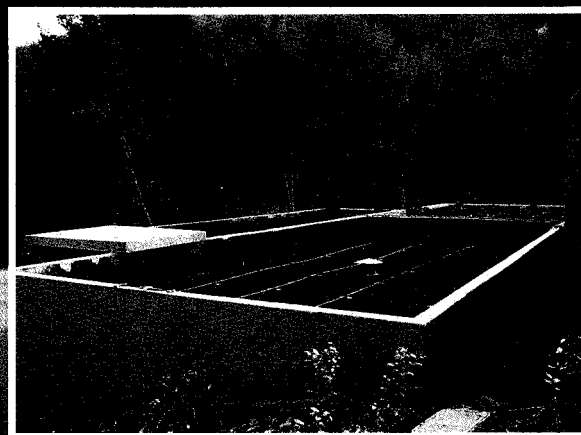


Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau

LUTTE CONTRE LES ODEURS DES STATIONS D'EPURATION



INNOVATION TECHNIQUE
FNDAE
N°13

MINISTERE DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PECHE
**DIRECTION DE L'ESPACE RURAL
ET DE LA FORET**

DOCUMENTATION TECHNIQUE
FNDAE
(Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau)

Sous-Direction du Développement Rural
19, avenue du Maine - 75732 Paris Cédex 15

Février 1993

LUTTE CONTRE LES ODEURS DES STATIONS D'EPURATION

**Caractérisation des nuisances engendrées
par les réseaux et les stations d'épuration des eaux usées,
moyens de lutte à mettre en œuvre**

Etude réalisée par l'Office International de l'Eau
Direction de la Documentation et des Données
Rue Edouard Chamberland - 87065 LIMOGES CEDEX
Tél : 55.11.47.80

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Couverture : Photos OTV

N° ISBN : 2-11087424-4

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
Qu'est-ce-que l'odorat ?	6
I - Les odeurs en assainissement	7
1) Nature et caractéristiques des composés odorants	7
2) Mécanismes de formation des mauvaises odeurs	7
2-1 Formation de composés soufrés	7
2-2 Formation des composés azotés	7
2-3 Formation des aldéhydes, cétones et acides gras volatils	7
3) Origines et sources des mauvaises odeurs	10
3-1 Origines	10
3-2 Sources	10
4) Métrologie et échantillonnage	11
4-1 L'analyse physico-chimique	11
4-2 L'analyse olfactométrique	11
5) Impact sur l'environnement	12
6) Aspects législatifs	12
6-1 Réglementation sur les odeurs en France	12
6-2 Les odeurs et la sécurité	14
II - Limitation des émissions odorantes au niveau du réseau d'assainissement	17
1) Mode et sites de production des sulfures	17
2) Mesures préventives	19
2-1 Conception	19
2-2 Réseau existant	20
3) Mesures curatives	20

III - Limitation des émissions odorantes sur stations d'épuration	25
1) Dispositions préventives contre les odeurs	25
2) Confinement et ventilation des ouvrages	25
2-1 Techniques de couverture	25
2-2 Acquis et orientations actuels en matière de ventilation	27
3) Dispersion des gaz odorants dans l'atmosphère	28
4) Traitement des odeurs par lavage	29
4-1 Les réactifs de lavage	29
4-2 Conception, technologie et éléments de dimensionnement des contacteurs gaz-liquide	35
4-3 Conditions opératoires et évaluation des performances	39
5) Traitement des odeurs par voies biologiques	40
5-1 Bioépuration des composés soufrés	41
5-2 Bioépuration des composés azotés	42
5-3 Présentation des technologies existantes	42
5-4 Elimination des composés odorants sur lit de tourbe	47
5-5 Perspectives de développement	48
5-6 Exemple de la station de Carry-Sausset	48
6) Traitement des odeurs par adsorption	49
6-1 Généralités relatives à l'adsorption	49
6-2 Le charbon actif	49
6-3 Régénération du charbon actif	51
6-4 Phénomènes physico-chimiques et biologiques	51
6-5 Conception et éléments de dimensionnement	52
6-6 Performances du procédé	53
7) Traitement des gaz odorants par incinération	54
7-1 Généralités	54
7-2 Incinération thermique	54
7-3 Incinération catalytique	56
IV - Choix d'une technique de désodorisation	57
1) Comparaisons techniques des différents procédés de désodorisation	57
2) Comparaisons économiques des différents procédés de désodorisation	58
Conclusion	59
Références bibliographiques	61
Liste des normes relatives aux odeurs	65
Sociétés actives dans le domaine du traitement des odeurs	66
Stations d'épuration armées contre les nuisances olfactives	69
Adresses utiles	71
Liste des documents techniques du F.N.D.A.E.	73

Introduction

La nature a doté l'homme d'un sens lui permettant de distinguer les diverses émanations qui s'exhalent sans cesse autour de lui.

Placé, pour ainsi dire, en vedette sur la partie la plus proéminente du visage, ce sens, qu'on appelle odorat, transmet immédiatement, au moyen de nerfs olfactifs, l'impression reçue au cerveau, qui juge, apprécie, nomme et mémorise l'odeur, d'après la sensation qu'elle fait naître.

La mémorisation semble s'accompagner de celle du contexte dans lequel l'odeur est perçue. Ainsi Marcel Proust évoque le parfum discret des madeleines trempées dans du thé et analyse le souvenir qui s'y rattache.

Notre odorat, en éveil constant, nous amène à donner une dimension hédonique à la qualité de l'atmosphère environnante. Pour Cicéron : "Point d'odeur, bonne odeur" tandis que "l'âme de Baudelaire voyage avec le parfum comme l'âme des autres voyage avec la musique".

Malgré quelques divergences personnelles, la plupart des gens s'accordent à définir des grands types de bonnes et mauvaises odeurs.

Qui n'a jamais été incommodé par les odeurs pestilencielles de tabac froid dans les wagons fumeurs, les odeurs de poubelle ne sont guère appréciées, les urinoirs publics n'ont pas besoin d'être signalés...

Quant aux bonnes odeurs, citons les fleurs, la cuisson d'un gâteau, le pain grillé et le café du matin (devenu une institution).

Bonnes ou mauvaises, toutes ces odeurs sont véhiculées dans l'air et font partie de notre environnement ; nul ne peut y échapper,

leur perception est incontournable. L'air indispensable à la vie est le bien de tous. Par conséquent sa qualité doit être préservée et être altérée le moins possible par des émanations malodorantes.

La station d'épuration est une des sources de nuisances olfactives. Une enquête réalisée aux USA par Warren Spring Laboratory a révélé que sur 814 plaintes liées aux odeurs, le plus grand nombre (179) avait pour origine les activités agricoles, suivi des installations d'épuration (115).

En résumé, les stations ne sont pas en odeur de sainteté auprès du voisinage.

Le problème n'est pas nouveau puisque dès 1890 la littérature anglo-saxonne s'intéresse aux problèmes des odeurs près des stations. Mais il se pose actuellement avec une acuité plus vive, et ce pour plusieurs raisons :

- urbanisation près des stations,
- sensibilisation des populations aux problèmes d'environnement,
- extension des réseaux d'assainissement,
- surcharge en pollution organique des stations,
- erreurs d'exploitation.

Les moyens de lutte sont nombreux, tant sur le réseau qu'au niveau de la station d'épuration :

- les dispositions préventives tentent de corriger les anomalies de fonctionnement,
- les dispositions curatives traitent les composés odorants formés par ajout de réactif sur le réseau ou par traitements sophistiqués (lavage chimique, piégeage sur charbon actif, dégradation biologique sur lit de tourbe) de l'atmosphère viciée de l'installation.

Qu'est-ce que l'odorat ?

L'anatomie de l'appareil olfactif humain est relativement bien connue. Le seuil des sensations olfactives se situe au niveau d'une zone sensorielle située au sommet et au fond des fosses nasales. Branchée en dérivation sur le canal respiratoire, cette zone est balayée, en respiration normale, par 10 % du volume d'air inspiré. L'action de flairer porte à 100 % le balayage de l'épithélium sensoriel.

L'épithélium sensoriel est un tapis dense de neurones bipolaires dont l'extrémité apicale porte des cils et dont l'extrémité opposée donne naissance à une fibre nerveuse reliée au cerveau. Lorsqu'une molécule odorante

vient en contact avec les cils olfactifs, une cascade de réactions enzymatiques rapides se déclenche et aboutit à la création d'une impulsion électrique. Le message olfactif est alors transmis au cerveau par les nerfs olfactifs [62].

L'odorat ébranle le psychisme plus profondément que l'ouïe ou la vue car les informations olfactives bypassent le système relais du cerveau et excitent directement les centres du comportement. Il s'agit donc d'une véritable perception et non d'une simple sensation. On comprend alors pourquoi certaines odeurs peuvent être très mal tolérées par l'homme [63].

Les odeurs en assainissement

[2] [3] [7] [12] [22] [24] [38] [39] [40] [42] [45] [46] [47] [48] [49] [65]

Les eaux résiduaires, chargées en matières organiques particulières et dissoutes, en composés azotés, soufrés et phosphorés, peuvent générer directement (par dégagement de composés très volatils) ou indirectement (suivant un processus biologique de fermentation en milieu réducteur) des odeurs désagréables.

1) Nature et caractéristiques des composés odorants

Les principaux composés malodorants rencontrés dans l'atmosphère des stations d'épuration peuvent être classés en quatre familles (tableau 1) :

- **les composés soufrés** : hydrogène sulfuré, mercaptans, sulfures organiques sont à l'origine des odeurs les plus répandues; ils possèdent des seuils olfactifs excessivement faibles et développent une odeur repoussante,

- **les composés azotés** : ammoniac, amines organiques et dans une moindre mesure indole et scatole; les seuils olfactifs des amines sont du même ordre de grandeur ou supérieurs à ceux des polluants soufrés,

- **les composés acides**, essentiellement des acides gras légers tels que les acides acétique, valérique, butyrique; les molécules à faible poids moléculaire C_2 à C_6 dégagent une odeur vinaigrée tandis que les chaînes carbonées importantes développent une odeur rance,

- **les aldéhydes, cétones et esters** (formaldéhyde, acétone...) offrent une gamme d'odeurs très vaste, s'étendant du suffocant au fruité écoeurant à mesure que leur poids moléculaire augmente; leurs seuils olfactifs sont supérieurs à ceux des composés azotés et soufrés.

2) Mécanismes de formation des mauvaises odeurs [12], [39], [53]

La formation des mauvaises odeurs est essentiellement due à un processus biologique de fermentation qui se déclenche en milieu réducteur.

2-1 Formation des composés soufrés

Les bactéries sulfatoréductrices (essentiellement "Desulfovibrio" et "Desulfatamaculum") réduisent les sulfates et les acides sulfoniques (RSO_3H) en sulfures et thiol. Ces bactéries sont anaérobies strictes. Elles croissent dans un domaine de pH compris entre 5 et 9,5 et de température variant entre $-5^\circ C$ et $75^\circ C$. Elles ne se développent que dans un domaine de potentiels rédox normaux compris entre -200 et -300 mV. Dans la pratique, on peut observer des dégagements d'odeurs liés à la présence d' H_2S et de sulfures organiques à partir de potentiels rédox normaux inférieurs à -50 mV.

La réduction des sulfates et des composés organiques soufrés dépend de nombreux paramètres tels la concentration en matière organique, en sulfates, en oxygène, le pH, la température, le temps de séjour ... [53] [39]

2-2 Formation des composés azotés

Les composés azotés odorants sont principalement l'ammoniac et les amines. Ils proviennent de l'urine, de la dégradation biologique des protéines et des acides aminés ainsi que de l'hydrolyse des composés organiques azotés.

Quelques acides aminés induisent directement des problèmes d'odeur [12] (voir en page 9)

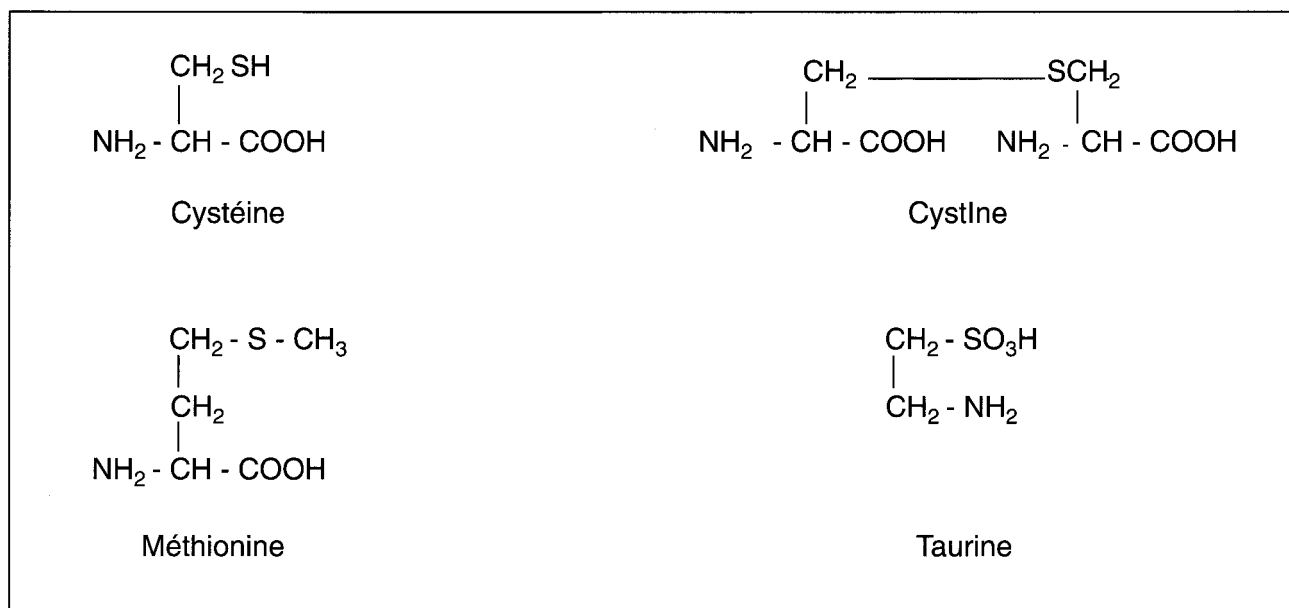
2-3 Formations d'aldéhydes, cétones et acides gras volatils

Ces composés sont en grande partie des produits de la fermentation bactérienne des carbohydrates d'abord transformés en acides (phase d'acidification) puis en alcools, aldéhydes et cétones.

