de vapeur de revaporisation peut être complétée par un détendeur.

Un serpentin de réchauffage de stockage d'eau chaude chauffé par de la vapeur est un autre exemple où l'alimentation et la demande sont "en cascade". Certains ballons incorporent un serpentin secondaire, installé près de l'arrivée de l'eau d'alimentation froide. Le condensat et la vapeur de revaporisation provenant du purgeur du serpentin principal, passe directement dans le serpentin secondaire. Ici la vapeur de revaporisation est condensée, en donnant sa chaleur à l'eau d'alimentation. Cet aménagement est présenté Figure 133.

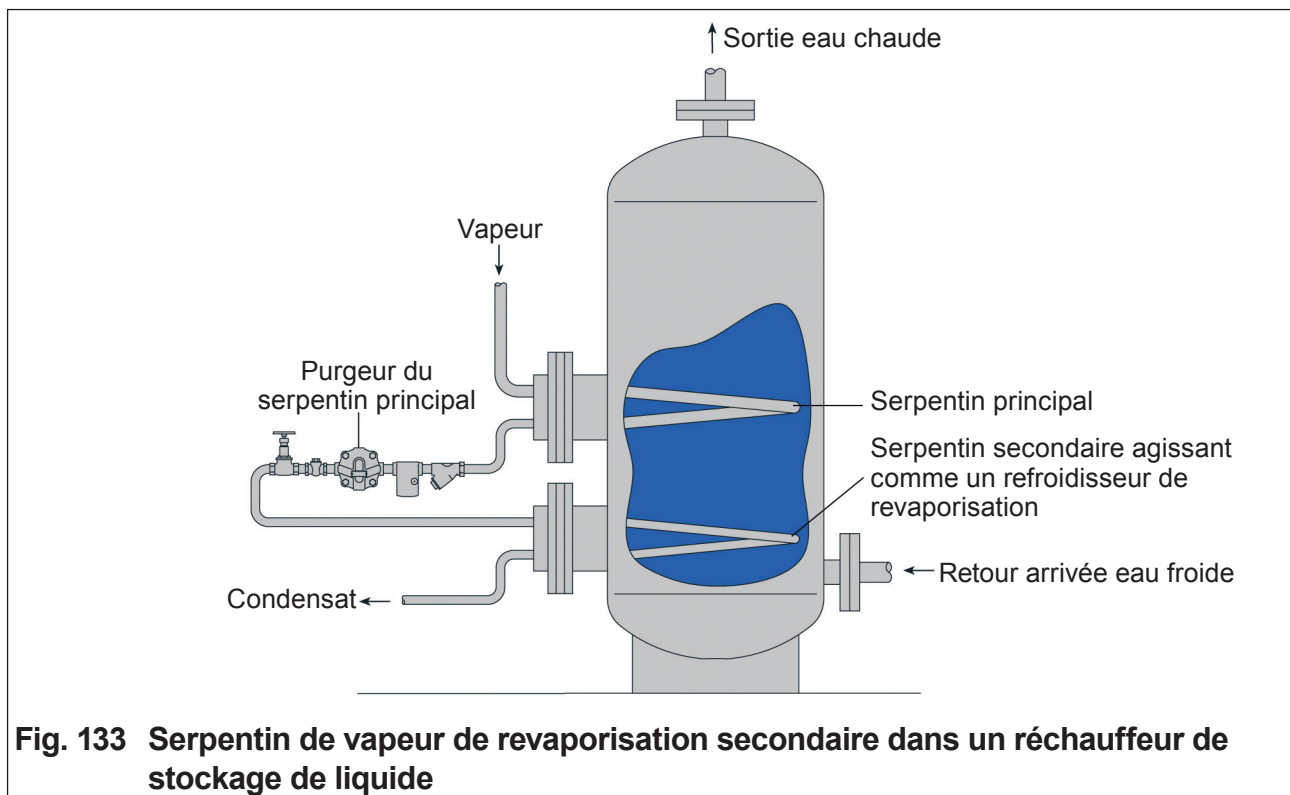


Fig. 133 Serpentin de vapeur de revaporisation secondaire dans un réchauffeur de stockage de liquide

Une extension de cette idée est présentée Figure 134. Ici, un "ensemble de réchauffage" est utilisé avec un réchauffeur normal vapeur/eau purgé par un purgeur à flotteur fermé vers un échangeur tubulaire plus petit dans lequel la vapeur de revaporisation est condensée en condensat sous-refroidi. Cette unité est montée en série, pour permettre de préchauffer l'eau du système, réduisant la demande de vapeur vive.

