

GEDP921

TRAITEMENT DES POLLUTIONS GAZEUSES

ADSORPTION - CATALYSE

EIT - Polytech Annecy – Chambéry

2023-2024

Ondarts Michel

EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE

Traitement

Séparation

Stockage

Prélèvement



TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

Adsorption COVs – dioxines et métaux

Dioxines : définition

Les molécules de dioxines, furannes et polychlorobiphényles sont formées de deux cycles aromatiques pontés ou non par des oxygènes et substitués par des chlores dont le nombre peut varier de 1 à 8

Tableau 1 – Noms et structures des dioxines, furannes et pyralènes (PCB)		
Nom	Formule développée (1)	Observations
Dioxines Polychlorodibenzo- p-dioxines PCDD		$n \in [1,8]$
Furannes Polychlorodibenzo- p-furannes PCDF		$n \in [1,8]$
Pyralènes Polychlorobiphényls PCB		$n \in [1,10]$

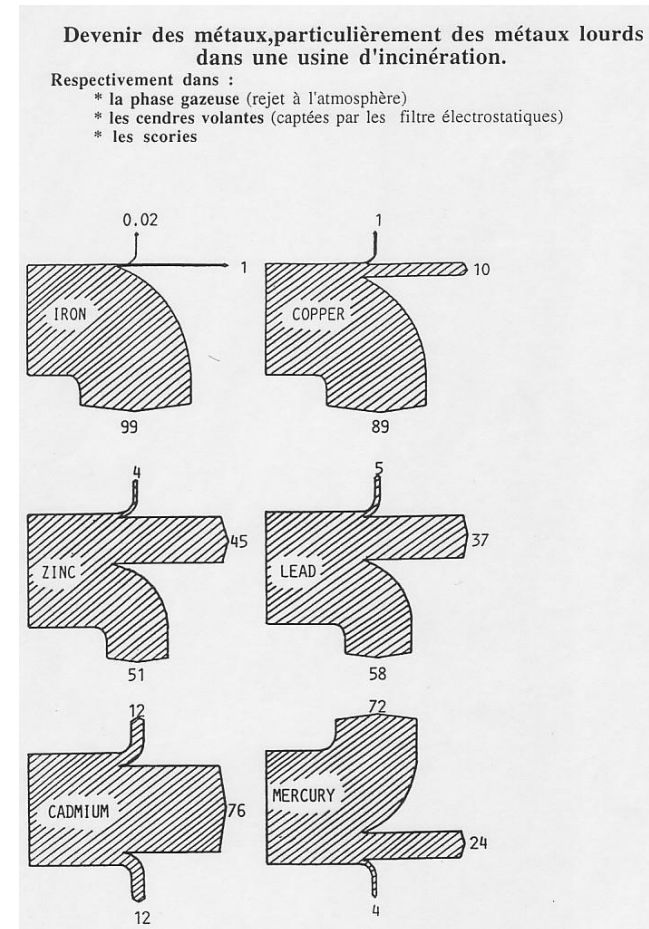
(1) Les numéros sur les carbones permettent de définir les différents isomères

(Techniques de l'Ingénieur, Le Cloirec)

TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

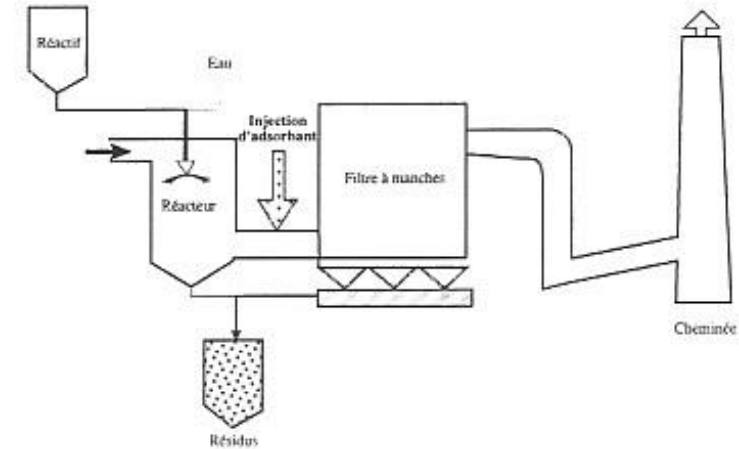
Adsorption COVs – dioxines et métaux



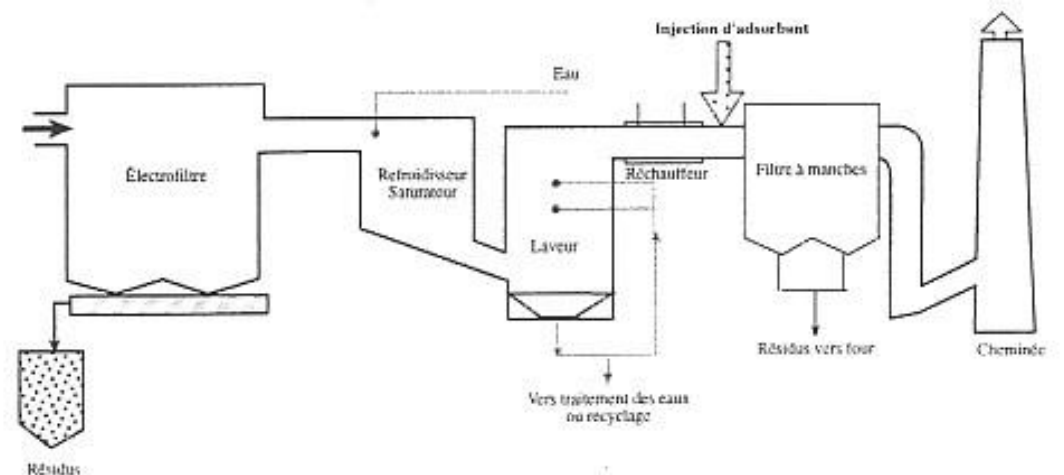
TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