Le conditionnement thermique des boues est un poste fortement générateur de composés tels l'acétaldéhyde ou l'isovaléraldéhyde (tableau 2).

Classe du composé	Composé	Masse moléculaire (g)	Formule chimique	Caractéristique de l'odeur	Seuil olfactif (mg/N m ³ air)	Tension de vapeur (atmosphère)	Température d'ébullition (°C, 760 mm Hg)
Soufrés	Hydrogène sulfuré	34,1	H ₂ S	oeuf pourri	0,0001 à 0,03	20 (25°C)	- 62
	Méthylmercaptan	48,1	CH ₃ SH	choux, ail	0,0005 à 0,08	2 (26°C)	8
	Ethylmercaptan	62,1	C ₂ H ₅ SH	choux en décomposition	0,0001 à 0,03	0,53 (18°C)	23
	Diméthylsulfure	62,13	2(CH ₃) ₂ S	légumes en décomposition	0,0025 à 0,65	0,53 (18°C)	37
	Diéthylsulfure	90,2	2(C ₂ H ₅) ₂ S	éthérée	0,0045 à 0,31	0,05 (18°C)	92
Diméthyldisulfure	94,2	2(CH ₃) ₂ S ₂	putride	0,003 à 0,014	0,078 (24°C)	109	
Azotés	Ammoniac	17	NH ₃	très piquant, irritant	0,5 à 37	0,016 (20°C)	- 33
	Méthylamine	31,05	CH ₃ -NH ₂	poisson en décomposition	0,021	2 (10°C)	- 7
	Ethylamine	45,08	C ₂ H ₅ -NH ₂	piquant, ammoniacale	0,05 à 0,83	1 (16,6°C)	17
	Diméthylamine	45,08	2(CH ₃) - NH	poisson avarié	0,047 à 0,16	2 (25°C)	7
	Indole	117,5	C ₈ H ₆ - NH	fécal, nauséabond	0,0006	< 0,001 (25°C)	254
	Scatole	131,5	C ₉ H ₈ - NH	fécal, nauséabond	0,0008 à 0,10	< 0,001 (25°C)	266
Cadavérine	102,18	NH ₂ -(CH ₂) ₅ -NH ₂	viande en décomposition	/	< 0,001 (25°C)	178	
Acides	Acétique	60,05	CH ₃ -COOH	vinaigre	0,025 à 6,5	0,001 (25°C)	118
	Butyrique	88,1	C ₃ H ₇ -COOH	beurre rance	0,0004 à 3	0,001 (25°C)	163,5
	Valérique	102,13	C ₄ H ₉ -COOH	sueur, transpiration	0,0008 à 1,3	0,001 (35°C)	186,5
Aldéhydes & Cétones	Formaldéhyde	30,03	H-CHO	acre, suffocant	0,033 à 12	1 (20°C)	- 19,5
	Acétaldéhyde	44,05	CH ₃ -CHO	fruit, pomme	0,04 à 1,8	1 (20°C)	21
	Butyraldéhyde	72,1	C ₃ H ₇ -CHO	rance	0,013 à 15	/	74,8
	Isovaléraldéhyde	86,13	2(CH ₃)-CH-CH ₂ -CHO	fruit, pomme	0,072	/	92,5
	Acétone	58,08	CH ₃ -CO-CH ₃	fruit, doux	1,1 à 240	0,26 (23°C)	56,5

Tableau 1 : Caractéristiques des principaux composés responsables des odeurs en station d'épuration d'après [38]



Acides aminés induisant directement des problèmes d'odeur

	Concentrations moyennes	Concentrations maximales	
		Sans traitement thermique *	Avec traitement thermique
Produits azotés (mg N.m⁻³)			
Azote total	2,37	21	2,15
Azote ammoniacal	2,69	20,3	1,23
Azote organique	0,26	0,8	1,23
Produits soufrés			
Sulfures totaux (mg H ₂ S.m ⁻³)	6,76	14,6	
Diméthylsulfure (mg N.m ⁻³)	< 0,15	< 0,15	2,6
Diéthylsulfure (mg N.m ⁻³)	0,36	0,73	2,5
Diméthylsulfure (mg N.m ⁻³)	0,14	0,65	2,4
Ethylmercaptan (mg N.m ⁻³)	< 0,09	< 0,09	2,3
Méthylmercaptan (mg N.m ⁻³)	0,89	1,64	5,5
Sulfure d'hydrogène (mg N.m ⁻³)	3,19	3,04	7,5
Solvants volatils (mg.m⁻³)			
Acétaldéhyde	0,022	0,04	45,25
Propionaldéhyde	0,006	0,007	1,64
Isobutyraldéhyde	0,006	0,007	2,37
Butyraldéhyde	0,006	0,007	3,55
Isovaléraldéhyde	0,006	0,007	18,52
Acétone	0,013	0,08	1,89
Butanone 2	0,006	0,007	3,3
Olfactométrie			
Seuil olfactif (K50) en UOS.m ⁻³	29 075	176 822	242 332

* Conditionnement thermique des boues

K₅₀ : facteur de dilution au seuil de détection

UOS : Unité Standard d'Odeurs

Tableau 2 : Concentrations moyennes et maximales en composés odorants principaux dans la conduite d'évacuation finale des gaz viciés d'une station d'épuration urbaine - d'après [6]

3) Origines et sources des mauvaises odeurs [7], [38], [39], [42], [49],

3-1 Origines

Les principales causes de l'émanation de mauvaises odeurs peuvent être [38] :

- la nature de l'effluent, chargé en matière organique très biodégradable ou recevant parfois des rejets industriels malodorants,

- le réseau dont la structure favorise les fermentations (temps de séjour supérieur à 3 heures en refoulement, dépôts importants de matières fermentescibles, refoulements en cascade) qui seront d'autant plus importants que la température sera élevée et que la charge organique sera forte,

- les processus de traitement des eaux (bassin d'aération avec diffuseurs peu profonds) et des boues (conditionnement thermique, chaulage, stockage) qui peuvent favoriser le dégazage des composés odorants préalablement formés dans le réseau ou générés par ces mêmes traitements d'épuration,

- la conception mal adaptée des ouvrages d'épuration qui provoque des turbulences ou des brassages trop intenses de l'effluent. C'est le cas par exemple des chutes d'eau à l'entrée des stations d'épuration ou encore d'un dégraisseur mal conçu,

- les conditions d'exploitation du réseau et de la station d'épuration qui peuvent être insuffisantes ou inadaptées.

3-2 Sources

Une récente enquête analytique réalisée sur 19 stations d'épuration [7] a montré que les postes de traitements responsables des odeurs les plus intenses sont les ouvrages d'arrivée (relevage, prétraitement), les épaisseurs et le traitement des boues (déshydratation, conditionnement thermique, stabilisation à la chaux) et leur stockage. Les principaux composés sont l'hydrogène sulfuré en majorité, le méthyl mercaptan et dans une moindre mesure les composés azotés. De fortes concentrations en aldéhydes et cétones sont détectées dans le cas particulier du conditionnement thermique des boues. Des teneurs moyennes et maximales en polluants odorants sont rapportées dans le *tableau 3*.

	N(NH ₃) mgN.m ⁻³	Norg mgN.m ⁻³	Aldéhydes totaux mg.m ⁻³	Cétones totaux mg.m ⁻³	S total mgS.m ⁻³	Mercaptans totaux mgS.m ⁻³
Relevage	0,07 (0,19)	4,17 (27,8)	< 0,02 (0,06)	0,025 (0,06)	5,59 (39)	0,046 (0,2)
Prétraitement	0,36 (3,1)	0,25 (0,76)	0,094 (0,32)	0,042 (0,21)	5,83 (36)	0,041 (0,11)
Décanteur primaire	0,10 (0,28)	0,44 (1,02)	0,014 (0,02)	0,13 (0,02)	4,69 (43)	0,076 (0,51)
Bassin d'aération (insufflation d'air)	0,065 (0,15)	0,19 (0,61)	0,006 (0,01)	0,009 (0,02)	0,48 (1,72)	0,034 (0,29)
Bassin d'aération (agitation)	0,05 (0,065)	0,044 (0,08)	0,005 (0,01)	0,005 (0,01)	0,29 (0,66)	0,013 (0,02)
Clarificateur	0,063 (0,121)	0,058 (0,086)	<0,005 (<0,005)	<0,005 (<0,005)	0,14 (0,22)	0,11 (0,18)
Collecte eau traîtée	0,24 (0,24)	0,027 (0,027)	<0,005 (<0,005)	<0,005 (<0,005)	0,025 (0,025)	<0,01 (<0,01)
Epaisseur couvert	0,5 (1,4)	0,23 (0,84)	1,166 (0,21)	0,047 (0,07)	9,79 (25,7)	0,27 (1,17)
Filtre-Pressé	0,126 (0,29)	0,05 (0,11)	<0,009 (0,001)	<0,009 (0,001)	0,38 (0,71)	< 0,01 (0,01)
Filtre à bande	0,55(1,52)	0,14 (0,48)	0,068 (0,22)	0,063 (0,2)	6,43 (22,6)	1,18 (3,81)
Centrifugeuse	-	-	-	-	0,29 (0,42)	0,19 (0,33)
Digestion Stade1	0,76 (0,76)	0,28 (0,28)	< 0,003 (0,003)	< 0,003 (0,003)	2,7 (2,7)	0,46 (0,46)
Digestion Stade2	0,31 (0,31)	0,28 (0,28)	< 0,003 (0,003)	< 0,003 (0,003)	0,18 (0,18)	0,013 (0,013)
Conditionnement thermique	0,41 (0,60)	0,04 (0,05)	24,58 (63,8)	1,29 (2,49)	0,66 (1,1)	0,085 (0,17)
Transport des boues	0,20 (0,24)	0,05 (0,1)	< 0,005 (0,005)	< 0,005 (0,0005)	0,16 (0,18)	0,05 (0,08)
Stockage des boues	5,59 (20,3)	0,26 (0,81)	0,049 (0,06)	0,049 (0,06)	0,43 (0,81)	0,027 (0,078)

Tableau 3 : Concentrations moyennes et maximales () des composés odorants à proximité des ouvrages de traitement des eaux et des boues - d'après [49]

4) Métrologie et échantillonnage [2], [44], [45], [46], [47], [48]

La métrologie des odeurs doit permettre :

- d'établir un constat initial de la situation,
- d'orienter les essais de traitement,
- de vérifier l'efficacité du traitement.

Deux types de mesure sont disponibles : la détermination analytique et l'olfactométrie.

L'analyse physico-chimique peut paraître la technique adéquate servant les trois points précédents puisque les odeurs sont liées à la présence de molécules.

Or, certains polluants sont odorants à des teneurs si faibles que la plupart des analyseurs sont incapables de les déceler. De plus, les propriétés olfactives d'un mélange sont imprévisibles : il peut y avoir inhibition ou exacerbation d'une partie ou de l'ensemble des corps purs odorants constituant le mélange.

Les informations concernant la gêne procurée pour les composés odorants seront apportées par l'analyse olfactométrique. Celle-ci fait intervenir les muqueuses olfactives des êtres humains et permet d'obtenir après "flairage" et exploitation statistique des réponses d'un jury, des informations sur la nuisance même.

En résumé, les deux approches sont complémentaires :

- la détermination analytique est objective et permet d'orienter les essais de traitement; mais elle ne donne aucun renseignement sur la nuisance olfactive,

- l'olfactométrie est à même de fournir une réponse plus directe, plus globale et plus sûre que les techniques physico-chimiques lorsqu'il s'agit d'évaluer la gêne subie; par contre, elle ne permet pas de connaître les composés responsables de l'odeur, donc ne donne aucune indication sur ce qu'il convient d'éliminer.

Plusieurs auteurs ont mis en avant l'intérêt de coupler les analyses physico-chimiques avec l'analyse sensorielle pour évaluer la qualité, la composition et l'intensité d'une source d'odeur en toute objectivité.

4-1 L'analyse physico-chimique

L'analyse physico-chimique des composés odorants n'a, jusqu'à ce jour, fait l'objet d'aucune norme ; les méthodes employées s'appuient sur des travaux de recherche [46], [47], [48], effectués en laboratoire.

Celles-ci permettent une détermination :

- exhaustive des constituants gazeux,
- par famille de polluants.

Le mode d'échantillonnage est souvent lié au protocole d'analyse choisi : prélèvement global pour l'analyse exhaustive (chromatographie en phase gazeuse, spectrométrie de masse) et prélèvement spécifique pour l'analyse par famille (colorimétrie, gravimétrie).

4-2 L'analyse olfactométrique

Les techniques olfactométriques sont nombreuses (AFNOR, CEA, PAS), et ont toutes en commun le fait de faire appel à la réponse verbale ou écrite de sujets humains pour mesurer l'intensité des stimulus odorants.

Elles consistent à mesurer :

- la concentration d'une atmosphère odorante au seuil de détection*,
- l'intensité odorante d'une atmosphère, généralement exprimée par rapport aux niveaux d'une gamme donnée d'une échelle de référence**,
- l'efficacité d'abattement d'odeurs***.

* Le seuil de détection (ou de perception) correspond à la valeur de la concentration du composé odorant pour laquelle 50 % du jury perçoit l'odeur de ce composé. Chaque mélange ou corps pur odorant peut être défini par une concentration seuil.

** La mesure de l'intensité odorante d'une atmosphère consiste à comparer l'intensité odorante d'un effluent gazeux aux intensités d'une gamme étalon constituée de concentrations connues de corps purs (butanol 1 ou pyridine).

*** La mesure de l'efficacité d'abattement d'odeurs est basée sur la dilution de prélèvements effectués en amont et aval de l'unité de traitement et sur l'observation olfactive. Par modification des réglages de dilution à chacune des branches de

l'olfactomètre, le jury essaie d'obtenir deux niveaux odorants proches. Connaissant les valeurs de dilution aux deux branches, le taux d'abattement A est déterminé suivant :

$A = 1 - F$ (F = taux de dilution aval / taux de dilution amont)

L'analyse olfactométrique est subjective. C'est pourquoi la qualité de la mesure repose avant tout sur des conditions opératoires strictes et une solide exploitation statistique des résultats [45].

Le *tableau 4* présente respectivement les avantages et inconvénients des méthodes développées.