Une pompe mécanique est utilisée pour remonter le condensat vers la ligne de retour, et la vapeur d'échappement quittant la pompe est elle-même condensée dans le condenseur. Le pompage de ce condensat est alors réalisé sans coût d'énergie. Il faut prendre en compte la hauteur de remplissage de la pompe dont elle a besoin et qui doit être supérieure à la perte de charge dans les tubes du condenseur aux conditions de débit maximal. Une hauteur minimale de 600 mm fera généralement l'affaire.

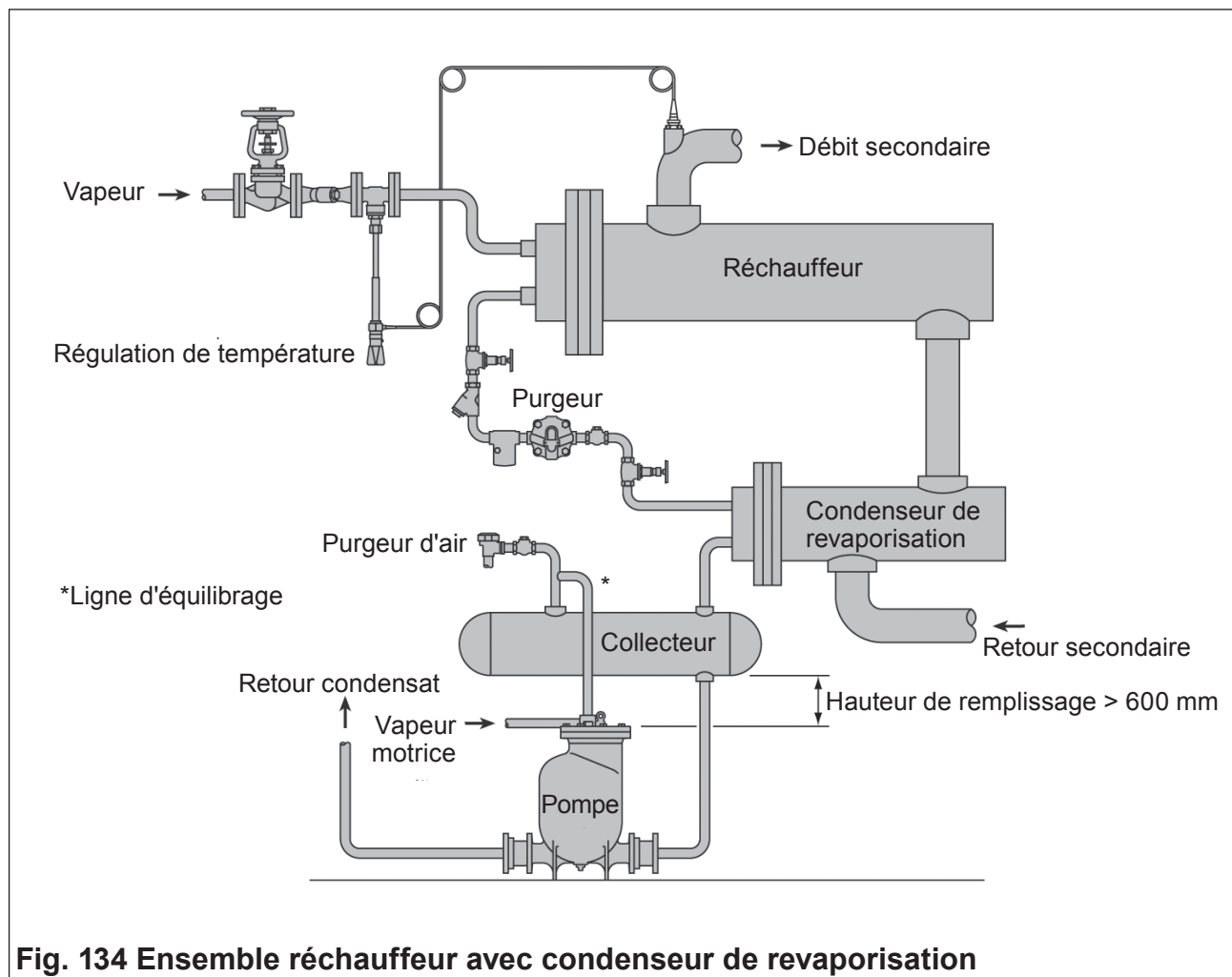


Fig. 134 Ensemble réchauffeur avec condenseur de revaporisation

3.4.2 Alimentation de vapeur de revaporisation et demande non simultanée

L'aménagement de la Figure 135 est un exemple de récupération de vapeur de revaporisation lorsque l'alimentation et la demande **ne sont pas** toujours en cascade.

Le condensat provenant de l'installation process libère de la vapeur de revaporisation, mais son unique utilisation est d'augmenter l'alimentation en vapeur de l'installation de chauffage ambiant. Cela est assez satisfaisant pendant l'hiver, aussi longtemps que le débit de chauffage est supérieur à la disponibilité en vapeur de revaporisation.

Pendant l'été, le chauffage n'est pas utilisé, et pendant le printemps et l'automne, le débit de chauffage peut ne pas utiliser toute la vapeur de revaporisation disponible. L'aménagement n'est pas totalement idéal, bien qu'il soit possible de faire des économies d'énergie pendant l'hiver qui peuvent justifier le coût de l'appareil de récupération de vapeur de revaporisation.

