



Master SGE Module Eau (34U3): Chap. 5: Production d' eau potable

Daniel Thévenot
Cereve

**Université Paris XII-Val de Marne, ENPC, ENGREF
(UMR-MA 102)**

<http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/thevenot/enseignement.html>

Sommaire

- 0- Introduction
- 1- Oxydation
- 2- Stérilisation
- 3- Traitements chimiques
- 4- Traitements de l'azote
- 5- Filtration
- 6- Stockage
- 7- Distribution
- Conclusion

0- Introduction

- 0.1. Besoins en eau**
- 0.2. Risques microbiologiques**
- 0.3. Risques chimiques**
- 0.4. Organisation des services d'eau**
- 0.5. Prix de l'eau**
- 0.6. Présentation d'une filière de production d'eau potable**

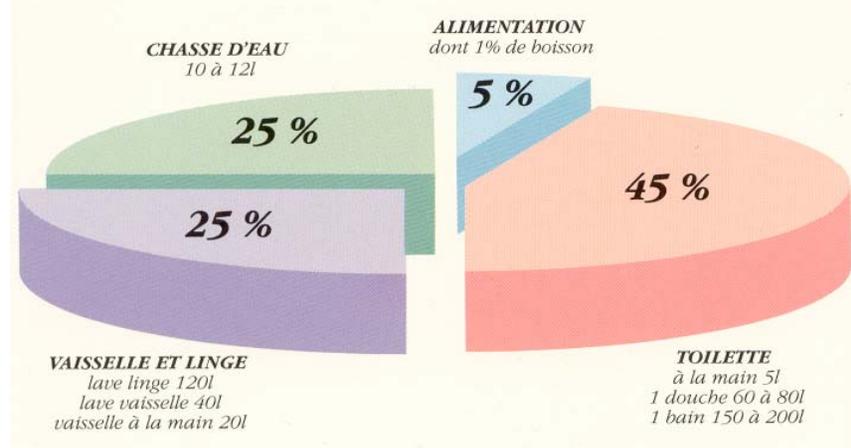


0- Introduction

- **0.1. Besoins « vitaux » de la population**
 - Charter Square, Afrique du Sud (1993)