5) Impact sur l'environnement [7], [48]

Une station d'épuration se caractérise par la coexistence :

- de sources d'émissions ponctuelles dont l'odeur est souvent très intense : bâtiment renfermant l'unité de traitement des boues, puisards, stockage des refus, épaisseur...

- d'ouvrages à l'air libre et de surface importante n'émettant pas d'odeurs fortes : décanteurs, bassin d'aération...

Il est délicat de définir avec certitude les sources majoritairement responsables d'une gêne au voisinage. Cependant, il apparaît que les déterminations actuelles accordent trop de poids aux sources intenses mais ponctuelles et sous-estiment les sources diffuses de grande surface [48].

Des mesures physico-chimiques et olfactométriques faites en parallèle sur plus de 15 installations de désodorisation [7] ont permis d'établir des concentrations seuil sur les composés majoritaires qui correspondent à l'absence de nuisance olfactive pour le voisinage (*tableau 5*).

6) Aspects législatifs

6-1 Réglementation sur les odeurs en France

6-1-1 Rappels

La réglementation sur les odeurs repose essentiellement sur la loi 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la

protection de l'environnement et son décret d'application du 21 septembre 1977.

Suivant la gravité des dangers ou des inconvénients présentés, ces installations sont soumises à déclaration ou autorisation. La procédure d'autorisation correspond aux installations impliquant le plus de risques ou d'inconvénients. Pour assurer une certaine homogénéité des prescriptions fixées par le Préfet, le Ministère de l'environnement a publié :

- des arrêtés types pour les installations soumises à déclaration,

- des arrêtés ministériels et des instructions techniques pour les installations soumises à autorisation,

- en dehors de ces textes relatifs aux installations classées, il existe deux textes concernant la pollution atmosphérique et les odeurs :

- Loi du 2 août 1961 : son domaine d'application est très vaste (immeubles, établissements industriels, commerciaux, artisanaux ou agricoles, véhicules...). Modifiée le 7 juillet 1980, elle crée l'Agence pour la Qualité de l'Air (A.Q.A.), établissement public de l'Etat à caractères industriel et commercial, chargé de faciliter et de réaliser des actions de surveillance, de prévention et d'informations de pollutions atmosphériques.

- Loi du 19 décembre 1990 et son décret d'application du 26 juillet 1991. Intégration de l'A.Q.A. à l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

Remarque : Lorsqu'une installation non visée par la nomenclature des installations classées présente des inconvénients, le Maire dispose des pouvoirs de police (code des communes) nécessaires pour exiger de l'exploitant qu'il préserve mieux la tranquillité ou le bien-être de ses voisins. Au plan technique, ces pouvoirs s'appuient sur le règlement sanitaire départemental. Celui-ci est un ensemble de prescriptions prises dans chaque département par le Préfet. Le Maire est chargé de l'exécution de ces dispositions. Il peut faire appel à la DDASS, DSV, DDAF et à l'inspection des installations classées (coordination DRIRE) via l'autorité préfectorale pour des problèmes plus spécifiques.

- en cas de gêne olfactive, un particulier peut :

- porter plainte auprès du procureur de la République qui décidera de la suite à donner,

GRANDEUR	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Dilution au seuil	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode normalisée et couramment utilisée - Distribution de valeurs numériques aisément interprétables par un profane - Permet un traitement statistique des réponses (binaires) - Définit le seuil de perception d'une odeur 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne donne pas d'information sur le caractère plaisant ou déplaisant de l'odeur - Non utilisable quand le débit est variable car il faut 30 mn à 1 heure pour tracer la courbe
Variation de l'intensité avec la dilution	<ul style="list-style-type: none"> - Rend apparente la transformation de la nature de l'odeur lors d'un traitement - S'applique au cas des niveaux odorants fluctuants 	<ul style="list-style-type: none"> - Soumet la muqueuse olfactive à des concentrations en composés odorants élevées, d'où des temps de récupération assez longs et une reproductibilité des résultats mauvaise.
Efficacité d'abattement d'odeurs	<ul style="list-style-type: none"> - Permet de mesurer directement l'efficacité d'une unité de traitement - Travaille au-dessus du seuil 	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode non consacrée par l'usage international - Validité limitée aux seuls cas où la nature de l'odeur ne change pas avec la dilution - Basée sur un postulat : l'efficacité du système de traitement est la même quelle que soit l'intensité amont

Tableau 4 : Avantages et inconvénients des diverses méthodes olfactométriques - d'après [2]

Composé en mg.Nm ⁻³ d'air	Concentration souhaitable en sortie désodorisation en mg.Nm ⁻³ d'air
- Hydrogène sulfuré H ₂ S	≤ 0,1
- Sulfures totaux (en H ₂ S)	≤ 0,15
- Mercaptans (en CH ₃ SH)	
- Diméthylsulfure (CH ₃ -S-CH ₃)	≤ 0,07 sur le total
- Diméthyldisulfure (CH ₃ -S-S-CH ₃)	
- Ammoniac (NH ₃)	≤ 5
- Amines (en CH ₃ NH ₂)	≤ 0,1
- Aldéhydes (CH ₃ -CHO)	
- Cétones (CH ₃ -CO-CH ₃)	< 0,4 sur total
- Seuil olfactif K ₅₀ en unités standards d'odeur	≤ 250

K₅₀ : Facteur de dilution au seuil de détection

Tableau 5 : Concentrations seuils souhaitables sur les principaux composés odorants en sortie désodorisation de station d'épuration afin de garantir l'absence de nuisance pour le voisinage - d'après[7]

- assigner, avec le concours d'un huissier, le responsable de cette nuisance devant le tribunal d'instance,

- porter plainte devant le tribunal administratif contre le Maire de la commune où les nuisances olfactives sont générées pour :

- n'avoir pas fait respecter un arrêté municipal qui aurait permis la réduction de ladite nuisance,

- ne pas avoir rédigé ce dernier ;

- demander au tribunal administratif l'application de l'article 26 de la loi sur les installations classées.

6-1-2 Arrêtés ministériels, circulaires et instructions techniques

- Des dispositions d'aménagement sont établies :

- éviter que les aires de stockage, bassins, etc. ne constituent une source de nuisances pour le voisinage,

- construire des cheminées dont la hauteur permettra une bonne dispersion des émissions,

- respecter une distance minimale d'éloignement vis-à-vis de tiers.

La circulaire du 10 juin 1976 du Ministère de la Santé relative à l'assainissement des agglomérations et à la protection sanitaire des milieux récepteurs prévoit un éloignement minimal des installations proprement dites vis-à-vis des maisons d'habitation, écoles et d'une manière générale de tout lieu habité :

"Cette condition exige au moins une largeur de 50 mètres, sauf si sur une bande d'au moins 35 mètres on peut établir une plantation dense de rangées d'arbres disposés en quinconce, constituée d'essences à feuilles persistantes".

- Des dispositions plus exigeantes sont fixées pour les porcheries (instruction technique du 12.08.76). Seules les dispositions relatives aux équarissages (instruction technique du 27.06.77) sont réellement adaptées aux nuisances olfactives.

6-2 Les odeurs et la sécurité

Les teneurs en composés odorants sur le lieu de travail (*Tableau 6*) ne doivent pas dépasser les valeurs limites relatives à la santé des travailleurs (TLV).

Le système de ventilation doit permettre de réduire l'odeur ambiante au niveau sanitaire acceptable.

Le seuil de perception est très inférieur au seuil de toxicité. Ceci permet d'envisager l'appareil olfactif humain comme appareil de détection prévenant les dangers.

Cependant, certains phénomènes diminuent considérablement l'intérêt de l'olfaction pour la prévention des risques :

- accoutumance et saturation des muqueuses olfactives,

- comportement particulier de l'hydrogène sulfuré qui paralyse l'odorat et devient inodore à forte concentration.

COMPOSE	TLV		Seuil olfactif	
	ppm	mg.Nm ⁻³	ppm	mg.Nm ⁻³
Hydrogène sulfuré	10	14	0.0005	0.0007
Méthyl mercaptan	0.5	1	0.0021	0.0042
Ethyl mercaptan	0.5	1.25	0.001	0.0025
Ammoniac	25	18	46.8	33
Méthylamine	10	12	0.02	0.03
Acide acétique	10	25	1.0	2.5
Formaldéhyde	2	3	1.0	1.2
Acroléine	0.1	0.25	0.2	0.5
Acétone	1000	2400	100	240
Acétaldéhyde	100	180	0.21	0.38

D'après LEONARDOS and Coll

* TLV : Valeur limite relative à la santé des travailleurs exposés en continu pendant 8 heures.

Tableau 6 : Seuils olfactifs et TLV des principaux composés malodorants rencontrés dans l'atmosphère des stations d'épuration.

Une étude réalisée à l'Institut National de la Recherche sur la Sécurité a comparé les critères de dangers et de toxicité au seuil de perception olfactif. Il en résulte que seules six substances (sur les 217 analysées) permettent d'utiliser l'odorat comme moyen d'alerte. Il s'agit de l'acétate d'éthyl, du chlorométhane, du méthanol, de l'octane, du tétrahydrofurane et du xylène.

Par conséquent, en ce qui concerne des composés malodorants rencontrés dans l'atmosphère des stations d'épuration et étant potentiellement dangereux (H_2S et CH_4 en particulier), il convient de disposer aux points soupçonnés des détecteurs spécifiques et/ou d'équiper le personnel de capteurs portables lors d'interventions sur des postes critiques.

Les détecteurs d' H_2S et de CH_4 , en poste fixe, seront installés respectivement aux points bas et haut de l'installation, du fait de leur différence de densité par rapport à l'air.

Remarque : Maux encourus par inhalation d'hydrogène sulfuré :

- Entre 0 et 50 ppm

Le gaz est malodorant et dégage une odeur d'œufs pourris. Une exposition prolongée dans un environnement de 10 à 20 ppm peut entraîner des problèmes pulmonaires et digestifs.

- Entre 50 et 200 ppm

Le gaz n'est plus perçu par l'odorat et une inhalation du gaz cause instantanément de graves troubles pulmonaires. Une exposition prolongée à de tels taux entraîne la mort.

- Au-delà de 200 ppm et pour des valeurs de l'ordre de 600 à 700 ppm

Le gaz est totalement inodore. La mort est quasi-instantanée.

Limitations des émissions odorantes au niveau du réseau d'assainissement

2

[6] [22] [40] [53] [54] [55] [56] [57] [59] [66]

Le réseau d'assainissement est le lieu privilégié des fermentations anaérobies : absence d'oxygène en écoulement à section pleine, présence de dépôts de matière organique...

Les composés malodorants formés sont principalement des composés soufrés réduits (H_2S en majorité).

Leur production est maximale dans les conduites de refoulement et pose de réels problèmes en réseau gravitaire.

En effet, outre les nuisances olfactives qu'ils engendrent, les sulfures sont toxiques et mettent en péril les ouvrages (canalisations, poste de refoulement). L'hydrogène sulfuré produit dans l'effluent est dégagé dans l'atmosphère et est oxydé, par des bactéries aérobies, en acide sulfurique au niveau des parois de la conduite. La corrosion des ciments (matériaux alcalins) suit un mécanisme réactionnel complexe [54] et peut aboutir à la rupture des ouvrages.

Tous les départements littoraux ont des problèmes d'émanations d' H_2S . En revanche, les départements de montagne semblent épargnés.

Les dispositions d'intervention peuvent être préventives (conception adaptée, apport d'oxygène libre ou combiné) et/ou curatives (ajout de réactifs oxydants).

Les réactifs pouvant être utilisés sont nombreux : l'oxygène, les sels de nitrate, le chlore et ses dérivés, le permanganate de potassium, les sels métalliques, l'ozone, l'eau oxygénée... [55].

En France, les produits généralement adoptés sont l'oxygène, l'eau oxygénée et le sulfate ferreux.

1) Mode et sites de production des sulfures [53]

La production des sulfures est due à l'activité de bactéries sulfato-réductrices ne se développant que dans des milieux à bas potentiel d'oxydo-réduction, dénués d'oxygène dissous et offrant un pH de 5 à 9,5. Ce processus biologique est par ailleurs influencé par les paramètres suivants [53] :

- *Température* : l'augmentation de la température favorise le développement des bactéries sulfato-réductrices.

- *Temps de séjour* : au-delà d'un temps de séjour (dans un refoulement ou une canalisation gravitaire en charge) de 2 heures, l'effluent est considéré suffisamment septique pour permettre la formation de sulfures.

- *Vitesse instantanée des effluents dans la conduite* : la valeur d'auto-curage, $0,5 \text{ m.s}^{-1}$, évite la sédimentation des particules dans le réseau, par contre la remise en suspension des dépôts formés entre deux pompages nécessite une vitesse instantanée supérieure ou égale à $1,2 \text{ m.s}^{-1}$.

- *Concentration en MES* : les matières en suspension interviennent comme support biologique et source de carbone et favorisent donc la croissance bactérienne.

Le *tableau 7* indique les risques de production de sulfure en fonction des interactions entre les paramètres majeurs ($T^\circ\text{C}$, T_s , V_m et EH).

La majorité des problèmes d'odeurs en réseau se situe au niveau :

- des regards de passage recevant un effluent d'une conduite en charge dont le temps de séjour est trop long (*figure 1*),

- des collecteurs gravitaires au débouché de refoulement,

- des collecteurs gravitaires à faible pente.