Adsorption COVs – dioxines et métaux



Injection d'adsorbant dans un procédé semi-humide



Injection d'adsorbant dans un procédé humide avec filtre à manches en aval

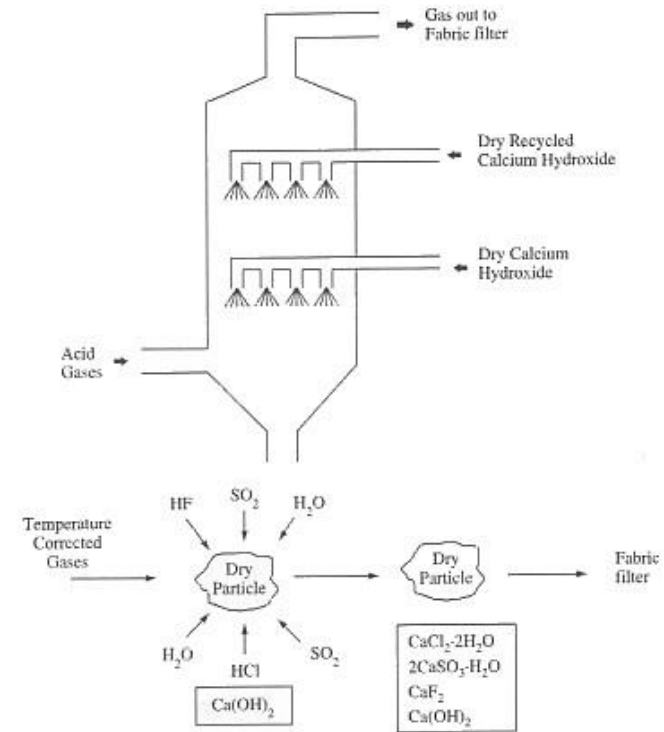
TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

Traitement des gaz acide Epuration par voie sèche – semi-humide

Réactifs :

- chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- bicarbonate de sodium NaHCO_3



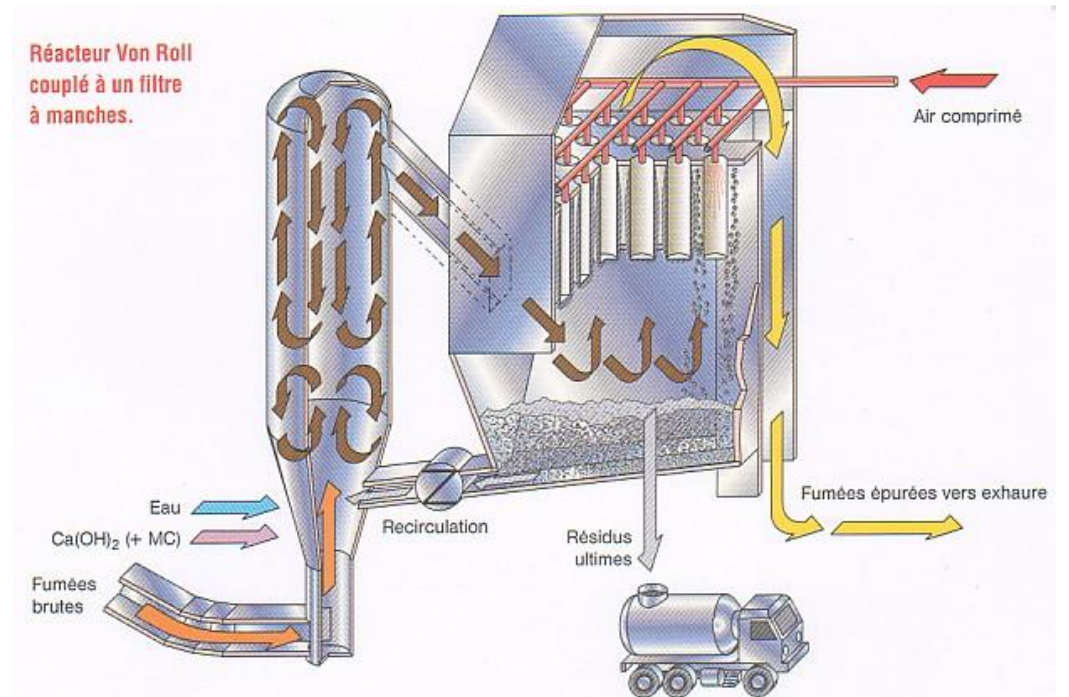
TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

Traitement des gaz acide Epuration par voie sèche – semi-humide

Réactifs :

- chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- bicarbonate de sodium NaHCO_3



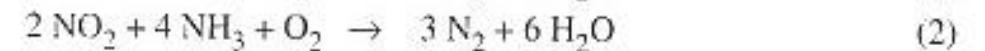
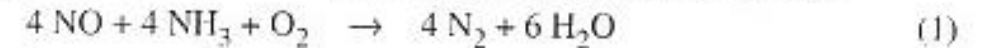
TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

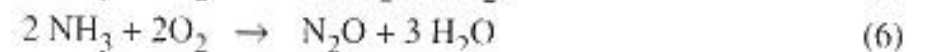
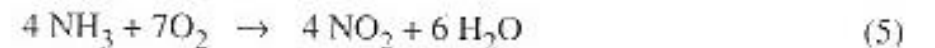
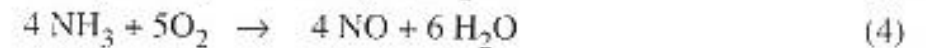
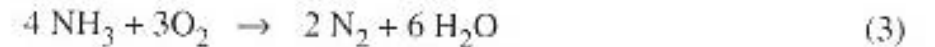
Epuration des NOx : Réduction Sélective

- Réactions

Les deux principales réactions de réduction à partir d'ammoniac NH₃ sont :



Les réactions secondaires sont :



- Les catalyseurs utilisés sont es oxydes de vanadium V₂O₅, de fer Fe₂O₃, de manganèse MnO₂ ou de chrome CrO₃.
- Le support est en oxyde titane TiO₂ ou d'alumine Al₂O₃

TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote

Epuration des NOx : Réduction Sélective

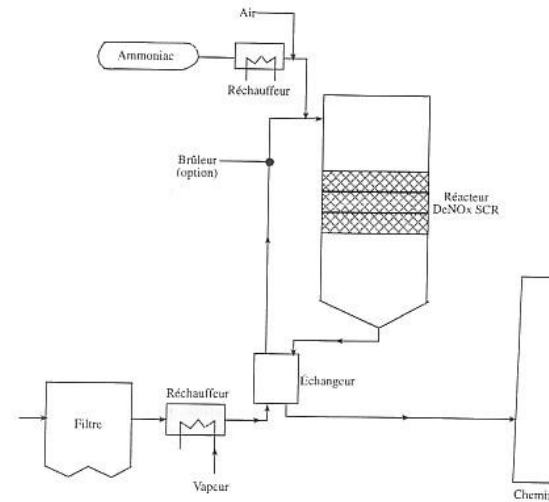
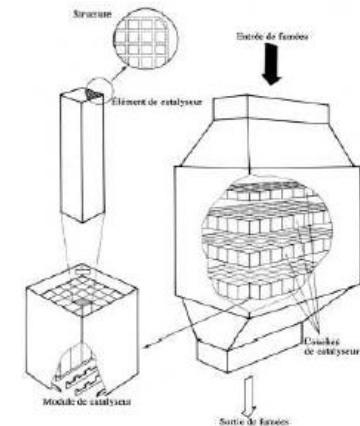
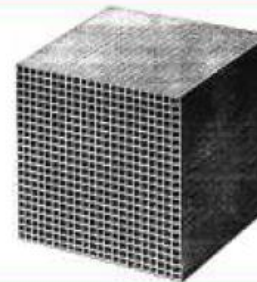
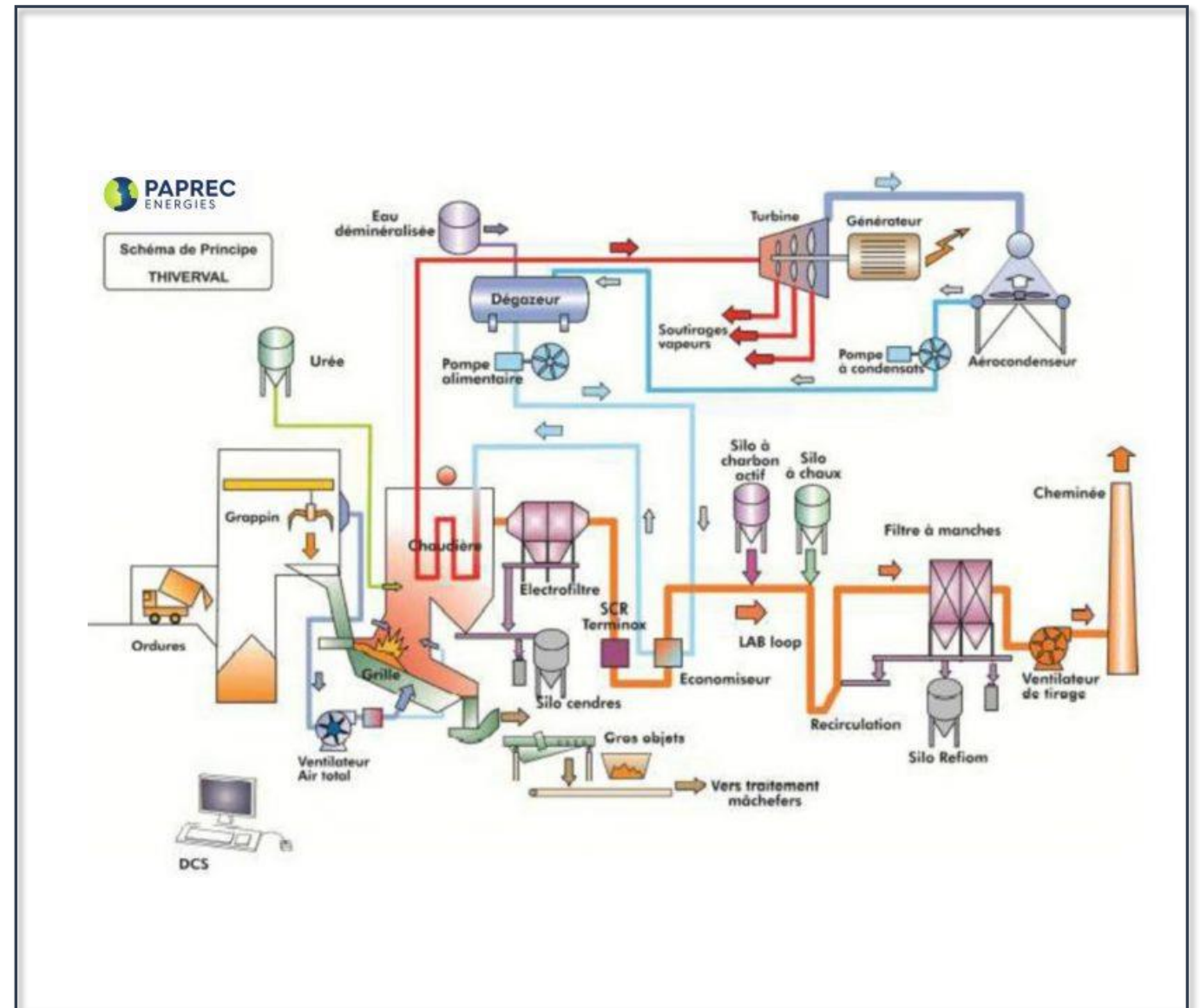