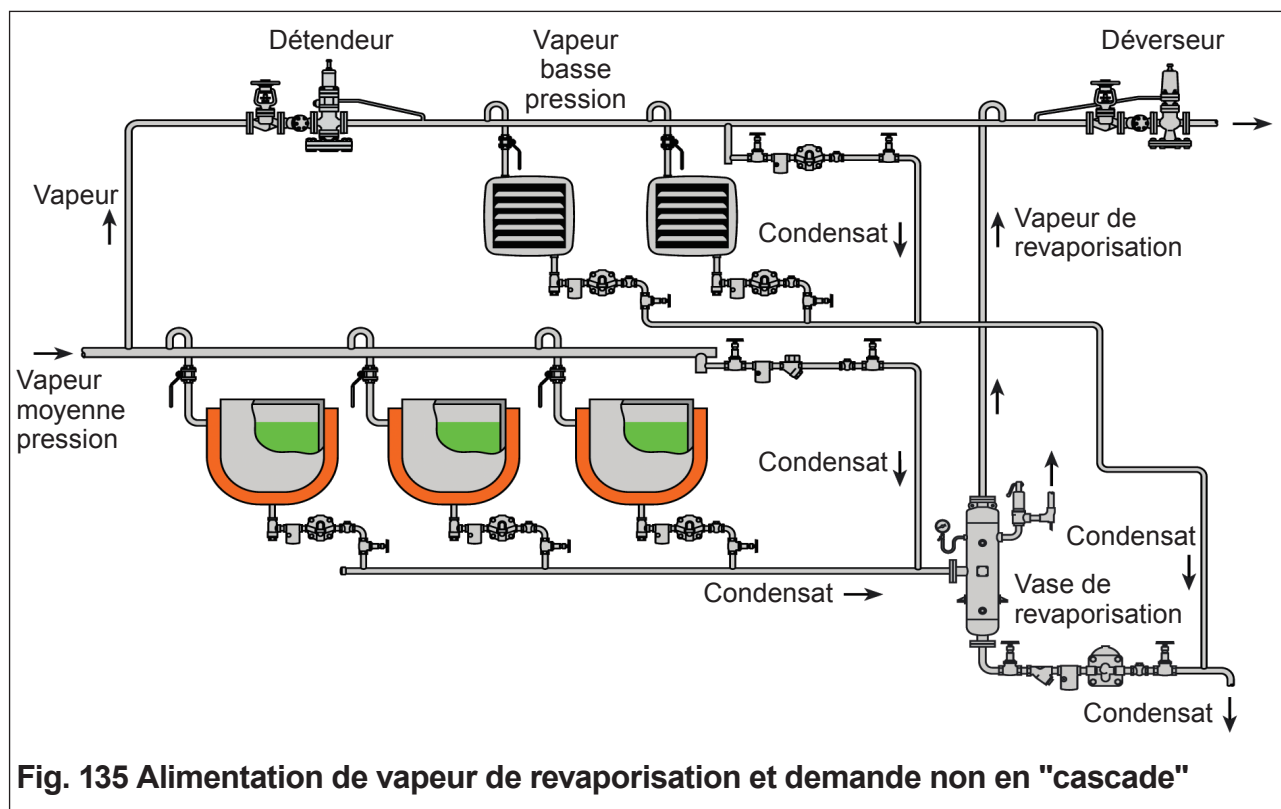


Fig. 135 Alimentation de vapeur de revaporisation et demande non en "cascade"

Quelquefois, la vapeur de revaporisation excédante doit être évacuée à l'atmosphère. Dans ce cas, un déverseur est plus approprié qu'une soupape de sûreté, qui généralement a une action "Tout ou Rien" et un siège conçu pour un fonctionnement non fréquent. Le déverseur sera réglé pour qu'il commence à s'ouvrir lentement lorsque la pression sera supérieure à la pression normale dans le système. Lorsque le débit de chauffage diminue et lorsque la pression dans le système commence à augmenter, le détendeur alimentant la vapeur d'appoint se ferme. Une autre augmentation de pression, peut être 0,15 ou 0,2 bar, est alors possible avant que le déverseur ne commence à s'ouvrir.

Une soupape de sûreté peut être nécessaire si le déverseur tombe en panne. Elle doit être réglée entre la pression de réglage du déverseur et la pression de service du système.

A l'occasion, pendant les conditions d'été, il peut être préférable de bypasser le système de revaporisation avec une vanne manuelle. Le condensat et la vapeur de revaporisation qui lui est associée passeront alors directement dans un collecteur de condensat, où la vapeur de revaporisation sera évacuée à l'atmosphère.