Température Note	5° 0	10° 2	15° 4	20° 10	> 20° 20
Temps de séjour moyen 24 h Note	1h 0	3h 1	6h 4	12h 6	24h 15
Vitesse moyenne du flux (m.s ⁻¹) Note	1	0,8	0,6	0,4	0,2
Vitesse instantanée 0,6 m.s ⁻¹	-	-	-	10	15
Vitesse instantanée 1 m.s ⁻¹	0	1	2	6	10
Vitesse instantanée 1,5 m.s ⁻¹	0	0	0	2	6
Potentiel redox mV Note	+200 0	+100 3	0 15	-100 30	-200 >30

Si la somme des points est :

0-5 : risque nul

5-10 : risque faible

10-20 : risque important

20-30 : risque certain

Tableau 7 : Evaluation des risques de production de sulfure d'après FAYOUX

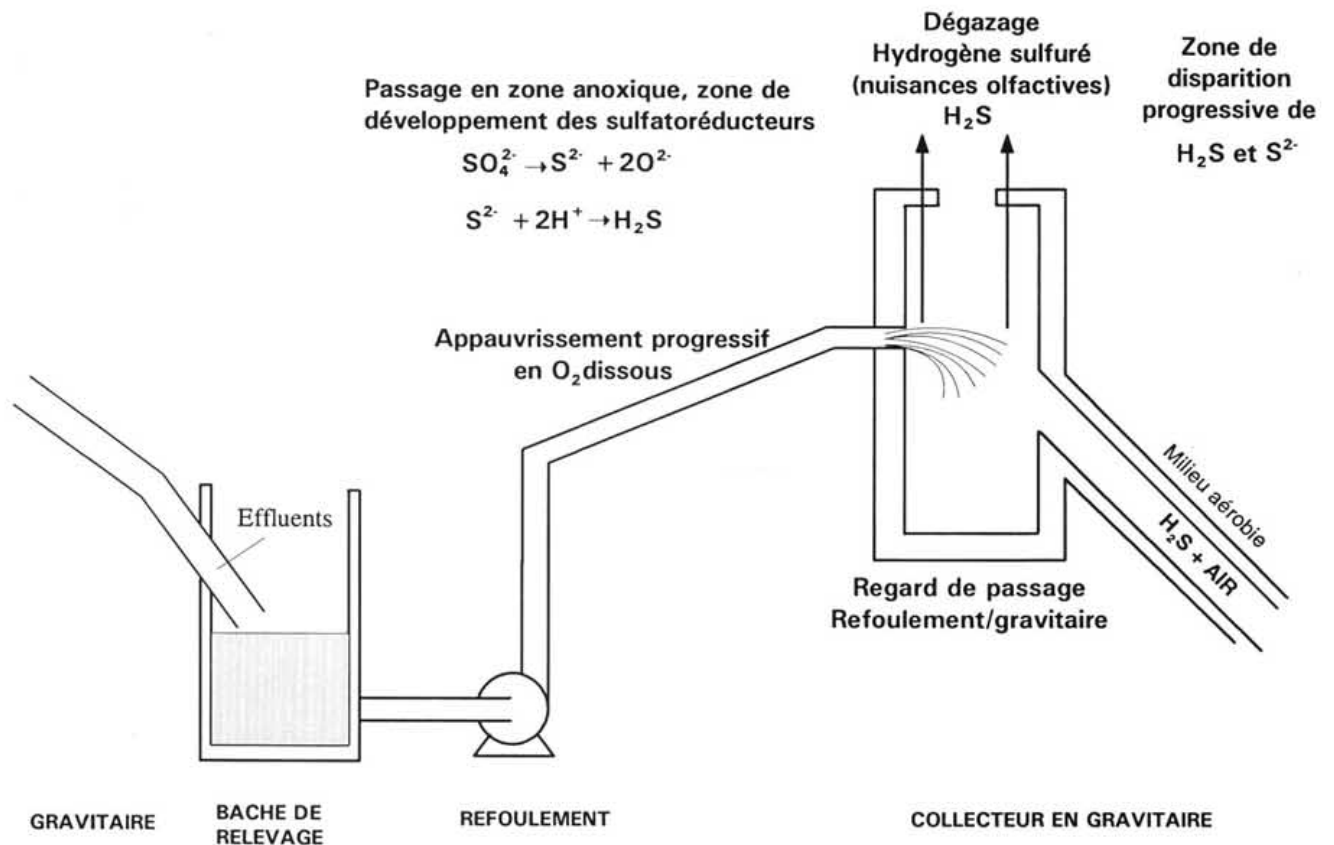


Figure 1 : Les différentes étapes de production d'odeurs dans les réseaux d'assainissement

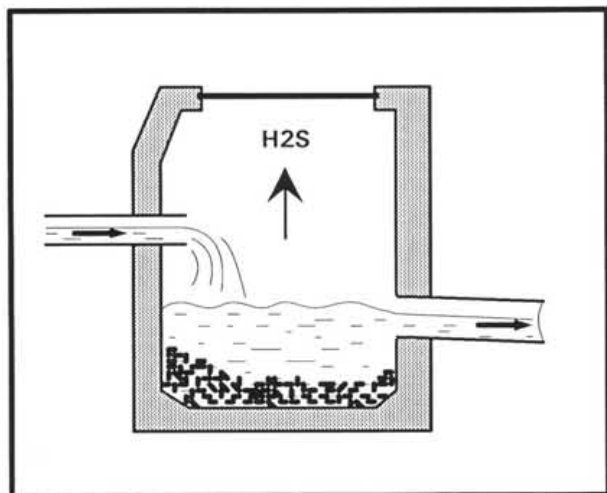
2) Mesures préventives [6], [40], [66]

2.1 - Conception

Considérant les observations précédentes, il est aisé de constater que la limitation des puanteurs peut être le fruit de précautions hydrauliques prises dès la conception du réseau.

Celles-ci concernent le dimensionnement du réseau, des postes de pompage et le choix des équipements et devraient s'attacher à :

- limiter les temps de séjour hydrauliques,
- respecter les conditions d'autocurage dans les canalisations,
- évacuer les dépôts fermenticides dans les ouvrages de liaison gravitaire et les puisards de pompage,

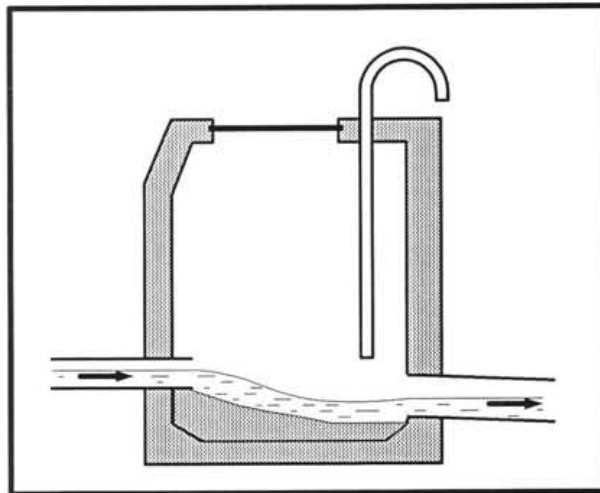


La décharge des effluents entraîne des turbulences qui favorisent le dégagement d'hydrogène sulfuré.

- d'optimiser la section de la conduite. Dans les zones à fortes variations saisonnières de population, une solution consiste à doubler le réseau de refoulement : une conduite de faible diamètre est réservée au transport des effluents en période d'hiver, tandis qu'une autre de diamètre supérieur est utilisée en parallèle en périodes estivales.

Ainsi, le réseau de la ville d'Hyères a subi quelques modifications hydrauliques [6] :

- construction d'une conduite double en Ø 150 à la place d'une conduite de refoulement en gros diamètre Ø 250 afin de réduire le temps de séjour aux périodes de faible débit ;
 - construction d'un poste de refoulement intermédiaire sur un tronçon en refoulement de 2 km.
- Des dispositions constructives peuvent être prises au niveau des regards de passage (figure 2) ▼



L'extrémité de la conduite de refoulement est immergée afin d'éviter les turbulences. Une ventilation de l'ouvrage par un évent est souhaitable.

Figure 2 : Dispositions préventives applicables aux regards de passage.

- limiter la septicité de l'effluent au départ du refoulement,
- ventiler les réseaux.

• Sur ces bases, qui impliquent avant tout une bonne maîtrise des débits transités, les actions peuvent être :

- de préférer les solutions gravitaires ou de relevage aux solutions comportant des refoulements,
- de limiter la longueur du refoulement en substituant deux refoulements séparés par un gravitaire à un seul refoulement,

• En ce qui concerne la nature des matériaux employés, il est préférable, en ne considérant que l'aspect corrosion par H₂S, d'adopter des matériaux inertes tels que le PVC, le polyéthylène ou le grès. Une solution efficace consiste à utiliser des regards étanches en fibre polyester ou polyéthylène et à protéger la conduite de liaison gravitaire sur une vingtaine de mètres par un gainage en PVC.

2.2 - Réseaux existants

• Sur les réseaux déjà existants, souvent surdimensionnés, les solutions hydrauliques permettant de limiter la production de sulfure sont :

- la diminution du diamètre par tubage de la canalisation,
- la modification du tracé permettant de réduire la longueur de refoulement,
- la pose d'une seconde conduite de plus faible diamètre,
- l'augmentation du débit des pompes afin d'accroître les vitesses d'écoulement instantanées.

Ces mesures ont l'intérêt de ne pas entraîner de contraintes d'exploitation. Cependant, un curage régulier des canalisations à risques a une action préventive efficace grâce à la réduction du biofilm et l'élimination des boues décantées.

Enfin, les techniques de réhabilitation du réseau (gainage, tubage...) permettent de protéger les conduites de la corrosion et doivent s'accompagner d'un traitement curatif.

• *L'aération* des effluents, couramment employée aux USA et dans les pays anglo-saxons, consiste à injecter de l'air dans la conduite. De nombreux procédés sont développés : air comprimé, système venturi, pompage par air lift, tube en U, réservoir d'air sous pression [40].

La quantité d'air nécessaire varie selon les caractéristiques de l'effluent, du temps de séjour, de la température et de la pression.

Cette technique pose cependant des problèmes pour les conduites sous pression et peut provoquer un entraînement par le gaz des composés soufrés.

• L'adjonction de *nitrates* en poudre est peu utilisée. La manipulation est astreignante et un dosage précis est requis afin d'éviter tout excès d'ions nitrate dans l'effluent.

3) Mesures curatives [22], [40], [53], [56], [66]

Les méthodes préventives ne permettent pas toujours de résoudre seules les problèmes d'odeurs sur le réseau. Les solutions complémentaires disponibles sont alors :

- le traitement de l'air vicié par adsorption sur charbon actif (cas du réseau de la ville de Fréjus-St Raphaël) ou par lavage (La Baule : tours de lavage NaClO/NaOH) (cf chapitre 3.4),

- le traitement de l'effluent par adjonction de réactifs (O_2 , H_2O_2 , Cl_2 , $KMnO_4$, Fe^{2+}) conduisant à l'oxydation des sulfures en soufre natif ou en sulfates, ou à la précipitation en sulfure de fer,

- le traitement à l'oxygène pur O_2 (Presqu'île d'Arvert - Toulon-Ouest...) demande un matériel relativement important et l'installation d'une zone de sécurité autour de la station de pompage. Les dispositifs d'injection sont multiples [40] : injection directe en tube en U simple ou multiple, sous pression, en bicône.

La quantité d'oxygène à fournir peut être relativement importante du fait de sa consommation par les bactéries aérobies présentes dans l'effluent.

Dans la pratique, nous citerons l'installation de désodorisation du réseau d'assainissement de la presqu'île d'Arvert qui alimente la station d'épuration de Saint-Palais-sur-Mer [66].

Le matériel nécessaire à ce type d'intervention se compose, *figure 3* :

- d'un tableau de commande et de contrôle,
- d'un injecteur d'oxygène pur constitué d'une conduite branchée au refoulement immédiat du groupe de pompage,
- d'un stockage d'oxygène à l'état liquide muni de son système de vaporisation et de détente.

Le taux de traitement appliqué est de 170 g.m^{-3} , soit $8,5 \text{ g } O_2$ par g de sulfure. Le coût d'exploitation s'élève à $0,75 \text{ F.m}^{-3}$ d'eau traitée.

• L'ajout d'eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène H_2O_2 est adopté sur les réseaux de La Baule, Bormes-le-Lavandou, Quiberon, Livery...

Avec l'eau oxygénée, les deux modes d'action (préventif et curatif) sont possibles, H_2O_2 étant à la fois une source d'oxygène par décomposition et un oxydant puissant.

La réaction globale d'oxydation des sulfures par H_2O_2 est rapide : 90 % de H_2O_2 réagissent en moins de 10 à 15 minutes et la réaction s'avère complète au bout de 20-30 minutes [40].

L'équipement requis pour l'injection de peroxyde d'hydrogène se compose d'une

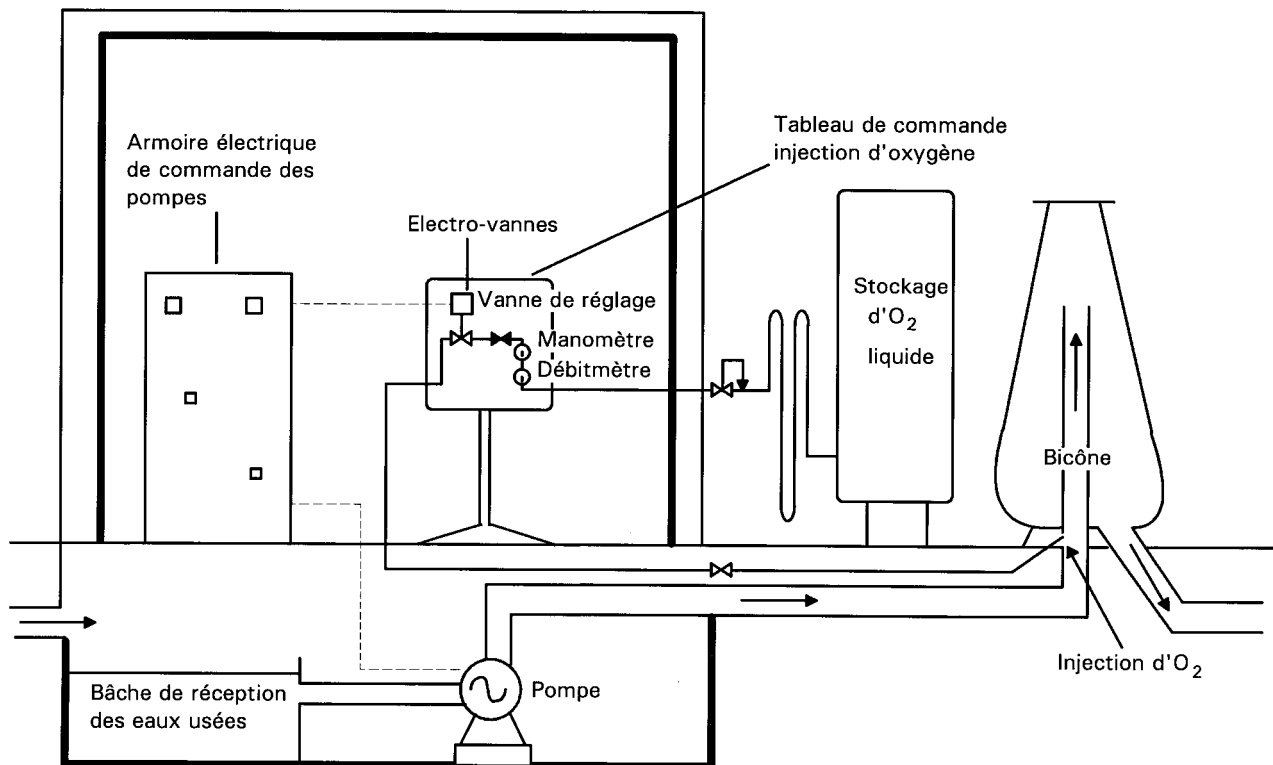


Figure 3 :

Schéma d'un poste de relèvement avec injection directe d'oxygène pur (Procédé Air Liquide).

citerne de stockage et d'une pompe doseuse asservie au démarrage des pompes de refoulement. La simplicité de la mise en œuvre ne doit pas faire oublier que des précautions sont nécessaires lors du stockage et de la manipulation du réactif.