Introduction



■ 0.1. Besoins quotidiens

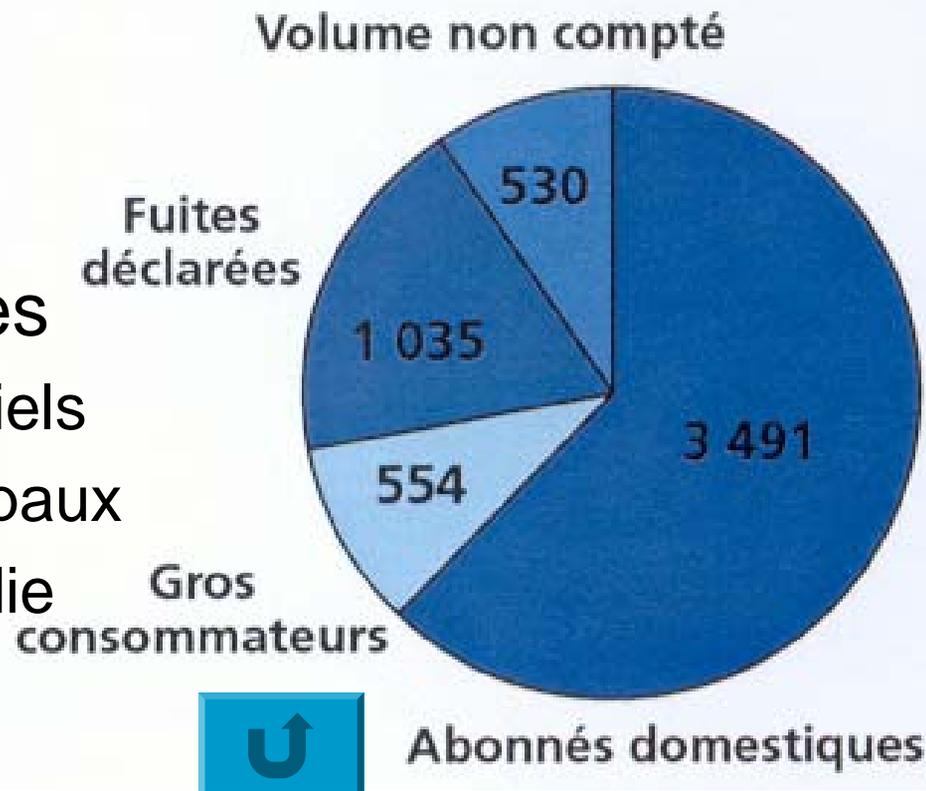
AESN, 1994

- 100 à 400 L/jour/habitant
 - 45% toilette
 - mains: 5 L
 - douche: 60-80 L
 - bain: 150-250 L
 - 25% lavage vaisselle et linge
 - lave-vaisselle: 40-80 L
 - lave-linge: 120 L
 - 25% chasse d'eau WC (10-12 L /chasse)
 - 5% alimentation (seulement 1% boissons)
 - Autres: arrosage jardin, lavage voiture...

0.1. Utilisation eau potable

■ Volume distribué 10^3 m^3 (1998)

- Importance des fuites !
- Autres usages que domestiques
 - Usages industriels
 - Usages municipaux
 - Sécurité incendie



IFEN, 2001



0. Introduction

■ 0.2. Protection de la santé contre les maladies d'origine hydrique

– Risques hydriques

- Ingestion
- Contact direct avec l'eau
- Risque indirect

– Types de risques

- Court terme: microbiologique & chimique
- Moyen & long terme

0.2. Risques microbiologiques

■ Protection de la santé: Indicateurs fécaux: potentiellement pathogènes

- Coliformes thermo tolérants: E. Coli
- Streptocoques fécaux
- Indicateurs d'efficacité de traitement
 - Streptocoques fécaux
 - Coliformes totaux: **maxima = 0 / 100 mL (2.000 / 100 mL pour baignade)**
 - Clostridium sulfito-réducteurs
- Etudes épidémiologiques: réellement pathogènes
 - virus, parasites, mycobactéries
 - Origine non fécale: cyanobactéries, légionelles...

0.2. Efficacité du traitement microbiologique

- **Traitement multi barrière**
 - Filtration, stérilisation, oxydant résiduel
- **Paramètres de qualité & traitement**
 - Température, pH
 - Turbidité
 - Demande en oxydant: matière organique, NH_4^+
 - Concentration en oxydant actif (résiduel)
 - Temps réel de contact



0.3. Risques chimiques

■ **Modèle OMS: dose sans effet sur l'homme**

- À partir de données sur homme ou animal
- Si pas d'induction de cancer
 - Apport alimentaire journalier (Total Daily Intake)
 - Niveau à effet non observable (mg/kg animal/j)
 - Poids moyen d'un homme (70 kg)
 - Dose journalière admissible DJA (mg/j) dans 2 L d'eau
 - Concentration maximale admissible (CMA) (mg/L)
 $CMA = \sum DJA \text{ via alimentation, inhalation...}$
- Si substance cancérigène
 - Substance non génotoxique: comme ci-dessus
 - Substance génotoxique: risque de contact = 10^{-5}

0.3. Exigence de **qualité**

■ **Evolution des exigences de qualité**

- De la ressource: différents types de traitement pour différentes qualités
 - A1, A2, A3 A4 usage interdit pour potabilisation
 - Valeurs à garantir dans 95% des cas (si plus de 40 analyses par an)
- De l'eau distribuée
 - 1989, 1995, 1998 (98-83)
 - 2001-1220 (12 décembre 2001) & annexes (2003, bromates: 2008; Pb: 2013)

0.3. Exigence de qualité

■ Modifications de seuils: Pb

- Traitement des eaux permet d'atteindre 25 $\mu\text{g/L}$ dans 90% des cas
- Insuffisant pour atteindre la norme de 10 $\mu\text{g/L}$
- Nécessité de changer l'ensemble des canalisations en plomb pour atteindre cette norme de 10 $\mu\text{g/L}$