3.5 Tables de la vapeur

Pression bar	kPa	Température °C	Enthalpie Spécifique			Volume Spécifique de Vapeur m³/kg
			Eau (h _f) kJ/kg	Evaporation (h _{fg}) kJ/kg	Vapeur (h _g) kJ/kg	
absolue						
0,30	30,0	69,10	289,23	2336,1	2625,3	5,229
0,50	50,0	81,33	340,49	2305,4	2645,9	3,240
0,75	75,0	91,78	384,39	2278,6	2663,0	2,217
0,95	95,0	98,20	411,43	2261,8	2673,2	1,777
effective						
0	0	100,00	419,04	2257,0	2676,0	1,673
0,10	10,0	102,66	430,2	2250,2	2680,2	1,533
0,20	20,0	105,10	440,8	2243,4	2684,2	1,414
0,30	30,0	107,39	450,4	2237,2	2687,6	1,312
0,40	40,0	109,55	459,7	2231,3	2691,0	1,225
0,50	50,0	111,61	468,3	2225,6	2693,9	1,149
0,60	60,0	113,56	476,4	2220,4	2696,8	1,083
0,70	70,0	115,40	484,1	2215,4	2699,5	1,024
0,80	80,0	117,14	491,6	2210,5	2702,1	0,971
0,90	90,0	118,80	498,9	2205,6	2704,5	0,923
1,00	100,0	120,42	505,6	2201,1	2706,7	0,881
1,10	110,0	121,96	512,2	2197,0	2709,2	0,841
1,20	120,0	123,46	518,7	2192,8	2711,5	0,806
1,30	130,0	124,90	524,6	2188,7	2713,3	0,773
1,40	140,0	126,28	530,5	2184,8	2715,3	0,743
1,50	150,0	127,62	536,1	2181,0	2717,1	0,714
1,60	160,0	128,89	541,6	2177,3	2718,9	0,689
1,70	170,0	130,13	547,1	2173,7	2720,8	0,665
1,80	180,0	131,37	552,3	2170,1	2722,4	0,643
1,90	190,0	132,54	557,3	2166,7	2724,0	0,622
2,00	200,0	133,69	562,2	2163,3	2725,5	0,603
2,20	220,0	135,88	571,7	2156,9	2728,6	0,568
2,40	240,0	138,01	580,7	2150,7	2731,4	0,536
2,60	260,0	140,00	589,2	2144,7	2733,9	0,509
2,80	280,0	141,92	597,4	2139,0	2736,4	0,483
3,00	300,0	143,75	605,3	2133,4	2738,7	0,461
3,20	320,0	145,46	612,9	2128,1	2741,0	0,440
3,40	340,0	147,20	620,0	2122,9	2742,9	0,422
3,60	360,0	148,84	627,1	2117,8	2744,9	0,405
3,80	380,0	150,44	634,0	2112,9	2746,9	0,389
4,00	400,0	151,96	640,7	2108,1	2748,8	0,374
4,50	450,0	155,55	656,3	2096,7	2753,0	0,342
5,00	500,0	158,92	670,9	2086,0	2756,9	0,315
5,50	550,0	162,08	684,6	2075,7	2760,3	0,292
6,00	600,0	165,04	697,5	2066,0	2763,5	0,272
6,50	650,0	167,83	709,7	2056,8	2766,5	0,255
7,00	700,0	170,50	721,4	2047,7	2769,1	0,240
7,50	750,0	173,02	732,5	2039,2	2771,7	0,227
8,00	800,0	175,43	743,1	2030,9	2774,0	0,215
8,50	850,0	177,75	753,3	2022,9	2776,2	0,204
9,00	900,0	179,97	763,0	2015,1	2778,1	0,194
9,50	950,0	182,10	772,5	2007,5	2780,0	0,185
10,00	1000,0	184,13	781,6	2000,1	2781,7	0,177
10,50	1050,0	186,05	790,1	1993,0	2783,3	0,171
11,00	1100,0	188,02	798,8	1986,0	2784,8	0,163
11,50	1150,0	189,82	807,1	1979,1	2786,3	0,157
12,00	1200,0	191,68	815,1	1972,5	2787,6	0,151
12,50	1250,0	193,43	822,9	1965,4	2788,8	0,146