Des mesures expérimentales [53] effectuées sur le SIVOM de La Baule et de Piriac ont permis de préciser le mode et les limites d'application, les performances et le coût du traitement à l'eau oxygénée :

- en prévention, le peroxyde d'hydrogène, injecté à l'aspiration des pompes de refoulement, a pour mission d'oxyder les sulfures présents dans l'effluent au point d'injection, de réagir avec les sulfures formés tout au long du réseau et d'améliorer la qualité du milieu aqueux.

Ceci n'est réalisable que pour des temps de séjour de l'effluent dans la conduite inférieure à 2 h. Au-delà, le coût devient prohibitif. Ainsi, l'action préventive nécessite un taux de traitement de 12 moles H_2O_2 pur/mole de sulfures, soit un coût supérieur à $1F.m^{-3}$.

- le traitement curatif, où l'injection est réalisée en un point proche du regard d'arrivée du refoulement, permet un abattement des sulfures supérieur à 90 %. La quantité du réactif est de l'ordre de 50 g H_2O_2

pur/ m^{-3} , soit un coût de $0,55 F.m^{-3}$. Le taux de traitement est alors de 6 à 7 moles H_2O_2 pur/mole de sulfures. Cependant, pour obtenir une efficacité maximale en utilisant la méthode curative, il sera indispensable de suivre les dispositions suivantes :

- . l'injection du réactif doit être réalisée en un point proche du regard de fin de refoulement, de telle manière qu'un temps de contact de 30 à 45 minutes soit respecté,

- . l'injection doit être effectuée sur une conduite de refoulement en charge et doit être asservie au débit refoulé et au Redox. Le seuil Redox est fixé de telle façon que le potentiel d'oxydo-réduction de l'effluent en fin de refoulement soit proche de $-50 mV (Ag/AgCl)$.

- Le traitement par précipitation aux *sels de fer* (clairtan, chlorure ferrique, sulfate ferreux) est assurément le procédé le moins coûteux, mais outre l'inconvénient de colorer l'effluent en noir, les sels de fer flocculent dans le réseau et forment des boues.

Des essais [56], récemment effectués sur le réseau de la ville de Sète ont porté sur l'expérimentation du chlorure ferrique comme agent de précipitation.

De bons résultats ont été obtenus : réduction des concentrations en sulfure de

valeurs résiduelles inférieures à 1 mg.l⁻¹. La dose de chlorure ferrique appliquée était de 5,9 à 8,3 mg de solution commerciale à 41 % par mg de sulfure. Le coût se situe alors entre 8,8 et 12,5 centimes par m³ d'eau traitée.

Autre illustration, début 1992, le traitement des sulfures à l'eau oxygénée sur le réseau de Sanary-Bandol est substitué par un traitement au chlorure ferrique de mise en œuvre plus aisée et de coût moins élevé.

Les points d'injection sont au nombre de 3 sur le réseau de Sanary et de 2 sur celui de Bandol à raison de 50 g de produit commercial par m³ d'effluent.

La commune de Saint-Cyr a depuis peu adopté ce mode de traitement.

- Le chlore et le permanganate de potassium KMnO₄ sont des réactifs peu utilisés. Ils sont onéreux et présentent des effets secondaires indésirables :

- l'ajout de Cl₂ entraîne l'acidification du milieu et inhibe l'activité bactérienne, ce qui est préjudiciable au traitement biologique situé en aval,

- le dioxyde de manganèse (produit de réaction) est insoluble et peut être à l'origine de colmatage.

Types de dénomination traitement		Caractéristiques physiques et chimiques	Dose théorique calculée sur H ₂ S	Dose pratique	Mise en oeuvre	Coût estimé en réactifs ou en énergie en F/m ³ traité *
Curatif	CLAIRTAN	FeClSO ₄ + Aq liquide d = 1,5	7,2 g/g S ²⁻	11 g/g S ²⁻	pompe doseuse	0,05
	CHLORURE FERRIQUE	FeCl ₃ , 6H ₂ O liquide d = 1,46 41%	6,8 g/g S ²⁻	10 g/g S ²⁻	pompe doseuse	0,077
	SULFATE FERREUX	FeSO ₄ , 7H ₂ O Poudre en vrac Poudre en sac	8,7 g/g S ²⁻	10 g/g S ²⁻	bac de préparation + pompe doseuse ou filtre percolateur	0,04
	PEROXYDE D'HYDROGENE (eau oxygénée)	H ₂ O ₂ liquide d = 1,135 %	2,85 g/g S ²⁻	5,7 g/g S ²⁻	pompe doseuse	
	CHLORE	NaOCl à 48° Chlorométrique	8,8 g Cl ₂ /g S ²⁻	5 à 15 g Cl ₂ /g S ²⁻	pompe doseuse	0,26 à 0,79
	PERMANGANATE DE POTASSIUM	Poudre	13,2 g/g S ²⁻	13,5 g/g S ²⁻	bac de préparation + pompe doseuse	
Curatif et Préventif	OXYGENE LIQUIDE	O ₂ liquide sous pression	2 g/g S ²⁻	15 g O ₂ /m ³ .h ⁻¹ de temps de séjour (45 g/m ³)	détendeur diffuseur	0,218
	EAU OXYGENEE	H ₂ O ₂ liquide 35 % d = 1,1	2,85 g/g S ²⁻	8,5 g/g S ²⁻	pompe doseuse	0,277
	OZONE	Produit sur site par un ozoneur	4,5 g/g S ²⁻	Très peu utilisé	Cuve avec diffuseur	0,6
Préventif	AERATION	Air comprimé	2 gO ₂ /g S ²⁻	180 à 200 l.m ⁻³	Compresseur diffuseur	
	SELS DE NITRATES	NaNO ₃ poudre Ca(NO ₃) ₂ poudre	10 g/g S ²⁻ 12 g/g S ²⁻	bac de préparation + pompe doseuse	

Bases de calcul pour O₂ liquide et l'aération : conditions de temps de séjour du réseau de 3 heures en moyenne (12 heures au maximum)

* Bases de calcul : prix 1986 pour les réactifs, teneur moyenne de 10 mg.l⁻¹ en sulfure dans l'effluent et dans les conditions de temps de séjour du réseau de 3 heures en moyenne (12 heures au maximum).

Tableau 8 : Caractéristiques des différents traitements en réseau - d'après [22]

Remarque : Hydratec a évalué en 1984 les coûts financiers des traitements à l'oxygène pur, à l'eau oxygénée et au sulfate ferreux ; leurs conclusions sont les suivantes :

- l'utilisation du sulfate ferreux est la moins onéreuse des solutions chimiques étudiées,

- le traitement curatif à l'eau oxygénée est toujours plus avantageux que le traitement préventif,

- le traitement curatif à l'eau oxygénée est plus avantageux que le traitement à l'oxygène pur pour de faibles débits d'effluent,

- le traitement à l'oxygène pur est plus avantageux que le traitement préventif à l'eau oxygénée sur des tronçons avec des débits élevés.

Limitations des émissions odorantes sur stations d'épuration

3

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [15] [16] [18] [19] [20] [23]
[24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [34] [35] [36] [37] [58] [61] [64]

1) Dispositions préventives contre les odeurs [58], [61]

Les émissions de gaz malodorants sont des phénomènes courants sur les stations d'épuration, et les exploitants, quotidiennement confrontés au problème, tentent de les traiter.

La tendance actuelle semble être la mise en œuvre quasi-systématique d'unités de désodorisation là où les besoins se font ressentir.

Cependant, si les émanations nauséabondes sont incontournables au niveau des rejets industriels de composés volatils ou du conditionnement thermique des boues, il n'en va pas de même pour le traitement conventionnel des eaux et de leurs résidus. Force est de constater que les stations d'épuration fonctionnant de façon satisfaisante n'engendrent pas d'odeur désagréable au point de faire l'objet de plaintes de la part du voisinage.

Alors, les émissions odorantes ne seraient-elles pas la mise en exergue d'anomalies de fonctionnement des installations ?

Le *tableau 9*, établi d'après [61], tente de relier les causes de dégagement d'odeurs avec le fonctionnement des ouvrages et proposent quelques remèdes.

Des mesures préventives, ne considérant pas l'aspect exploitation, peuvent être prises. La station d'épuration de Metz était confrontée, en 1980, à des problèmes de dégagement d'odeurs nauséabondes (H_2S) au niveau des épaisseurs [58]. Le moyen de lutte adopté fut l'oxygénation des boues par un bicône (procédé Air Liquide) : les boues sont pompées à environ 1 m du fond de l'épaisseur et dirigées dans le bicône où est effectuée l'injection de l'oxygène pur. Elles sont ensuite refoulées dans l'ouvrage à 50 cm de la surface. Cette technique a obtenu de

bons résultats puisque les 200 ppm d' H_2S enregistrés au niveau des retours de surnageant ont été réduits à 1 ppm après quelques heures d'oxygénation. De plus, la décantabilité des boues a été accrue de 50 %.

2) Confinement et ventilation des ouvrages [1], [3], [7]

Avant tout traitement proprement dit, il est indispensable d'isoler les sources d'odeurs et d'extraire l'air vicié vers l'installation de désodorisation.

Sachant que le coût d'investissement et d'exploitation d'un système de traitement des odeurs dépend pour une large part des débits impliqués, il sera important de considérer sérieusement :

- l'isolement des sources d'odeurs le plus près possible de leur point d'émission,
- le choix de l'emplacement des bouches d'aspiration de l'air pollué,
- le choix des taux de renouvellement de l'atmosphère à l'intérieur des ouvrages.

2-1 Techniques de couverture

Trois types de couvertures sont définis, et seront mis en œuvre après considération des paramètres suivants : activité, volume, accessibilité, manutention, entretien des zones à couvrir et taux de renouvellement à appliquer.

- Couvertures type A (couvertures rapprochées) :

Ces couvertures sont bien adaptées à l'isolement des sources les plus odorantes (épaisseurs, fosses à boues...).

Ouvrage considéré	Aptitude à générer des odeurs	Causes d'émission de mauvaises odeurs	Diagnostic	Remèdes
Poste de relèvement	Nulle	Stripping de composés volatils contenus dans les eaux relevées ou de retour	-	Dispositions à prendre au niveau du réseau
Prétraitement	Importante	Stockage en anaérobie de composés fermentescibles (refus, graisses, sable + MO)	-	Stockage en bennes étanches Augmentation des fréquences d'évacuation
Décanteur primaire	Moyenne	Hydrolyse des matières organiques dans le lit de boues	-	Réduction du temps de séjour Ts maximum admissible : 24 h à 20 °C
Traitement biologique Bassin d'aération	Faible	<ul style="list-style-type: none"> . Stripping de composés volatils dû à l'insufflation d'air . Défaut de brassage entraînant la formation de zone anaérobie . Sous-oxygénation chronique due à un temps d'aération insuffisant ou une capacité d'oxygénation déficiente . Charge massique élevée + Ts court 	<p>Mesure de EH en différents points du bassin d'aération. Les écarts doivent être inférieurs à plus ou moins 10 mV</p> <p>EH < 280 mV</p> <p>Odeurs caractéristiques acide, acre ou de beurre rance [O₂] = 1 à 5 mg.l⁻¹ mais EH < 240 mV</p>	
Clarificateur	Faible	. Anaérobie des boues si Ts trop long	Baisse de EH supérieure à 100 mV entre le bassin d'aération et la recirculation EH < 250 mV	Ts recommandés en fonction de la charge massique dans le bassin d'aération : 30 min pour Cm > 0.6 1 h pour Cm > 0.3 2 h pour Cm > 0.1
Epaississeur statique	Importante	idem Décanteur primaire	-	Le temps de séjour à prendre en compte est la somme des Ts du décanteur primaire et de l'épaississeur (< 24h) L'alimentation en continu et la présence d'une garde d'eau sont des facteurs positifs
Epaississeur dynamique	Nulle	Stripping si les boues sont septiques	-	Dispositions à prendre à l'amont
Digestion	Faible	Les gaz de digestion sont chargés de produits soufrés	-	Combustion des gaz
Déshydratation mécanique	Nulle	Emissions d'odeurs importantes si les boues ont subi une anaérobie		Dispositions à prendre sur les ouvrages situés en amont

Ts : Temps de séjour

Stripping : entraînement des fractions légères et volatiles d'un liquide

Tableau 9 :
Causes et remèdes relatifs aux émissions d'odeurs sur la station d'épuration - d'après [61]

Elles sont placées au plus près des ouvrages. L'atmosphère confinée ne permet aucune activité humaine. Le contrôle des plans d'eaux ou des équipements reste possible grâce à des regards ou trappes.

Les matériaux de construction sont en composites ou aluminium. Les équipements maintenus dans l'espace confiné sont en inox. Les bétons en contact avec l'air vicié sont traités à la résine polyester ou vinylester.

- Couvertures type B (couvertures surélevées individuelles d'un ouvrage) :

Elles équipent la totalité d'un ouvrage, permettant ainsi la circulation du personnel dans l'enceinte. Les structures envisagées sont de type mixte : ossature extérieure métallique et bardage en matériau composite.

- Couvertures type C (couvertures surélevées d'un ensemble d'ouvrages) :

Elles intéressent plusieurs ouvrages et complètent les confinements de type A cités précédemment.