Schéma d'une unité « low-dust » SCR



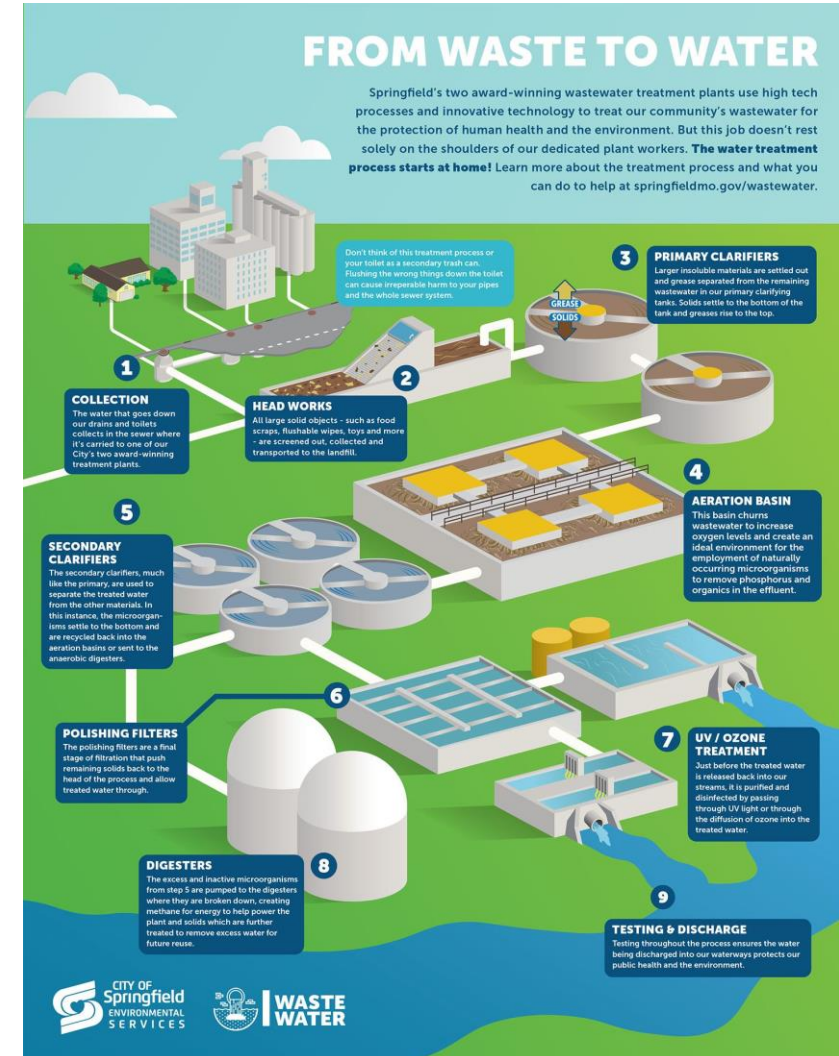
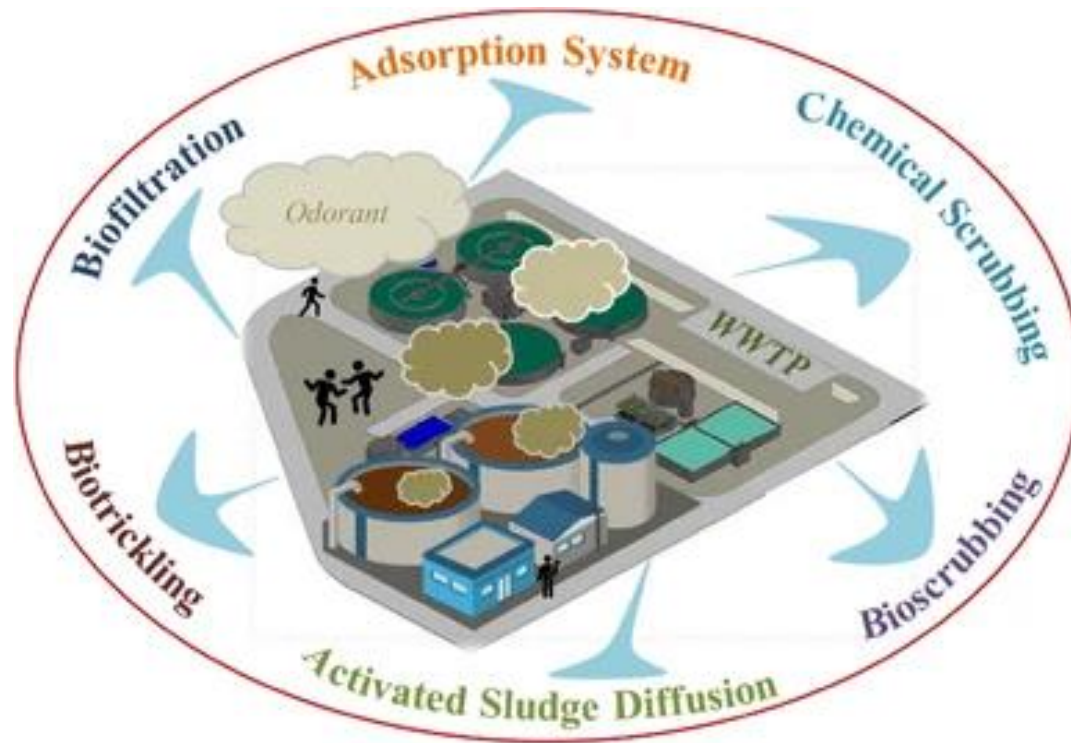
TRAITEMENT DES FUMÉES

- Adsorption pour le traitement
 - Des COVs
 - Des dioxines
 - Des métaux
- Réacteur hétérogène pour le traitement des gaz acide
- Catalyse pour le traitement des oxydes d'azote