Pression bar	kPa	Température C	Enthalpie Spécifique			Volume Spécifique
			Eau (h _f)	Evaporation (h _{fg})	Vapeur (h _g)	
13,50	1350,0	196,62	837,9	1953,2	2791,1	0,136
14,00	1400,0	198,35	845,1	1947,1	2792,2	0,132
14,50	1450,0	199,92	852,1	1941,0	2793,1	0,128
15,00	1500,0	201,45	859,0	1935,0	2794,0	0,124
15,50	1550,0	202,92	865,7	1928,8	2794,9	0,119
16,00	1600,0	204,38	872,3	1923,4	2795,7	0,117
17,00	1700,0	207,17	885,0	1912,1	2797,1	0,110
18,00	1800,0	209,90	897,2	1901,3	2798,5	0,105
19,00	1900,0	212,47	909,0	1890,5	2799,5	0,100
20,00	2000,0	214,96	920,3	1880,2	2800,5	0,0949
21,00	2100,0	217,35	931,3	1870,1	2801,4	0,0906
22,00	2200,0	219,65	941,9	1860,1	2802,0	0,0868
23,00	2300,0	221,85	952,2	1850,4	2802,6	0,0832
24,00	2400,0	224,02	962,2	1840,9	2803,1	0,0797
25,00	2500,0	226,12	972,1	1831,4	2803,5	0,0768
26,00	2600,0	228,15	981,6	1822,2	2803,8	0,0740
27,00	2700,0	230,14	990,7	1813,3	2804,0	0,0714
28,00	2800,0	232,05	999,7	1804,4	2804,1	0,0689
29,00	2900,0	233,93	1008,6	1795,6	2804,2	0,0666
30,00	3000,0	235,78	1017,0	1787,0	2804,1	0,0645
31,00	3100,0	237,55	1025,6	1778,5	2804,1	0,0625
32,00	3200,0	239,28	1033,9	1770,0	2803,9	0,0605
33,00	3300,0	240,97	1041,9	1761,8	2803,7	0,0587
34,00	3400,0	242,63	1049,7	1753,8	2805,5	0,0571
35,00	3500,0	244,26	1057,7	1745,5	2803,2	0,0554
36,00	3600,0	245,86	1065,7	1737,2	2802,9	0,0539
37,00	3700,0	247,42	1072,9	1729,5	2802,4	0,0524
38,00	3800,0	248,95	1080,3	1721,6	2801,9	0,0510
39,00	3900,0	250,42	1087,4	1714,1	2801,5	0,0498
40,00	4000,0	251,94	1094,6	1706,3	2800,9	0,0485
41,00	4100,0	253,34	1101,6	1698,3	2799,9	0,0473
42,00	4200,0	254,74	1108,6	1691,2	2799,8	0,0461
43,00	4300,0	256,12	1115,4	1683,7	2799,1	0,0451
44,00	4400,0	257,50	1122,1	1676,2	2798,3	0,0441
45,00	4500,0	258,82	1228,7	1668,9	2797,6	0,0431
46,00	4600,0	260,13	1135,3	1666,6	2796,9	0,0421
47,00	4700,0	261,43	1142,2	1654,4	2796,6	0,0412
48,00	4800,0	262,73	1148,1	1647,1	2795,2	0,0403
49,00	4900,0	264,00	1154,5	1639,9	2794,4	0,0394
50,00	5000,0	265,26	1160,8	1632,8	2793,6	0,0386
51,00	5100,0	266,45	1166,6	1626,9	2792,6	0,0378
52,00	5200,0	267,67	1172,6	1619,0	2791,6	0,0371
53,00	5300,0	268,84	1178,7	1612,0	2790,7	0,0364
54,00	5400,0	270,02	1184,6	1605,1	2789,7	0,0357
55,00	5500,0	271,20	1190,5	1598,2	2788,7	0,0350
56,00	5600,0	272,33	1196,3	1591,3	2787,6	0,0343
57,00	5700,0	273,45	1202,1	1584,5	2786,6	0,0337
58,00	5800,0	274,55	1207,8	1577,7	2785,5	0,0331
59,00	5900,0	275,65	1213,4	1571,0	2784,4	0,0325
60,00	6000,0	276,73	1218,9	1564,4	2783,3	0,0319
61,00	6100,0	277,80	1224,5	1557,6	2782,1	0,0314
62,00	6200,0	278,85	1230,0	1550,9	2780,9	0,0308
63,00	6300,0	279,89	1235,4	1544,3	2779,7	0,0303
64,00	6400,0	280,92	1240,8	1537,3	2778,5	0,0298
65,00	6500,0	281,95	1246,1	1531,2	2777,3	0,0293