Les structures utilisées peuvent être :

- de type métallique, avec poutres triangulaires extérieures de grande portée, reposant sur des appuis fondés à grande profondeur, et bardage métallique,

- de type béton, avec poutres caissons de grande portée et dalle de béton coulée sur nervures préfabriquées.

Un débit de ventilation correspondant à un taux de renouvellement de l'air de l'ordre de 3 volumes/heure doit être maintenu dans l'espace entre les couvertures A et C. D'autre part, afin d'éviter les phénomènes de condensation et de brouillard, les structures doivent être isolées thermiquement et un traitement thermique de l'air admis est recommandé.

2-2 Acquis et orientation actuels en matière de ventilation

Les objectifs de la ventilation sont multiples :

- maintenir des concentrations en composés volatils toxiques en dessous des valeurs limites relatives à la santé des travailleurs (*tableau 6*),

- assurer la protection contre la corrosion des matériels,

- maintenir les zones odorifères en dépression afin de prévenir toutes fuites de mauvaises odeurs vers les riverains,

- transférer la pollution odorante vers l'unité de traitement,

- garantir les fonctions ci-dessus avec un minimum de débit.

Trois zones principales peuvent être distinguées sur le site :

- zone 1 : non polluée, locaux vie, locaux électrique,

- zone 2 : faiblement polluée, local désodorisation, atelier, salles des pompes, local réactifs,

- zone 3 : fortement polluée, prétraitement, hall des bennes, épaisseurs, local déshydratation, interface liquide/couverture.

Les locaux de zone 1 sont de préférence en surpression d'air neuf pour éviter les risques d'infiltration d'air vicié par des chemins de câble ou des postes de communication.

Les locaux de zones 2 et 3 sont en dépression. Les taux d'extraction moyens et maximums appliqués sont présentés dans le *tableau 10 (voir page 28)*.

Les bouches d'aération et d'extraction sont généralement diamétralement opposées afin d'assurer un balayage de bas en haut du volume total du local.

Poste de traitement ou local	Taux de ventilation moyen (10 stat.) en V/V.H	Taux de ventilation maximum en V/V.H
Poste de relèvement	4	6
Prétraitements	3,2	8
Décanteur primaire	3,3	6
Traitement biologique	1	2,4
Epaissiseur	6	10,8
Presse à boue	6	9,6
Centrifugation des boues	1	1
Stockage des boues	4,4	6

V/V.H : rapport du débit d'extraction et du volume de l'enceinte

Tableau 10 : Valeurs de taux d'extraction moyens et maximums pour chaque salle de traitement sur plus de 10 stations d'épuration françaises - d'après [7]

3) Dispersion des gaz odorants dans l'atmosphère [1]

La dispersion n'est pas à proprement parler un procédé de traitement des odeurs ; les molécules odorantes sont diluées aux seuils olfactifs dans l'atmosphère.

Cette méthode, simple dans son principe, demande toutes les attentions quant à la conception de l'organe d'éjection et surtout la prise en compte des conditions météorologiques. En effet, une dilution bien conçue peut être mise en défaut par des phénomènes atmosphériques, tels que les inversions de température ou les rafales de vent rabattant la pollution au sol.

Les constructions et les immeubles peuvent gêner la dispersion des odeurs. Lorsque le panache passe au-dessus d'un bâtiment de grande taille, il est aspiré par la dépression créée à l'arrière et autour de ce bâtiment, en aval et en amont, le courant est turbulent et les odeurs peuvent être rabattues vers le sol (figure 4).

La colline et la vallée créent de même des phénomènes parasites. La répartition des températures dans les couches atmosphériques d'une vallée peut créer une sorte de couvercle qui retient dans la vallée tous les effluents émis au-dessous d'une certaine altitude.

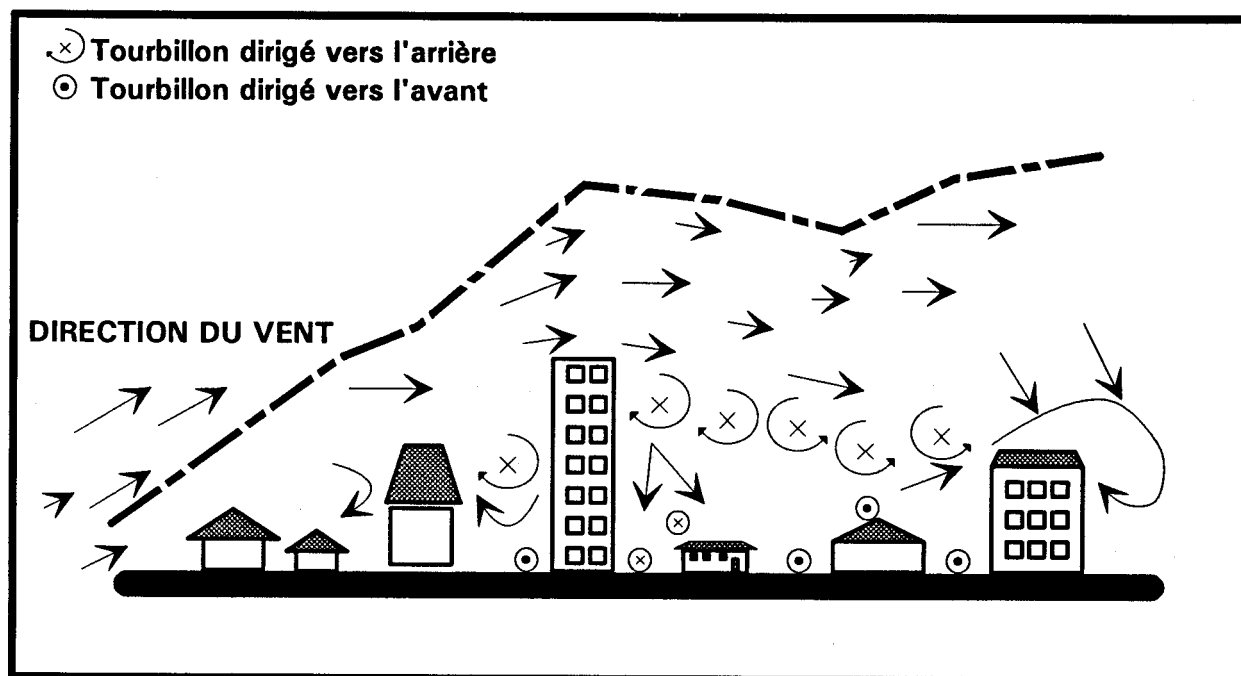


Figure 4 : Formation de turbulences en milieu urbain - d'après [1]

4) Traitement des odeurs par lavage

[1], [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [23], [32]

Ce procédé consiste à transférer les composés odorants de la phase gazeuse vers la phase liquide.

Le transfert gaz-liquide nécessite l'emploi de contacteurs ou laveurs gaz-liquide; ces dispositifs permettent d'assurer un contact intime entre les deux phases.

Le nombre de laveurs et le type de solution de lavage utilisé dépendent de la nature et de la concentration des composés odorants présents. En général, un procédé complet d'épuration comprend deux à trois unités de lavage fonctionnant en série dans des conditions différentes.

4.1 Les réactifs de lavage et leur chimie vis-à-vis des composés odorants

Le choix des solutions de lavage s'appuie sur les propriétés physico-chimiques des molécules odorantes considérées : solubilité, acidité, basicité, polarité, oxydabilité...

4.1.1 Lavage à l'eau seule

En milieu aqueux, de nombreux composés odorants se dissocient pour donner des formes ioniques présentant plus ou moins d'affinité avec le liquide.

- Les polluants solubles dans l'eau sont essentiellement les composés azotés (ammoniac, amines), certains composés organiques (acides, alcools), et les aldéhydes et cétones à chaîne carbonée courte (formaldéhyde, acétone).

Une absorption à l'eau seule est possible mais l'importante volatilité de la plupart des produits absorbés entraînerait l'emploi d'une grande quantité d'eau. Une absorption chimique de type acide éliminera plus efficacement les composés azotés tandis qu'une solution de lavage à caractère basique neutralisera les acides et alcools.

- Les polluants peu solubles dans l'eau sont principalement les composés soufrés (hydrogène sulfuré, mercaptan ...).

Du fait des faibles valeurs de solubilité de ces composés, un lavage à l'eau seule n'est pas envisageable. Une élimination satisfaisante des composés soufrés passera par l'ajout d'un réactif basique.

4.1.2 Lavage acido-basique

Le lavage acido-basique a pour objectif d'accroître le transfert de polluant en augmentant les affinités entre la phase liquide et le gaz vicié.

La solution de lavage s'enrichit alors peu à peu en composés malodorants. Afin d'éviter toute saturation qui conduirait à un blocage du transfert, une adjonction en continu de solutions neuves et un soutirage des solutions usagées sont opérés.

a) Lavage acide

Les composés azotés, faiblement basiques, sont traités par lavage acide.

L'acidification est réalisée par ajout d'une solution d'acide chlorhydrique (HCl) ou sulfurique (H₂SO₄). Les cinétiques de réactions sont quasi instantanées.

b) Lavage basique

Les composés soufrés ainsi que les acides organiques, souvent très odorants, peuvent être avantageusement éliminés par lavage basique.

L'hydroxyde de sodium ou soude (NaOH) est le réactif le plus fréquemment utilisé.

- Cas de l'hydrogène sulfuré :

Les réactions suivantes : $H_2S \rightleftharpoons HS^- + H^+$ et $HS^- \rightleftharpoons S^{2-} + H^+$ illustrent l'influence du pH sur le déplacement des équilibres ioniques. Ainsi, une baisse de pH déplace l'équilibre en faveur de la formation d'H₂S alors qu'au contraire, l'augmentation du pH (correspondant à la neutralisation des protons par une base) favorise la formation des sulfures S²⁻.

L'obtention de l'espèce soluble S²⁻ nécessite l'application d'un pH basique supérieur à 9.

- Cas des mercaptans :

Les mercaptans sont plus difficilement absorbables. Le déplacement de l'équilibre vers les formes absorbées par augmentation du pH jusqu'à des valeurs supérieures à 11 ne permet pas de dissocier totalement ces composés et n'empêche pas une désorption importante (tableau 11).

- Cas des acides organiques :

Les acides organiques volatils traités à la soude sont éliminés sous forme de sel de sodium. La cinétique de réaction est également rapide.

Remarque : Dans le cas d'un effluent mixte contenant à la fois des composés azotés et soufrés, deux lavages acido-basiques en série seront obligatoirement nécessaires :

- un à pH acide (pH = 3) pour assurer le piégeage des composés azotés,
- l'autre à pH basique (pH ≥ 9) pour assurer l'absorption de H₂S.

4.1.3 Lavage oxydant

L'absorption acido-basique n'est pas, à proprement parler, un procédé d'élimination des composés azotés et soufrés. Il y a seulement déplacement d'équilibre vers des espèces solubles en phase aqueuse.

Le maintien de cet équilibre nécessite, dans le cas des composés peu solubles, l'emploi de quantités importantes de réactifs. En effet,

tout défaut en réactif modifierait le sens de déplacement de l'équilibre et conduirait à une désorption importante des polluants initiaux.

L'adjonction d'un oxydant permet alors de :

- régénérer en continu la solution de lavage par oxydation des produits absorbés et d'éviter ainsi tout problème de saturation et de désorption,
- améliorer l'absorption des polluants par destruction des composés absorbés,
- réduire sensiblement les coûts en produits chimiques comme le montre la *figure 5*.

Un renouvellement partiel des solutions de lavage reste tout de même nécessaire.

Les oxydants utilisés sont le chlore électrolytique, l'hypochlorite de sodium et l'ozone. Le permanganate de potassium et le peroxyde d'hydrogène sont rarement associés à un lavage.

L'emploi de ces réactifs exige la connaissance de leur mode d'action sur les polluants absorbés afin d'éviter la formation de nouveaux composés odorants et/ou toxiques.

4.1.3.1. Le chlore et ses dérivés

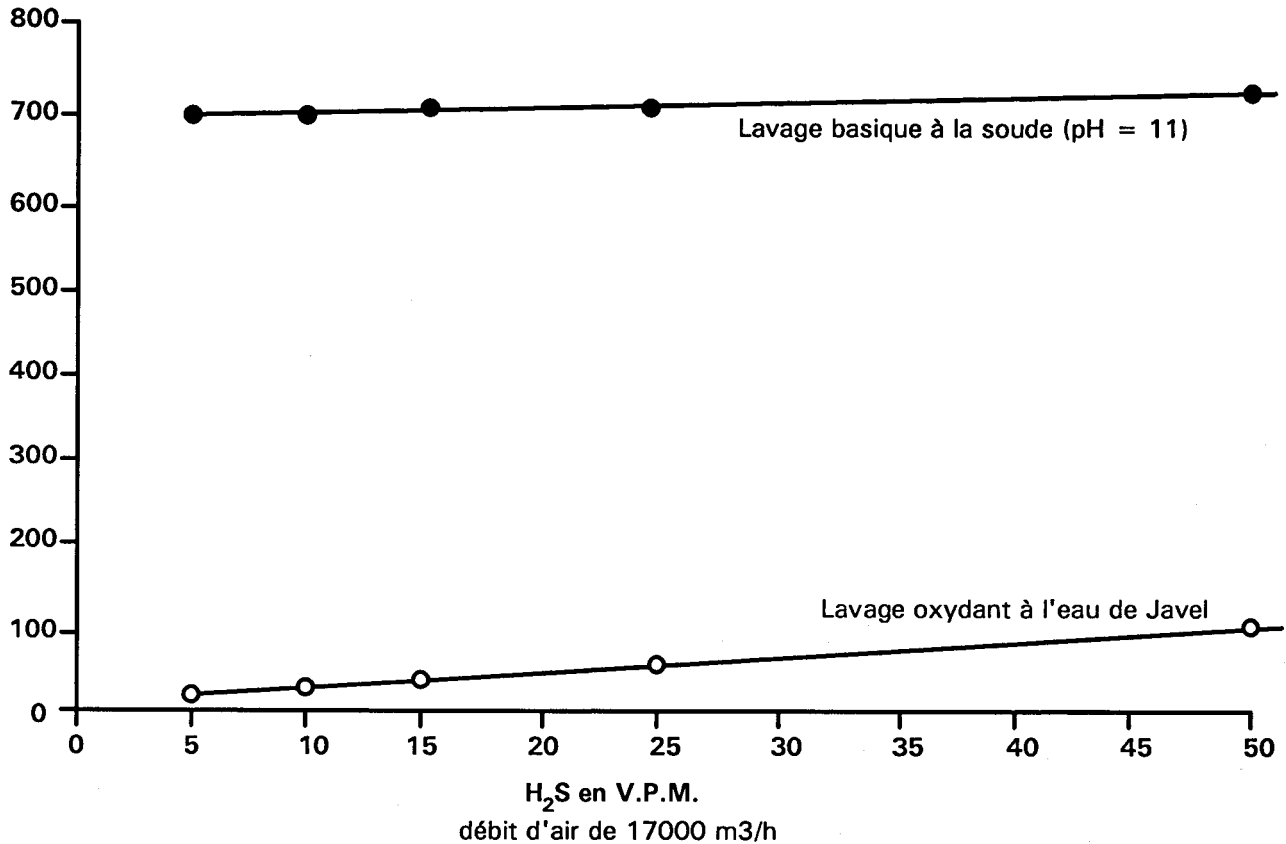
Le chlore peut être employé soit sous forme de chlore gazeux Cl₂, soit sous forme d'hypochlorite de sodium NaClO.