TRAITEMENT DES ODEURS

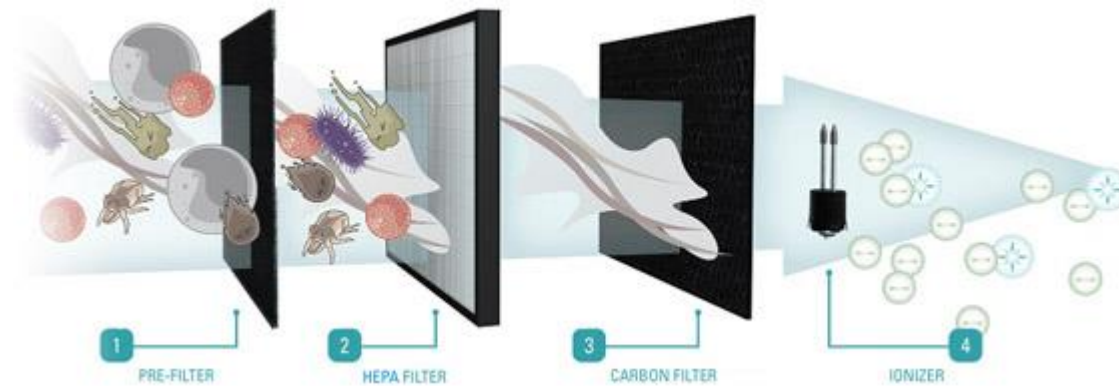
- Traitement des odeurs
 - STEP



TRAITEMENT DES POLLUTIONS DE L'AIR INTÉRIEUR

- Pollution de l'air intérieur

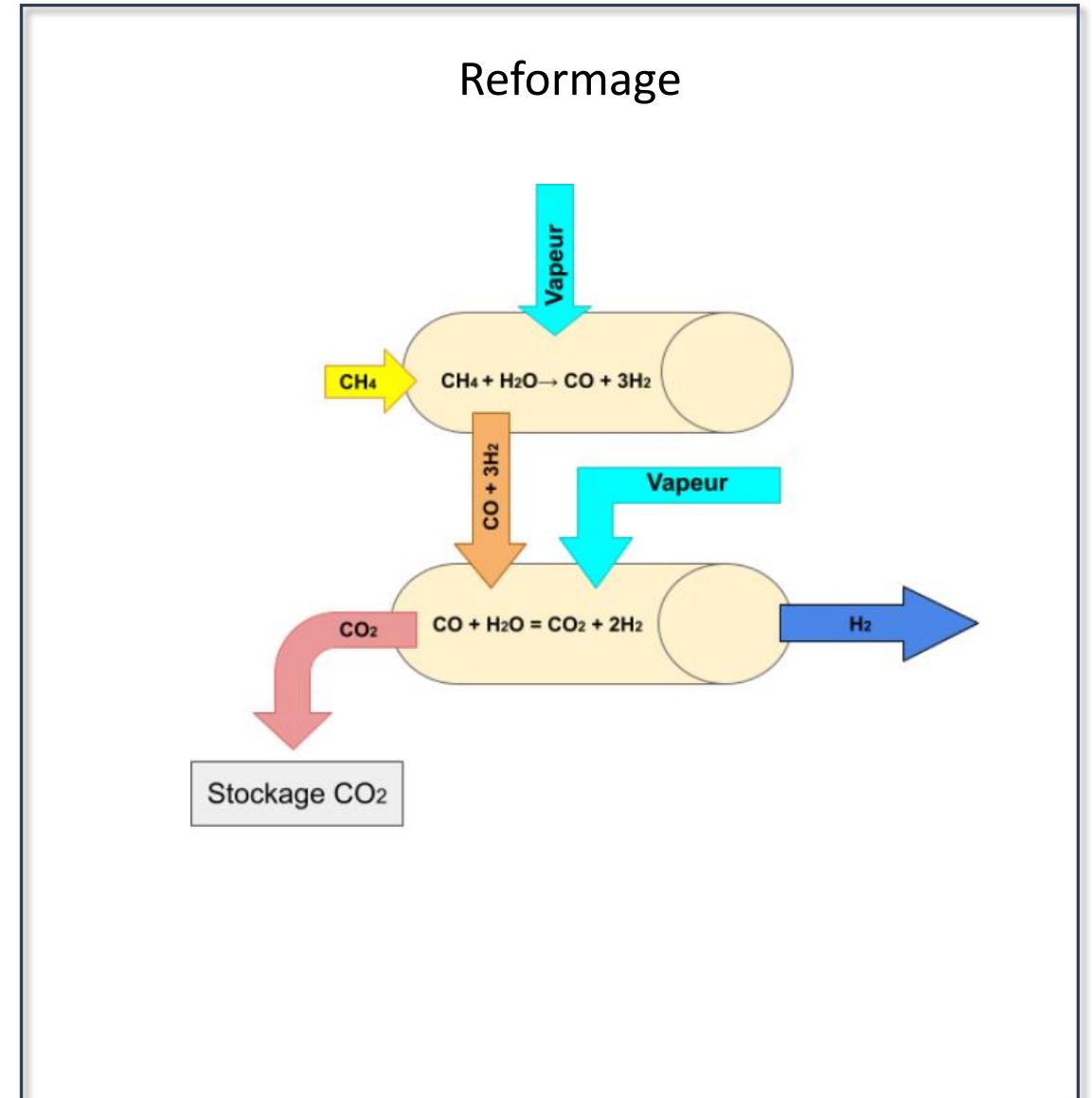
- Micropollutions issues : émission internes ponctuelles ou continues, sources extérieurs
- Pays développés : 80 % du temps en environnement intérieur
- Principale source d'exposition des populations aux pollutions de l'air



Source : plentyair

PRODUCTION D'HYDROGÈNE

- Type de production d'hydrogène
 - Reformage du gaz naturel à la vapeur d'eau
 - Electrolyse de l'eau
 - Gazéification de biomasse
- Classification
 - H₂ vert : électrolyse de l'eau + énergie renouvelable
 - H₂ gris : procédé thermochimique à partir d'énergie fossile
 - H₂ bleu : hydrogène gris + captage CO₂ émis
 - H₂ jaune : hydrogène vert + énergie nucléaire
- Type de mise en œuvre
 - PSA
 - TSA



PRODUCTION D'HYDROGÈNE

• Type de production d'hydrogène

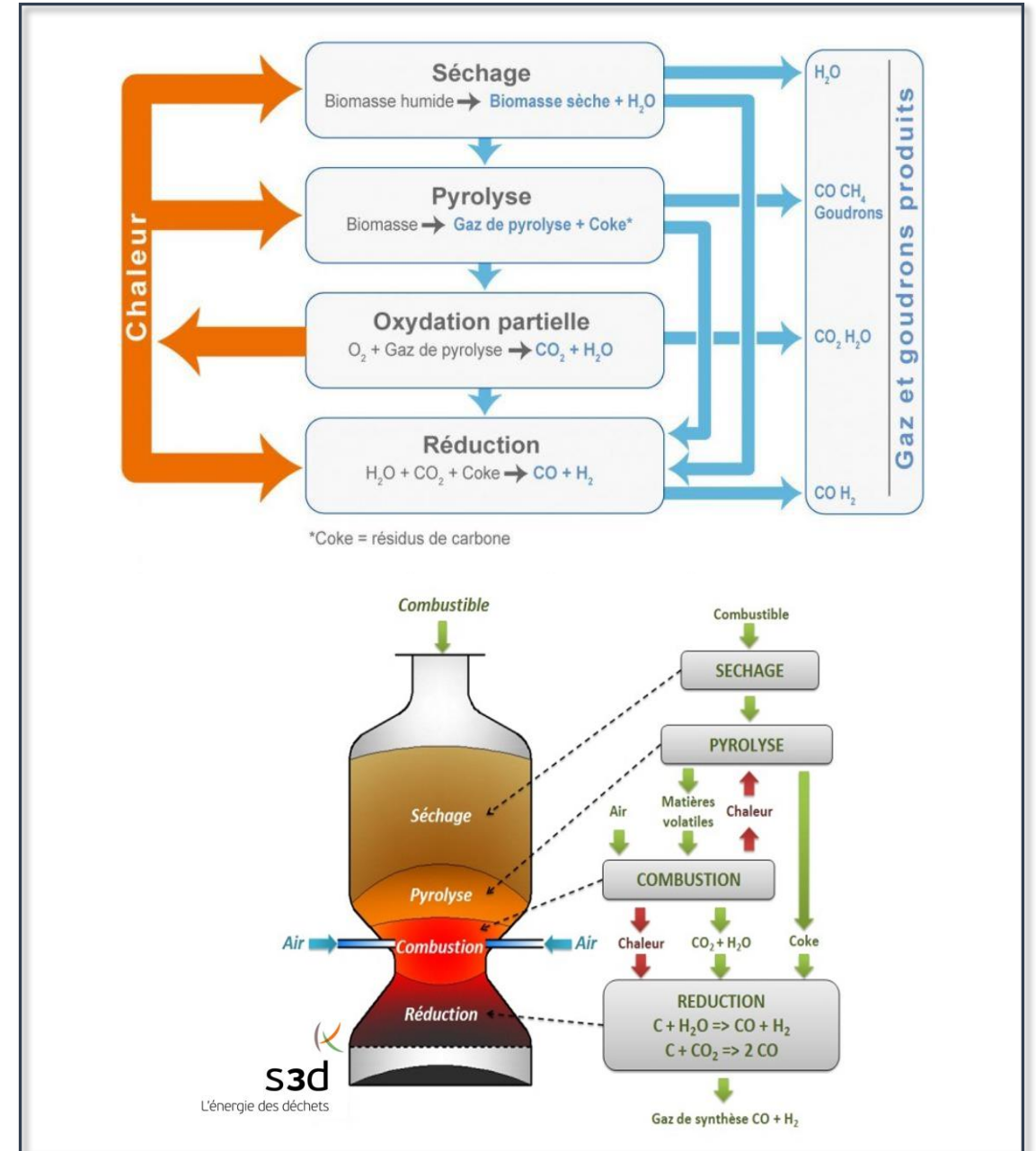
- Reformage du gaz naturel à la vapeur d'eau
- Electrolyse de l'eau
- Gazéification de biomasse