B. Welté, SAGEP, 2004

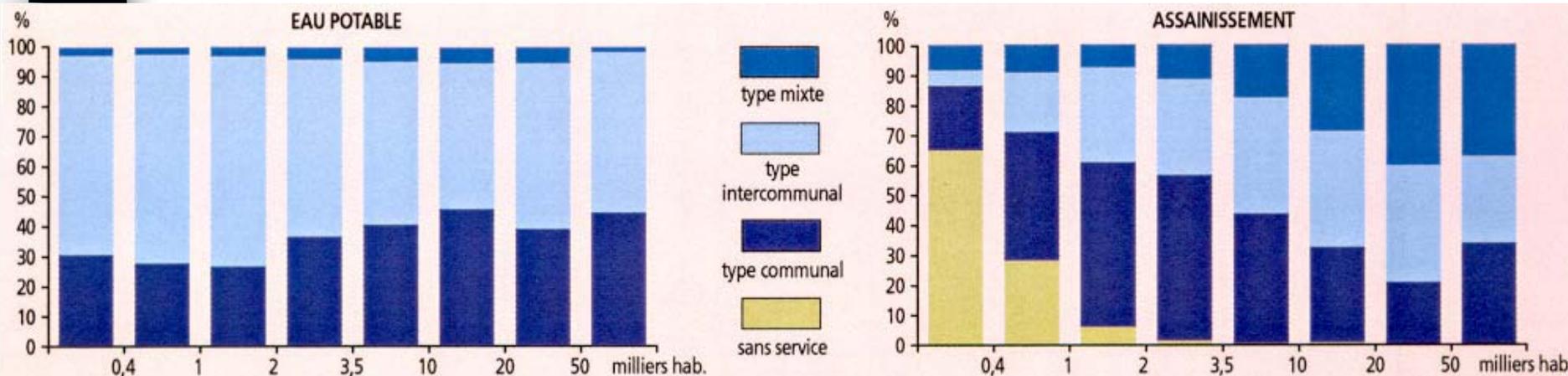


0. Introduction

■ 0.4. Organisation des services d'eau

– **Communal** ou intercommunal ?

- distribution pour eau potable et assainissement
- selon population de la commune



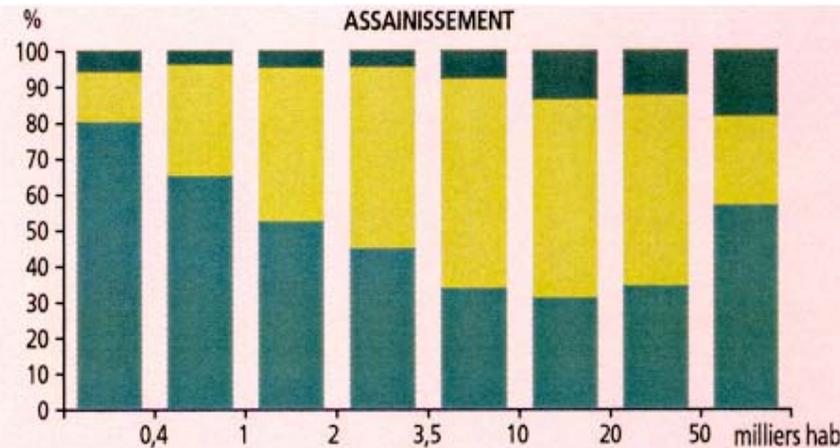
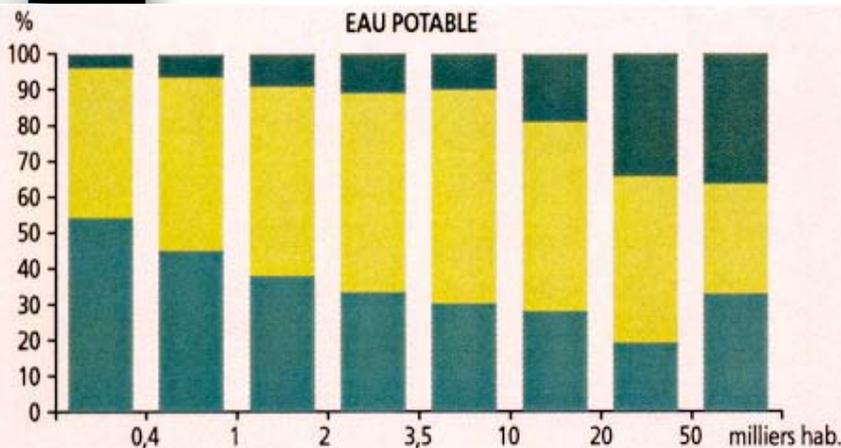
IFEN, 2001

0. Introduction

■ 0.4. Gestion des services d'eau

– Régie **directe** ou **affermage** ?