Pression bar	kPa	Température C	Enthalpie Spécifique			Volume Spécifique de Vapeur m ³ /kg
			Eau (h _f) kJ/kg	Evaporation (h _{fg}) kJ/kg	Vapeur (h _g) kJ/kg	
66,00	6600,0	282,95	1251,4	1524,7	2776,1	0,0288
67,00	6700,0	283,95	1256,7	1518,1	2774,8	0,0283
68,00	6800,0	284,93	1261,9	1511,6	2773,5	0,0278
69,00	6900,0	285,90	1267,0	1501,1	2772,1	0,0274
70,00	7000,0	286,85	1272,1	1498,7	2770,8	0,0270
71,00	7100,0	287,80	1277,3	1492,2	2769,5	0,0266
72,00	7200,0	288,75	1282,3	1485,8	2768,1	0,0262
73,00	7300,0	289,69	1287,3	1479,4	2766,7	0,0258
74,00	7400,0	290,60	1292,3	1473,0	2765,3	0,0254
75,00	7500,0	291,51	1297,2	1466,6	2763,8	0,0250
76,00	7600,0	292,41	1302,3	1460,2	2762,5	0,0246
77,00	7700,0	293,91	1307,0	1453,9	2760,9	0,0242
78,00	7800,0	294,20	1311,9	1447,6	2759,5	0,0239
79,00	7900,0	295,10	1316,7	1441,3	2758,0	0,0236
80,00	8000,0	295,96	1321,5	1435,0	2756,5	0,0233
81,00	8100,0	296,81	1326,2	1428,7	2754,9	0,0229
82,00	8200,0	297,66	1330,9	1422,5	2753,4	0,0226
83,00	8300,0	298,50	1335,7	1416,2	2751,9	0,0223
84,00	8400,0	299,35	1340,3	1410,0	2750,3	0,0220
85,00	8500,0	300,20	1345,0	1403,8	2748,8	0,0217
86,00	8600,0	301,00	1349,6	1397,6	2747,2	0,0214
87,00	8700,0	301,81	1354,2	1391,3	2745,5	0,0211
88,00	8800,0	302,61	1358,8	1385,2	2744,0	0,0208
89,00	8900,0	303,41	1363,3	1379,0	2742,3	0,0205
90,00	9000,0	304,20	1367,8	1372,7	2740,5	0,0202
92,00	9200,0	305,77	1376,8	1360,3	2737,1	0,0197
94,00	9400,0	307,24	1385,7	1348,0	2733,7	0,0192
96,00	9600,0	308,83	1394,5	1335,7	2730,2	0,0187
98,00	9800,0	310,32	1403,2	1323,3	2726,5	0,0183
100,00	10000,0	311,79	1411,9	1310,9	2722,8	0,0178
102,00	10200,0	313,24	1420,5	1298,7	2719,2	0,0174
104,00	10400,0	314,67	1429,0	1286,3	2715,3	0,0170
106,00	10600,0	316,08	1437,5	1274,0	2711,5	0,0166
108,00	10800,0	317,46	1445,9	1261,7	2707,6	0,0162
110,00	11000,0	318,83	1454,3	1249,3	2703,6	0,0158
112,00	11200,0	320,17	1462,6	1237,0	2699,6	0,0154
114,00	11400,0	321,50	1470,8	1224,6	2695,4	0,0150
116,00	11600,0	322,81	1479,0	1212,2	2691,2	0,0147
118,00	11800,0	324,10	1487,2	1199,8	2687,0	0,0144
120,00	12000,0	325,38	1495,4	1187,3	2682,7	0,0141