• Classification

- H₂ vert : électrolyse de l'eau + énergie renouvelable
- H₂ gris : procédé thermo-chimique à partir d'énergie fossile
- H₂ bleu : hydrogène gris + captage CO₂ émis
- H₂ jaune : hydrogène vert + énergie nucléaire

• Type de mise en œuvre

- PSA
- TSA

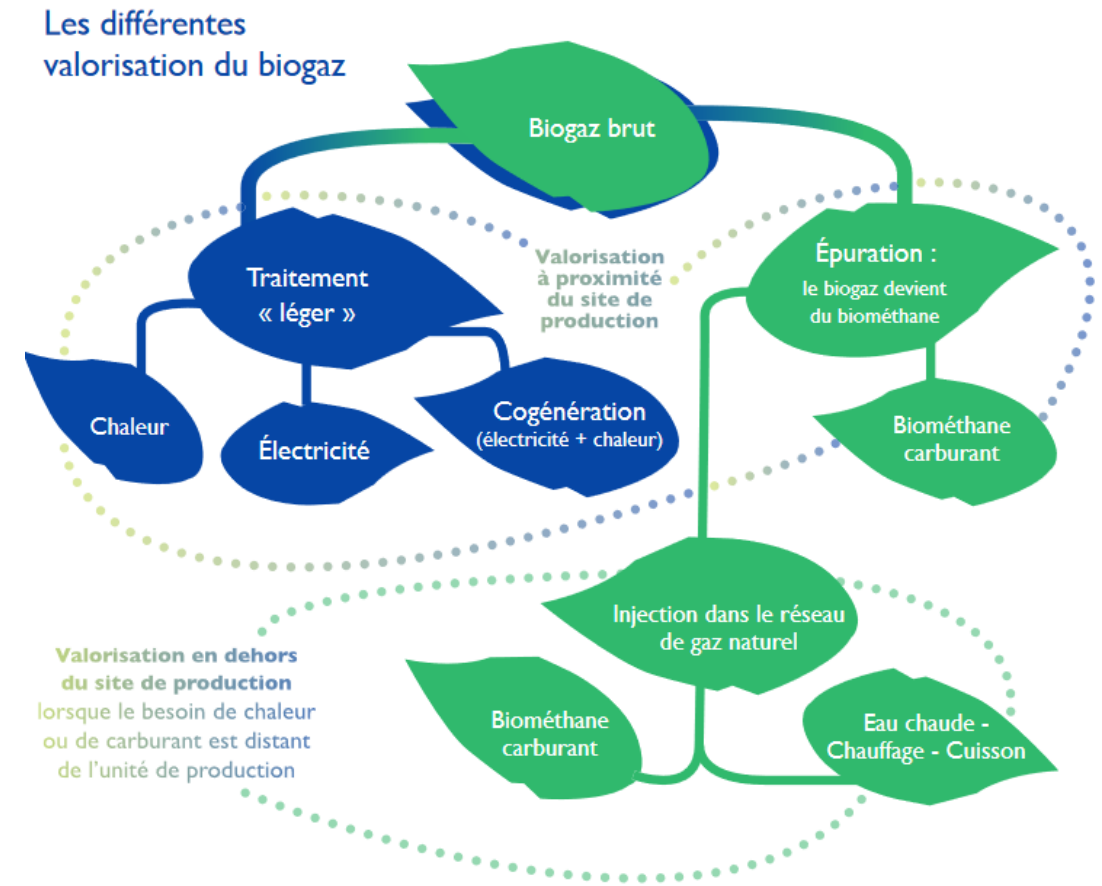


PRODUCTION DE BIOGAZ - BIOMÉTHANE

- Production de biogaz
 - Biogaz brut : $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 +$ composés traces
 - Pre-upgrade : suppression des composés traces
 - Upgrade : séparation $\text{CO}_2 - \text{CH}_4$

Définition de la méthanisation : procédé de dégradation par des microorganismes de la matière organique issue de déchets ou de cultures, qui produit un mélange gazeux constitué de 50 à 70 % de méthane (CH_4).

Définition du biométhane : biogaz épuré à une qualité équivalente à celle du gaz naturel et miscible avec ce dernier.



Source : ADEME

Injection de biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel

PRODUCTION DE BIOGAZ - BIOMÉTHANE

Paramètres	biogaz	GNR	Gaz naturel
Mesures en continu			
CH4	60,15	97,20	95,41
C2H6	-	0,00	1,93
C3H8	-	0,00	0,15
C4H10	-	0,00	0,02
CO2	35,50	1,80	0,65
H2S	2 876	1,00	4,00
S total	2 730	-	-
O2	0,95	0,20	0,00
H2	0,005	0,00	0,00
H2O	saturé	5,40	21,50
Valeurs dérivées			
Gaz diluants : N2	39,85	2,80	2,47
O2 CO2			
Pouvoir calorifique supérieur	22,68	36,64	37,89
Indice de <u>Wobbe</u>	23,70	48,30	50,38
Composants en traces			
COV	8 016	-	-
Cu	9 500	-	-
As	<u>n.d.</u>	-	-
Hg	0,100	-	-
<u>siloxanes</u>	0,150	-	-
Cl	0,089	-	-
F	0,002	-	-
CH2CHCl	0,032	-	-
NH3	0,340	-	-
Bactérie oxydante, réductrice, acidifiante	31 600	6 300	150 000