Dans les deux cas, on aboutit à la formation d'acide hypochloreux HClO.

pH	9	9,5	10	10,5	11	11,5
$\frac{[\text{CH}_3\text{SH}]}{[\text{CH}_3\text{S}^-] + [\text{CH}_3\text{SH}]}$	5	14	33	61	83	94

Tableau 11 : % de dissociation du méthylmercaptan en fonction du pH - d'après [15]

Coût annuel en réactif
en KF (1987)

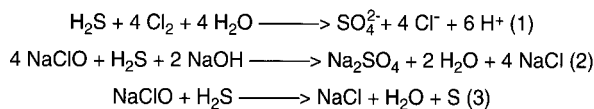


V.P.M. : Volume Par Million (cm³.m⁻³)

Figure 5 : Coûts annuels en réactifs pour éliminer H₂S sur une installation de désodorisation par lavage en tours garnies (soude + eau de Javel) de Cape May - d'après [21]

a) Action sur les dérivés odorants soufrés

- Les réactions chimiques mises en jeu lors de l'oxydation de H₂S par Cl₂ et NaClO sont :



La réaction (3) est favorisée par une augmentation de pH.

- L'action du chlore sur le méthyl mercaptan est plus complexe. Le premier produit d'oxydation est le diméthyl disulfure (CH₃ - S - S - CH₃), lui-même très odorant, et le stade d'oxydation ultime semble être l'acide méthylsulfonique CH₃ SO₃H.

L'absorption et l'oxydation optimales des mercaptans requiert un pH fortement basique (pH = 11) et un résiduel de chlore.

L'absorption d'H₂S est effective à pH = 9.

Le piégeage des mercaptans nécessite un pH = 11. A cette valeur de pH, la consommation en chlore pour éliminer H₂S est 4 fois plus importante qu'à pH = 9 et les risques d'entartrage par dépôt de carbonate sont accrus [7]. Par conséquent, lorsque H₂S et mercaptan sont présents simultanément, deux tours en série sont utilisées :

. la première à pH = 9 en milieu oxydant élimine les composés soufrés moyennement solubles (H₂S),

. la seconde à pH = 11 en milieu oxydant traite les composés soufrés faiblement solubles (mercaptan).

b) Action sur les dérivés odorants azotés

- L'acide hypochloreux oxyde l'ammoniac en chloramine puis en nitrate et azote gazeux suivant le schéma de la figure 6.

Du fait de la formation de chloramines, parfois plus odorants que les composés initiaux, un lavage acide seul sera préféré à l'utilisation du chlore pour le traitement des polluants azotés.

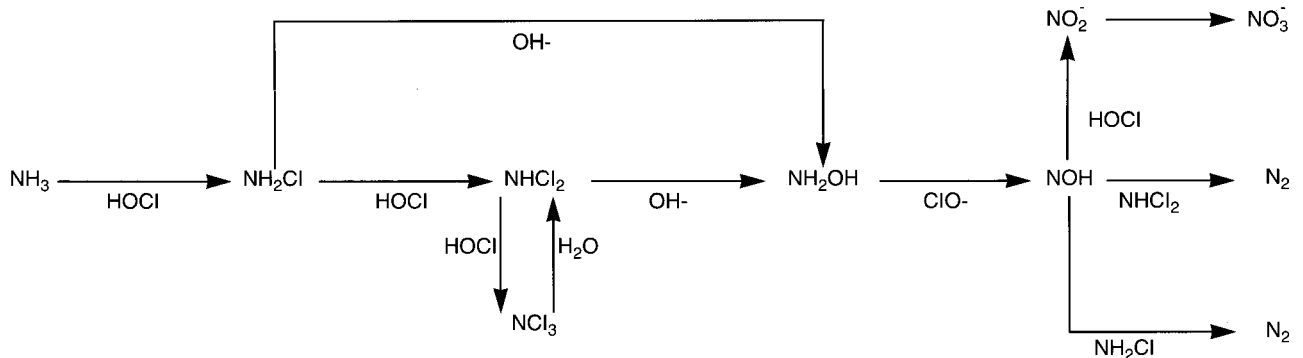


Figure 6 : Schéma de chloration de NH₃ - d'après [6]

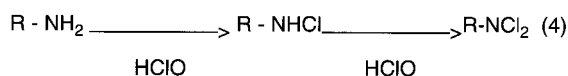
Le temps de disparition de la monochloramine NH₂Cl et de la dichloramine NHCl₂ se compte en minutes alors que l'obtention des espèces finales NO₃⁻ et N₂, se compte en heures et même en jours. La vitesse des réactions dépend des concentrations initiales, du pH et de la température.

Les consommations de chlore dépendent entre autres du pH de l'eau de lavage et du polluant à oxyder (tableau 12).

- L'oxydation des amines s'arrête au stade dichloramine

4.1.3.2. L'ozone

L'ozonation met en jeu deux phénomènes essentiels :



- l'absorption dans la solution de lavage des polluants contenus initialement dans l'air,
- l'oxydation des composés solubilisés.

Composé	Chlore consommé/composé dégradé moles.mole ⁻¹	pH d'oxydation	Référence
Hydrogène sulfuré	4	10	[16]
Hydrogène sulfuré	1	7	[16]
Méthyl mercaptan	4	11	[16]
Aldéhyde aliphatique	< 0.1	7	[17]
Alcool primaire	< 0.1	7	[17]
Cétone aliphatique	3	7	[17]
Hydrogène sulfuré	4	9	[8]
Méthyl mercaptan	3 à 6	-	[8]

Tableau 12 : Chloration de quelques composés

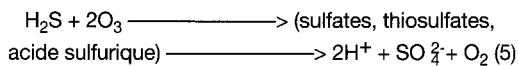
Les mécanismes d'absorption sont similaires à ceux rencontrés précédemment : dissociation ionique favorisée par le pH de la solution de lavage.

L'oxydation des polluants par l'ozone se traduit soit par une attaque directe, soit par une action indirecte due à la décomposition de O_3 en radicaux OH° , espèces très réactives vis-à-vis des composés organiques. La production de radicaux hydroxydes augmente avec le pH, s'auto-accélère et dépend de la présence ou non d'inhibiteurs de radicaux libres comme les carbonates, les bicarbonates ou les phosphates.

Remarque : La production d'ozone reste un poste énergivore. Pour exemple, la consommation électrique de l'installation de désodorisation de Cassis représente un tiers de la consommation totale de la station d'épuration.

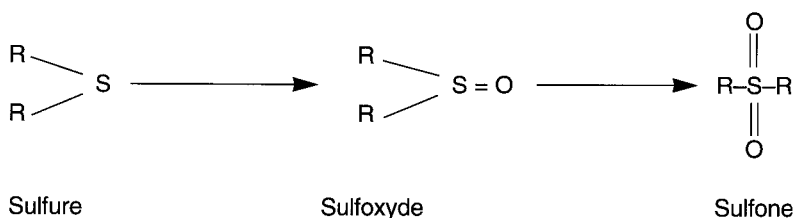
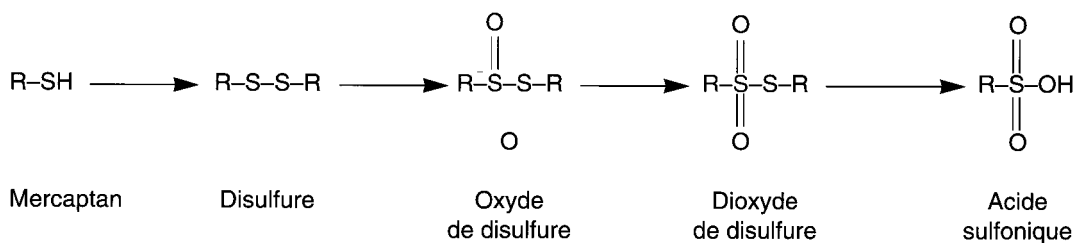
a) Action sur les dérivés odorants soufrés

- L'ozone oxyde essentiellement l'hydrogène sulfuré en sulfates selon le schéma :



L'obtention d'acides sulfuriques comme sous-produit de la réaction d'oxydation impose une régulation de pH comprise entre 9 et 11.

- Les mercaptans et les sulfures autres que H_2S sont transformés selon les chaînes d'oxydation suivantes [6] :



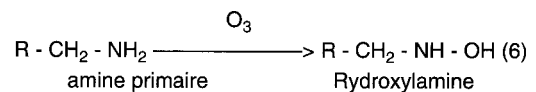
Le transfert physique gaz-liquide est ici prépondérant. Il sera favorisé par l'application d'un pH fortement basique (pH = 11).

b) Action sur les dérivés odorants azotés

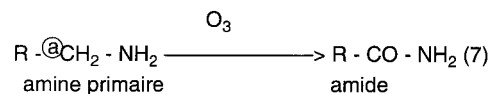
A des valeurs de pH < 10, l'ozone ne réagit pas sur NH_3 ou NH_4^+ . En revanche, en milieu fortement basique, l'ozone oxyde NH_3 en NO_3^- , mais les vitesses de réactions restent faibles.

Pour les amines et les différents composés azotés, l'oxydation conduit à la formation de dérivés classés en quatre groupes :

- hydroxylamine, oxime, aminoxyde par oxydation directe de l'atome d'azote,



- amine ou formylamine par oxydation du carbone en@de l'azote,



- ammoniacque ou nitrate par coupure de la liaison C-N. La partie carbonée donne naissance à des aldéhydes et des acides,

- produits de condensation obtenus à l'état de traces.

Une oxydation plus poussée aboutit à une minéralisation complète de la matière organique (CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_3^-).

L'ozonation des amines s'accompagne d'une acidification du milieu. Une régulation de pH voisin de 6 - 7 est nécessaire à la bonne marche du procédé.

c) *Action sur les composés organiques (aldéhydes, cétones, alcools)*

Les composés tels les aldéhydes, les cétones, les alcools, les acides sont dégradés lentement par l'ozone (tableau 13).

En revanche, ils sont rapidement oxydés par les radicaux libres OH°.

La décomposition de l'ozone s'avère rapide et quasi totale à des pH élevés, par conséquent l'oxydation sera plus performante à pH basique (pH ≈ 10).

4.1.5 Les différentes configurations mises en œuvre

Le choix d'une configuration de traitement est fonction de la nature des composés odorants à éliminer et du niveau d'épuration à atteindre (lié à la sensibilité du milieu récepteur).

Le nombre de tours mis en œuvre est de un à quatre.

L'hydrogène sulfuré, principal composé rencontré dans l'atmosphère des stations d'épuration, peut être traité efficacement par simple lavage basique oxydant, généralement NaOH-NaClO. Dans le cas où il est présent majoritairement sur le site, un seul étage de traitement suffit. La station de Sanary-Bandol en est l'exemple : production élevée de H₂S

Composé	O ₃ consommé/M dégradé mole.mole ⁻¹	pH	Références
Hydrogène sulfuré	1	> 9	[18]
Méthyl mercaptan	0,9	> 9	[18]
Ethylamine	2	< 6,5	[19]
Triméthyl amine	2	< 6,5	[19]
Aldéhydes aliphatiques R-CHO	1	?	[20]
Alcools primaires R-CH ₂ OH	1	?	[20]
Cétones aliphatiques R-CO-R'	2	?	[20]

Tableau 13 : Ozonation de quelques composés odorants - d'après [7]

4.1.4 Lavage réducteur

L'emploi de réactifs réducteurs a pour principal objectif d'éliminer le résiduel de chlore provenant des lavages NaOH - NaClO précédents. De plus, il assure la réduction des acides gras, aldéhydes et cétones restants.

Les composés réducteurs usuels sont : le bisulfite de sodium NaHSO₃ et le thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ (aussi appelé hyposulfite de sodium).

Les produits de réactions sont acides. Une correction de pH proche de la neutralité est nécessaire afin d'éviter d'éventuels relargages de chlore gazeux .

dans le réseau induisant de fortes concentrations sur l'usine. Le lavage des gaz est assuré par 2 tours en série (NaOH-NaClO) fonctionnant sur les mêmes consignes de pH et EH.

Par contre, la présence d'un effluent gazeux contenant des taux importants en différents composés malodorants (H₂S, R-SH, NH₃, R-NH₂ ...) nécessite l'application de lavages complémentaires : lavage acide et lavage oxydant fortement basique. Les installations de La Ciotat et de Cannes sont constituées de deux étages en série comprenant un lavage acide (H₂SO₄) et un lavage basique oxydant (NaOH-NaClO).

L'installation de Juan-les-Pins traite les odeurs par 3 lavages successifs : lavage

acide (H_2SO_4), lavage oxydant basique ($NaOH-NaClO$) et lavage oxydant fortement basique ($NaOH-NaClO$).

La conception de la chaîne de désodorisation devient plus poussée lorsque de telles usines de traitement sont situées dans des zones sensibles ; comme la station de Monaco, enclavée en plein tissu urbain ou celle de Marseille "boues", sortie des calanques ou encore celle de Nice avec vue sur la promenade des Anglais. Une tour de déchloration est alors mise en oeuvre et constitue le dernier élément de la chaîne de traitement.