3.6 Abaque de dimensionnement des lignes de condensat

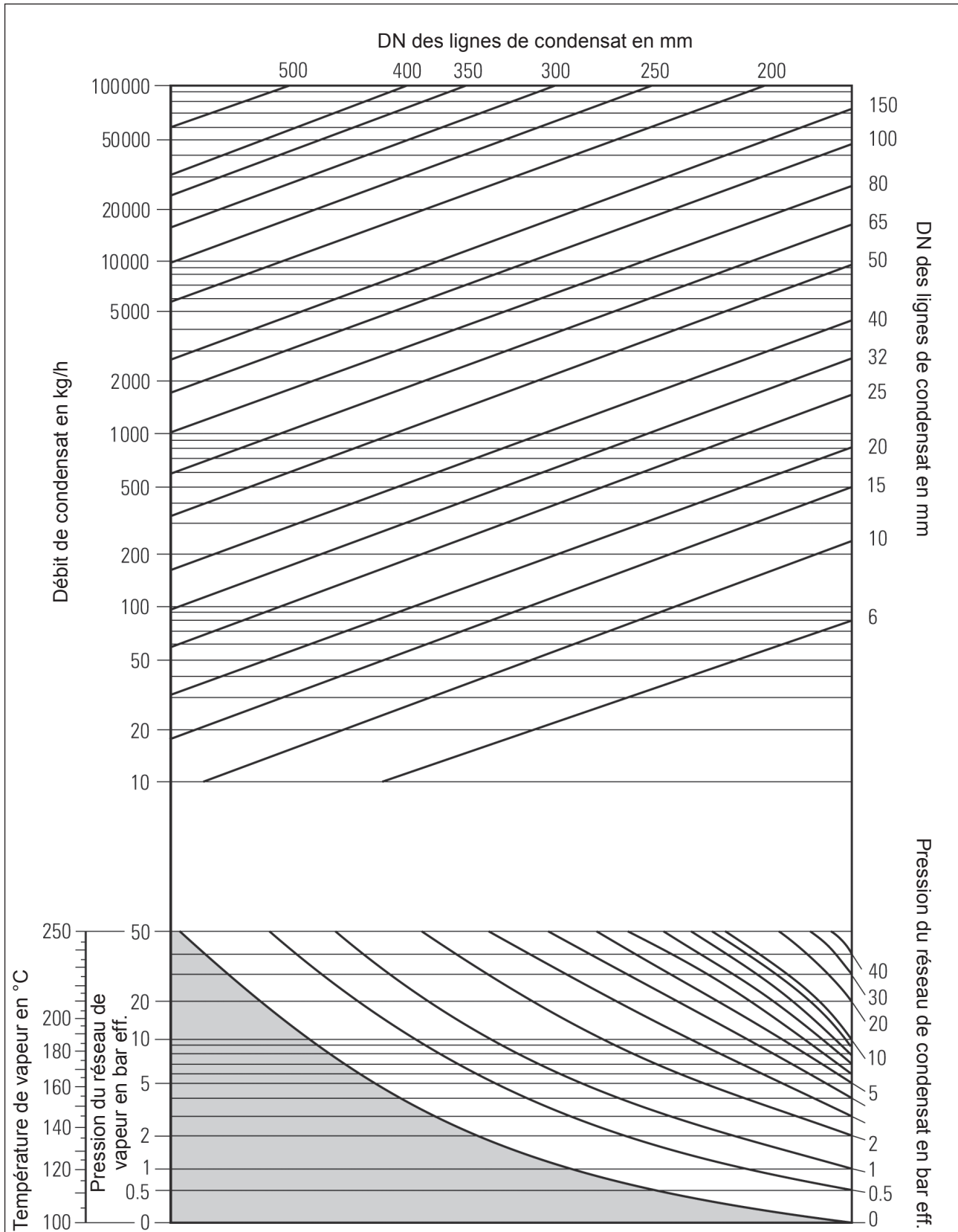
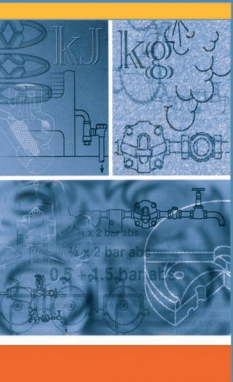


Fig. 137 Abaque de dimensionnement des lignes de condensat



BANQUE MONDIALE

Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie

3 rue Chott Mariem Montplaisir 1073 Tunis – B.P. 213
Tél : [216] 71 906 900 – [216] 71 908 305 – Fax : [216] 71 904 624
Direction de l'Efficacité Énergétique dans l'Industrie
E-mail : ugp_peeil@anme.nat.tn
Site web : www.anme.nat.tn