- distribution pour eau potable et assainissement
- selon population de la commune

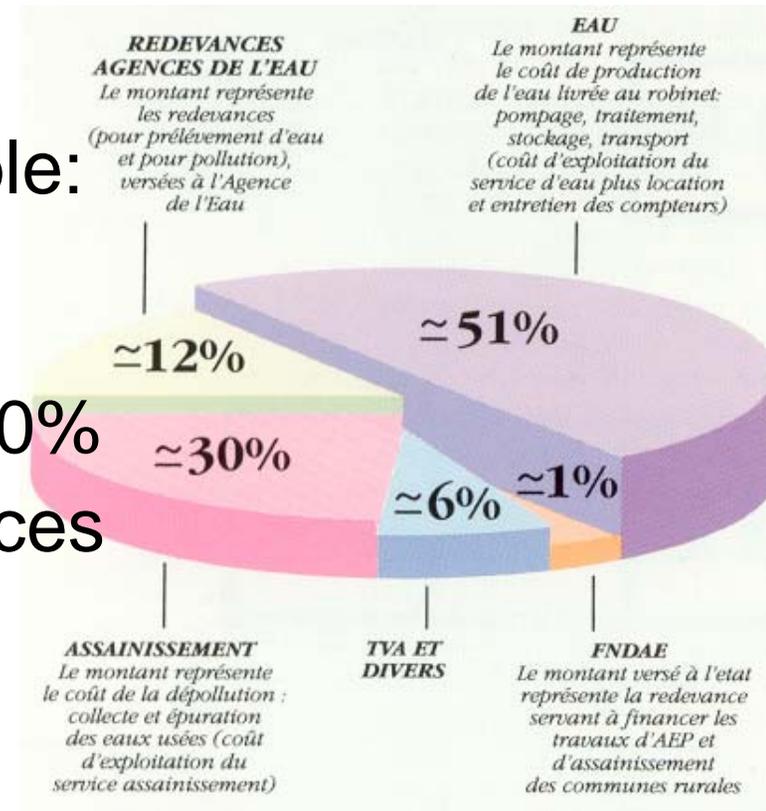


IFEN, 2001

0.5. Prix de l'eau potable

■ Éléments du prix de l'eau potable

- Production eau potable: **51%**
- Assainissement et épuration **eau usée**: 30%
- Redevance aux Agences de l'Eau: 12%
- TVA: 6%
- Fond national d'aide **FNDAE**: 1%