PRODUCTION DE BIOGAZ - BIOMÉTHANE

	Taille des installations	Perte de CH4	Avantages	Inconvénients
Lavage à l'eau	Moyenne ou grande	2%	Facile à mettre en place	Consomme de l'eau qui doit être traitée : 0,6 à 3 L/Nm ³ CH ₄ .
Lavage organique	Moyenne ou grande	4%	Faible encombrement	Consommation de réactifs.
Lavage aux amines	Moyenne ou grande	0,4%	Produits très purs. Pas de pertes de méthane dans le gaz de purge.	Demande thermique pour la régénération importante (1,8 kWh/Nm ³ produit).
Pressure swing adsorption	Petite à moyenne	2%	Pas de pertes de CH ₄ si chaudière gaz de purge. Ne consomme aucun réactif.	
Techniques membranaires	Petite à moyenne	20%-0,5%	Ne consomme aucun réactif. Flexibilité du processus.	Durée de vie de 7 à 9 ans (à renouveler).
Cryogénie	Grande	Aucune	CH ₄ et CO ₂ très purs. Valorisation du CO ₂ liquide.	Forte consommation d'électricité.

Source: Anaerobic Biotech. for Bioenergy Production – Biogas purification

Paramètres	Lavage à l'eau	Lavage solvant organique	Lavage aux amines	PSA	Technologie membranaire
Coûts d'investissement [€/m³/h]					
pour 100m³/h biométhane	10.100	9.500	9.500	10.400	7.300-7.600
pour 250m³/h biométhane	5.500	5.000	5.000	5.400	4.700-4.900
pour 500m³/h biométhane	3.500	3.500	3.500	3.700	3.500-3.700
Coûts de fonctionnement [ct€/m³]					
pour 100m³/h biométhane	14,0	13,8	14,4	12,8	10,8-15,8
pour 250m³/h biométhane	10,3	10,2	12,0	10,1	7,7-11,6
pour 500m³/h biométhane	9,1	9,0	11,2	9,2	6,5-10,1

Source: Membrane Gas Separation Technologies for Biogas Upgrading
Chen et al. 2015

STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMOCHIMIQUE

• Principe

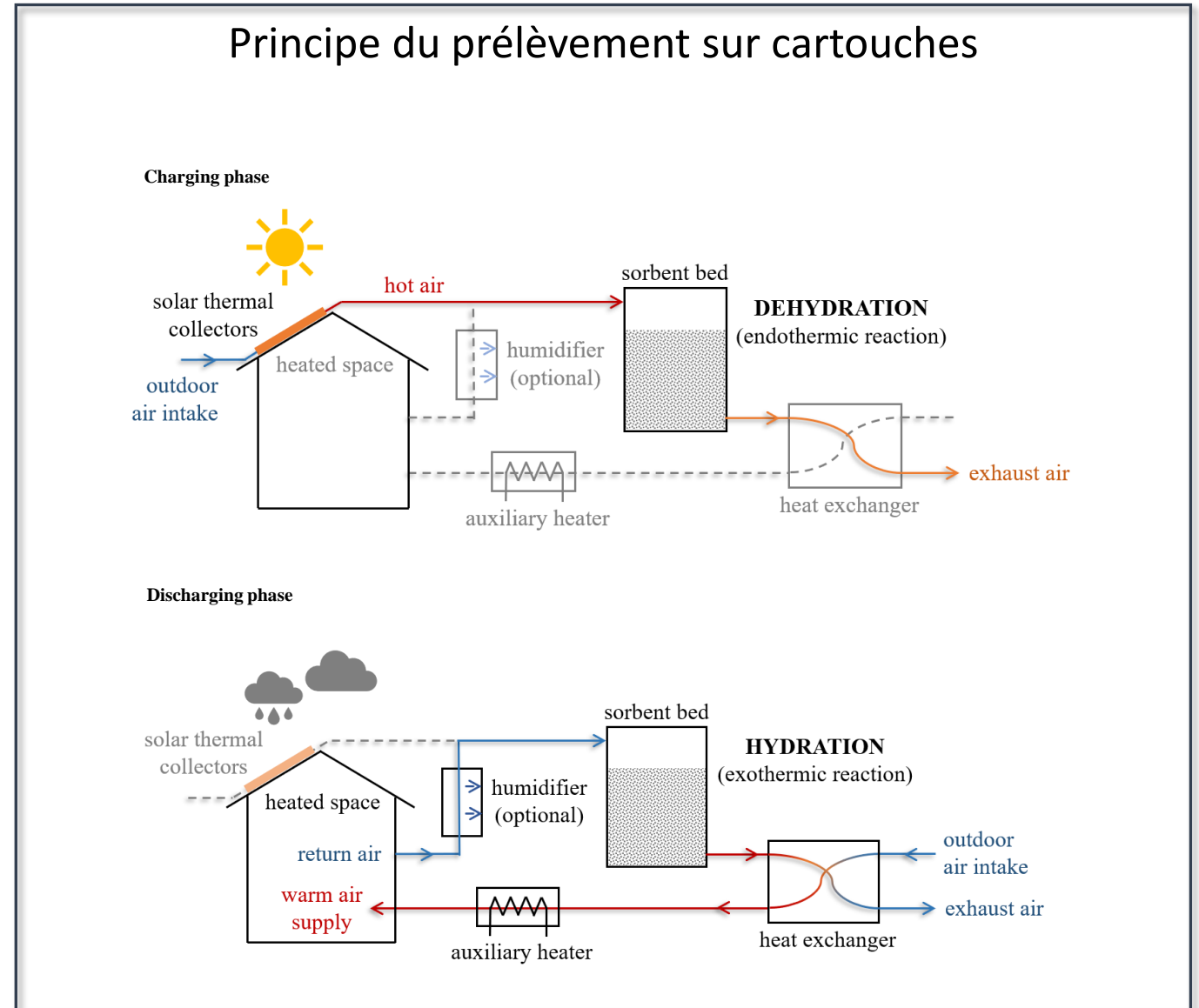
- Hydratation : exothermique
- Déshydratation : endothermique
- Déshydratation : énergie solaire