4.2 Conception, technologie et éléments de dimensionnement des contacteurs gaz-liquide

Les technologies mises en oeuvre pour assurer un contact entre les phases liquide et gazeuse font appel à de nombreux contacteurs gaz-liquide, *figure 7* :

- les colonnes à bulles,
- les contacteurs à agitation mécanique,
- les colonnes à plateaux,
- les colonnes à pulvérisation,
- les colonnes à garnissage,
- les venturis à gaz moteurs ou à liquide moteur.

Du fait des débits à traiter généralement importants, des faibles concentrations de composés odorants, et de l'absence de particules solides, les colonnes à garnissage sont les contacteurs les plus utilisés en désodorisation sur station d'épuration (Marseille "traitement des boues", Cassis, La Ciotat, Sanary, Cannes, Nice, Antibes, Monaco, Angers...). Leur domaine d'application s'étend de 3.000 à 200.000 $Nm^3.h^{-1}$, voire davantage.

4.2.1 Architecture et nature des tours à garnissages

• Une tour est composée, du bas vers le haut :

- *d'un pied de cuve* servant de capacité de stockage des solutions de lavage. Son volume, lié au débit de recyclage, correspond en général à un temps de séjour d'environ 1.5 min.

C'est à ce niveau que s'effectuent les opérations de pompage vers l'aspersion, de déconcentration, d'apport en eau, d'alimentation en réactifs, de vidange et de trop-plein.

Les pieds de cuves sont habituellement fermés dans le cas des colonnes synthétiques et ouverts dans le cas de tours en béton, ce qui facilite l'accès au plan d'eau.

L'apport en eau, corrigeant les pertes par entraînement, est régulé par des sondes de niveaux ou des vannes à flotteur,

- *d'un plateau de support* possédant un double rôle : supporter le poids du garnissage et du liquide retenu sur ce dernier, et assurer la distribution des fluides en bas de colonne. Le plateau doit avoir un degré de vide au moins égal à celui du garnissage ($\geq 75\%$) afin d'écartier tout risque d'engorgement,

- *d'un matériau de garnissage* constituant le poumon de la tour. Les garnissages sont de différents types. Ils peuvent être empilés (anneaux Raschig, Pall, Lessing) ou encastrés (Selles Intalox, Tellerettes...).

Le choix du diamètre d d'un élément de garnissage tient compte du diamètre D de la colonne. Afin de minimiser les chemins préférentiels et les effets de bord, la détermination de d respectera la fourchette :

$$10 < \frac{D}{d} < 60.$$

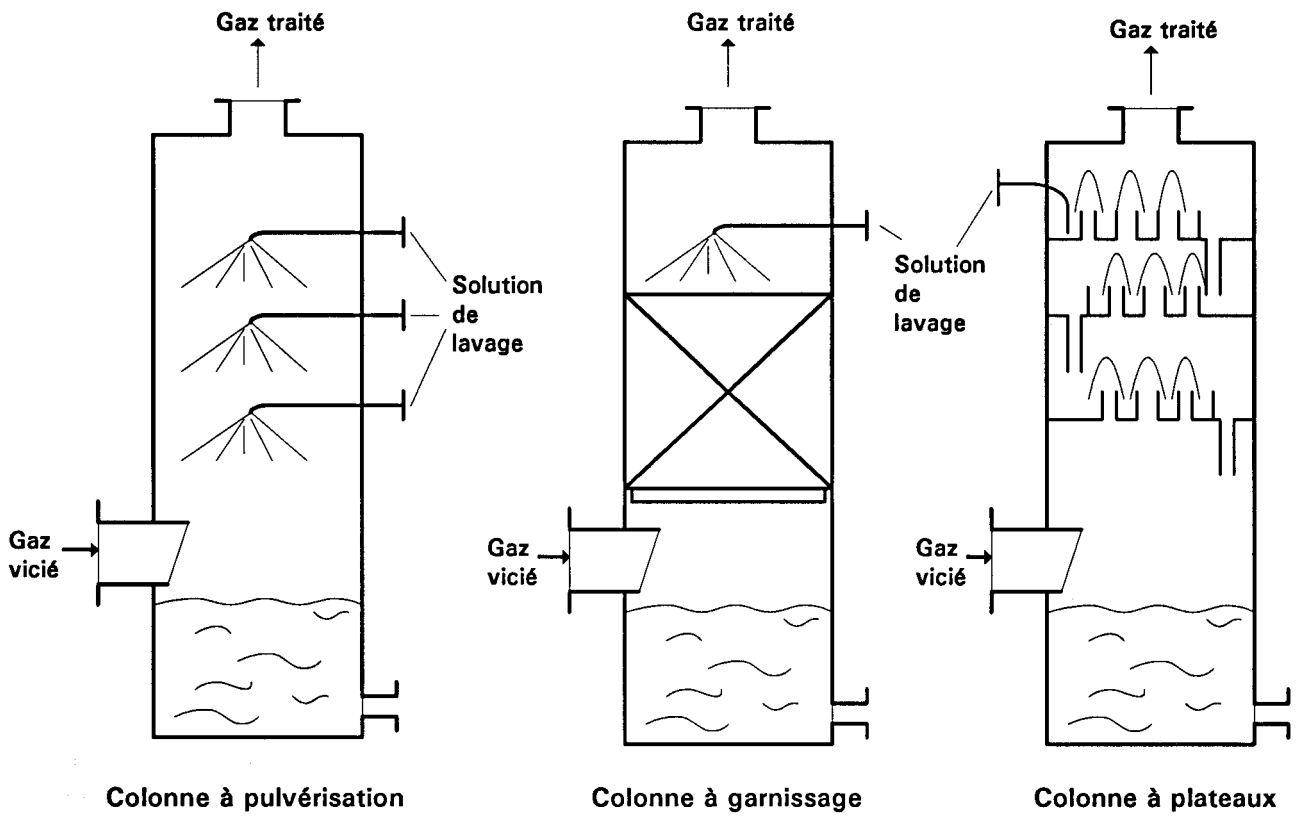
Le matériau est disposé sur une hauteur comprise entre 1 m et 2.50 m, et offre une surface spécifique élevée (100 à 200 $m^2.m^{-3}$ de matériau). La perte de charge doit être la plus faible possible afin de limiter la puissance de la ventilation,

- *de buselures d'aspersion* destinées à répartir le liquide sur le garnissage. L'obtention d'un film liquide sur toute la section de la colonne est réalisée soit par des plateaux à tube avec un minimum de 50 points de distribution au m^2 , soit par des pulvérisateurs à cône plein,

- *de dévésiculeurs*, chargés de piéger les gouttelettes de liquide entraînées par le flux d'air. A titre d'exemple, une veine d'air circulant à $1 m.s^{-1}$ emporte les gouttes d'un diamètre inférieur à 0.3 mm.

Les dévésiculeurs classiques sont à matelas ou à chicane. Leur fonctionnement est lié à un effet de choc des fluides sur un

COLONNES



VENTURIS

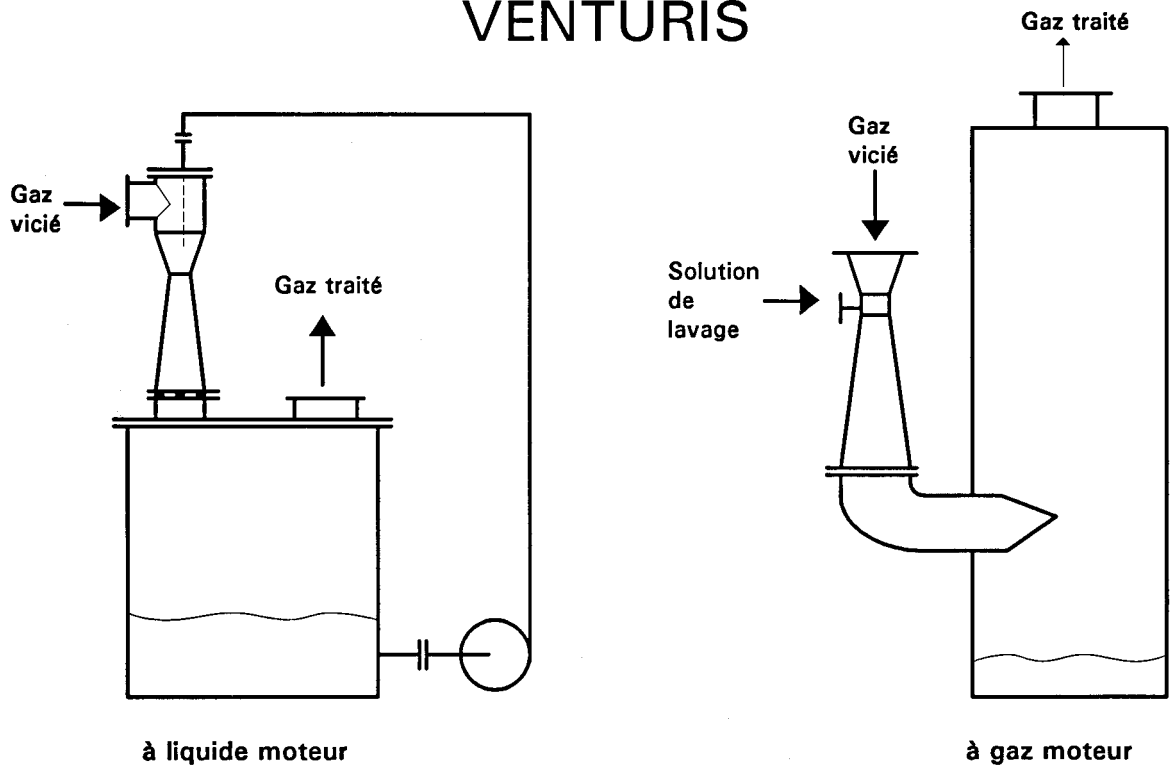


Figure 7 : Principaux types de laveurs - d'après [32]

élément (fil, cloison) rencontré : le gaz léger est dévié et continue sa course tandis que le liquide plus lourd et possédant une énergie cinétique plus importante est stoppé sur l'élément.

Afin d'éviter le réentraînement du liquide déposé, des vitesses limites de 2,5 à 2,8 m.s⁻¹ du courant gazeux doivent être respectées.

Les dévésiculeurs ont pour principaux objectifs de limiter les pertes en eau par entraînement et les interférences (neutralisation, ...) au niveau des bains.

- Les fluides véhiculés au sein des tours ont une nature fortement corrosive (H₂S, acide, base, oxydant) impliquant l'emploi de matériaux de construction chimiquement inertes.

Pour la gamme de débit 5 000 - 25 000 Nm³.h⁻¹, les tours sont généralement de conception cylindrique en polyester ou polypropylène.

Au-delà, leurs tailles engendrent des problèmes de transport, de mise en place et de coût. Les tours seront alors parallélépipédiques en béton armé revêtu intérieurement de résine époxydique.

4.2.2 Tour à garnissage associée à un électrochlorateur

Le procédé de lavage à l'eau de Javel est de loin le plus répandu pour traiter les gaz odorants majoritairement constitués de composés soufrés (figure 8).

La préparation d'eau de Javel en milieu basique peut être réalisée avantageusement sur le lieu même de son utilisation par électrochloration (Antibes, Cannes, Monaco, Ajaccio, Angers, Saumur, Châteauroux, Saint-Etienne...).

L'installation comporte les organes suivants :

- pompe de recirculation alimentant en continu et à débit constant l'électrolyseur et la tour de garnissage,
- pompe doseuse de soude dont le débit est asservi au pH du bain,
- pHmètre à deux seuils,
- redox-mètre, avec régulateur pilotant l'alimentation en courant continu aux bornes de l'électrolyseur,
- détecteur de niveau bas pour assurer la sécurité propre au générateur,
- appoint en eau et préparation de saumure alimentant le pied de cuve.

L'injection de saumure est effectuée en discontinu par l'intermédiaire d'une pompe.

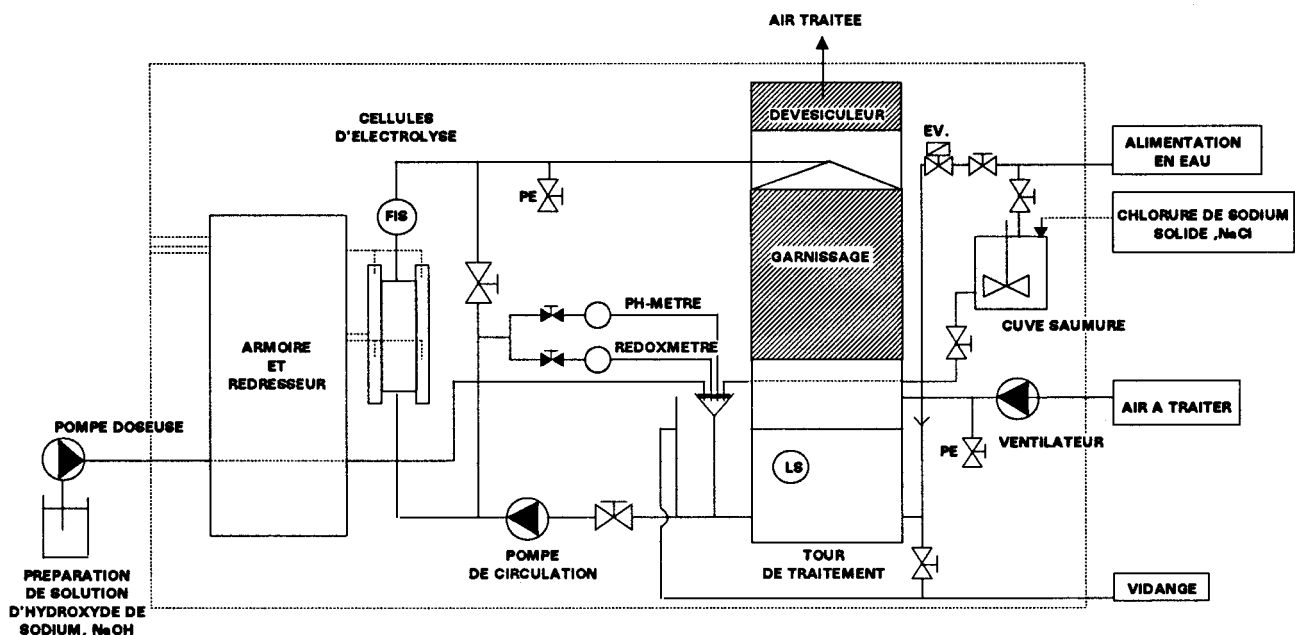


Figure 8 : Schéma de principe du procédé de lavage par électrochloration - d'après [9]