• Matériaux

- Zéolithes
- Matériaux dopés en sels

• Avantages

- Fortes densités énergétiques
- Pas de pertes thermiques



PRÉLÈVEMENTS - ANALYSES

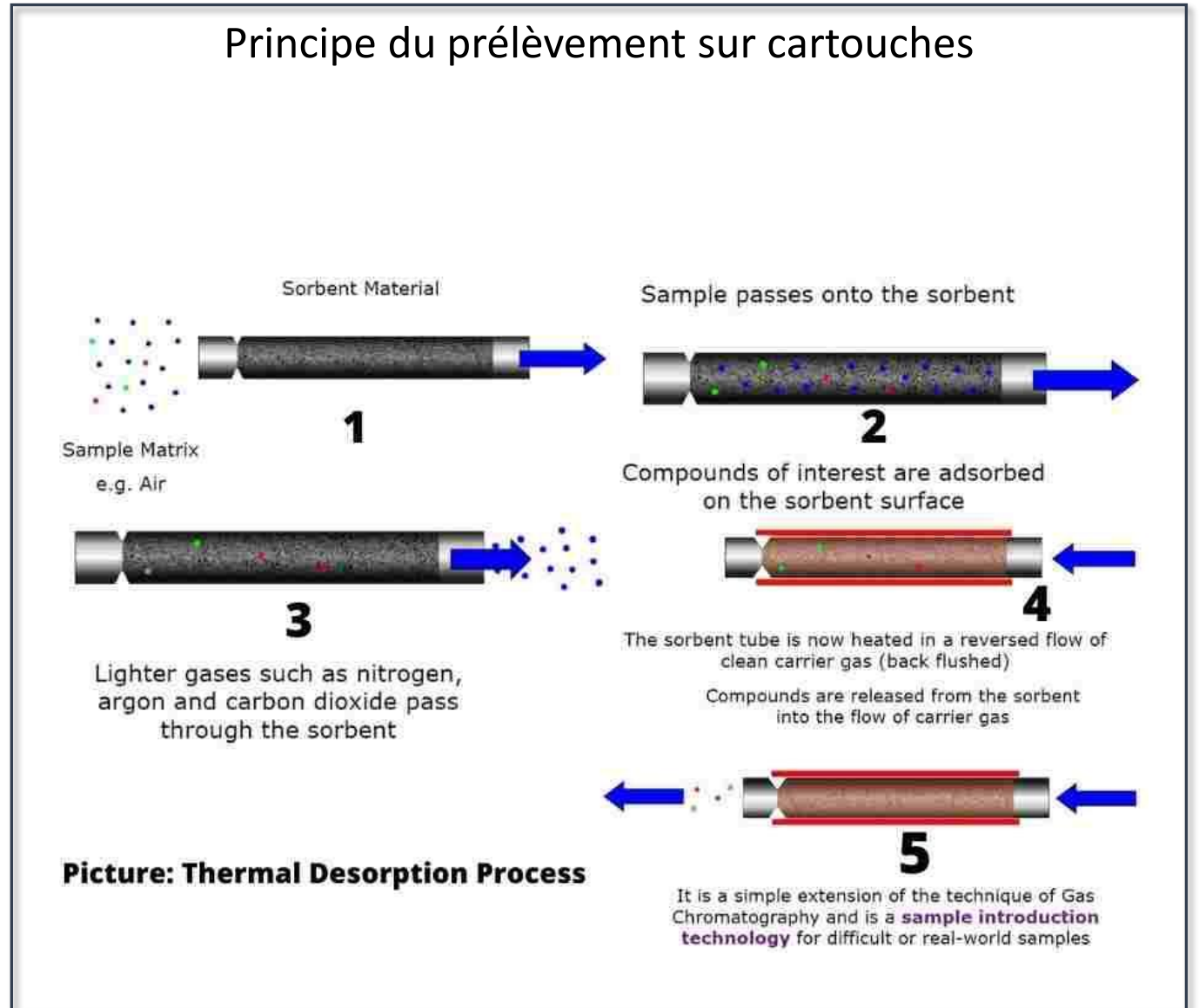
- Principe

- Prélèvement – concentration du polluants sur cartouches adsorbantes
- Prélèvements
 - Actif : débit au travers de la cartouche
 - Passif
- Désorption en laboratoire - analyse

- Type d'adsorbants

- Charbons actifs
- DNPH (réactif)

Principe du prélèvement sur cartouches



PRÉLÈVEMENTS - ANALYSES

• Principe

- Prélèvement – concentration du polluants sur cartouches adsorbantes
- Prélèvements
 - Actif : débit au travers de la cartouche
 - Passif
- Désorption en laboratoire - analyse

• Type d'adsorbants

- Charbons actifs
- DNPH (réactif)

Principe du prélèvement sur cartouches

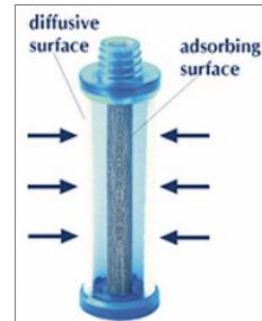


Figure 1. Radial Design of radiello

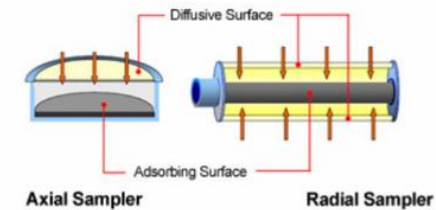


Figure 2. Uptake/Sampling rates are higher for radial samplers than axial (e.g. Benzene @25°C <10mL/min vs. >70mL/min)



Tableau II : Résultats de l'analyse GC/MS après accumulation sur charbon actif et extraction au sulfure de carbone

N du pic	TR min.	Produit	Présent sur tubes*	Q	Surface.10 ⁷
1	12,28	1-butanol	o**	91	2,105
2	12,55	benzène	o	91	0,395
3	12,68	cyclohexane	n***	90	0,129
4	12,88	3-méthylhexane	n	91	0,060
5	13,67	1,2-diméthylcyclopentane	n	76	0,016
6	13,82	heptane	n	94	0,161
7	14,05	trichloréthylène	o	98	0,176
8	14,66	butanoate de méthyle	o	91	0,664
9	15,18	3-méthyl 1-butanol	o	90	0,155
10	15,23	méthylcyclohexane	o	97	0,102
11	15,36	2-méthyl 1-butanol	o	83	0,089
12	16,00	diméthylsulfide	o	97	7,23
13	16,11	Éthyl isobutanoate	o	90	0,212
14	16,45	1-pentanol	o	90	0,170

MATÉRIAUX POUR LA DÉPOLLUTION ET APPLICATIONS

Questions ?