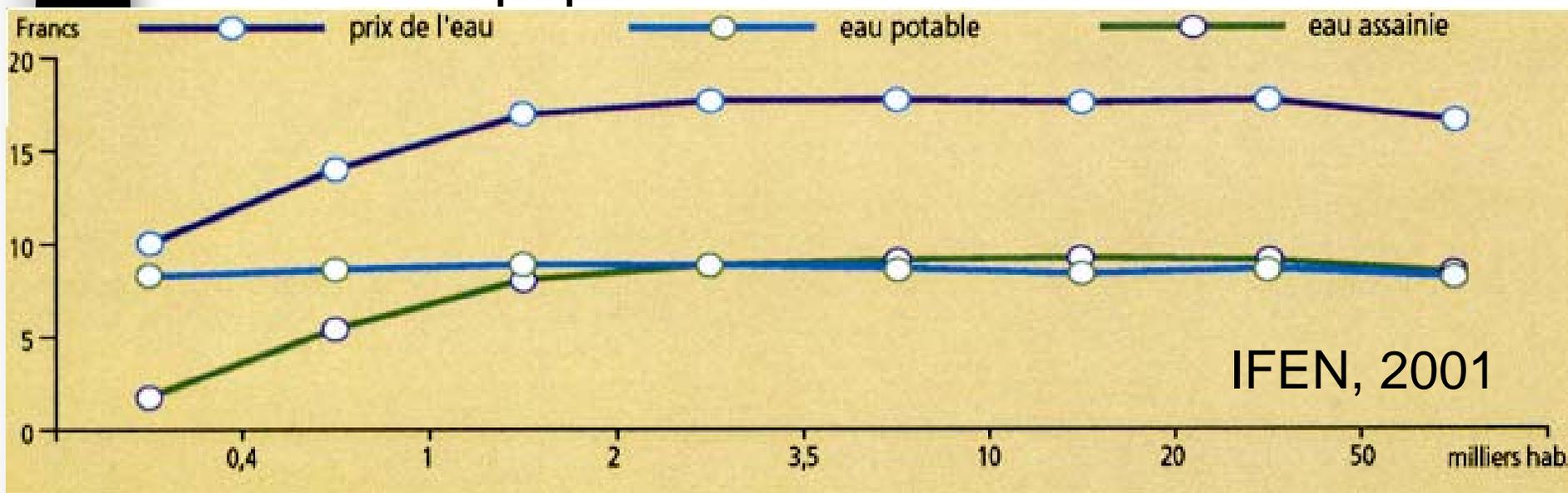
AESN, 1994

0.5. Prix de l'eau potable

■ Prix de l'eau: contribution de l'eau potable & de l'assainissement

– 5 à 23 F / m³ (1998)

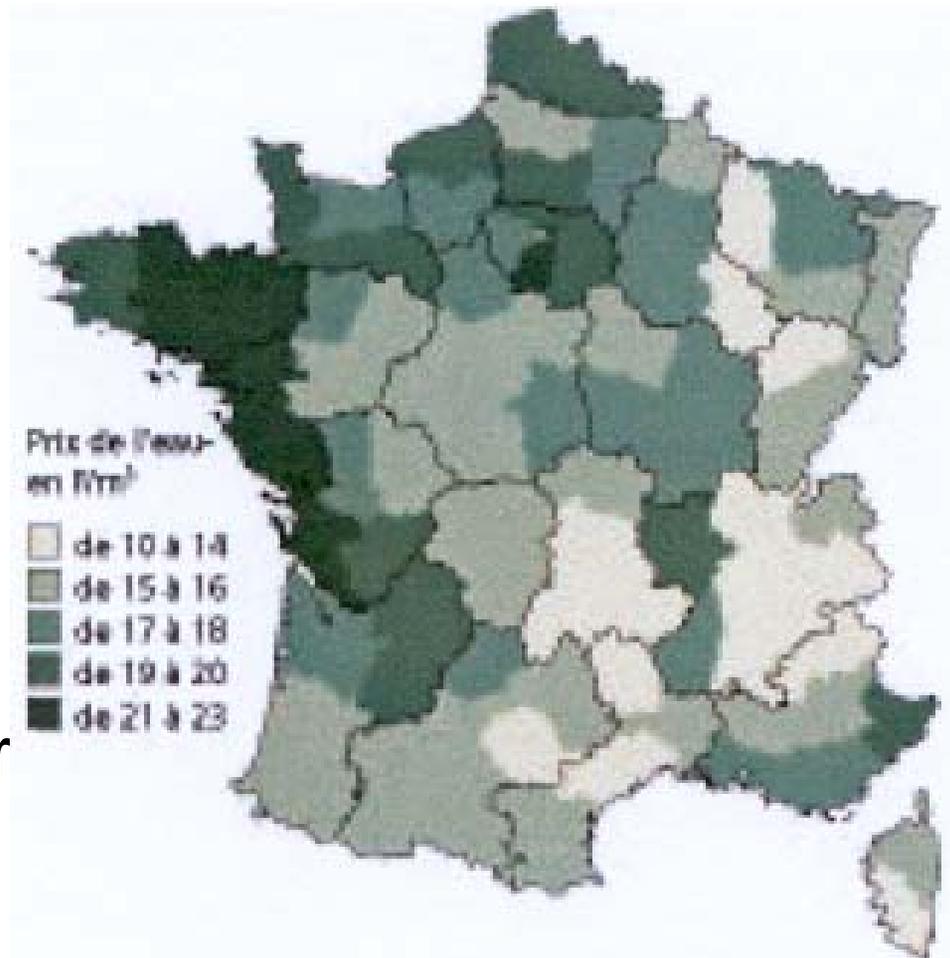
– selon population de la commune



0.5. Prix de l'eau potable

■ **1,5 à 4 €/m³**
(1998)

– à comparer
avec eau en
bouteille:
0,3-1,5 €/L
soit 100 à
500 fois + cher



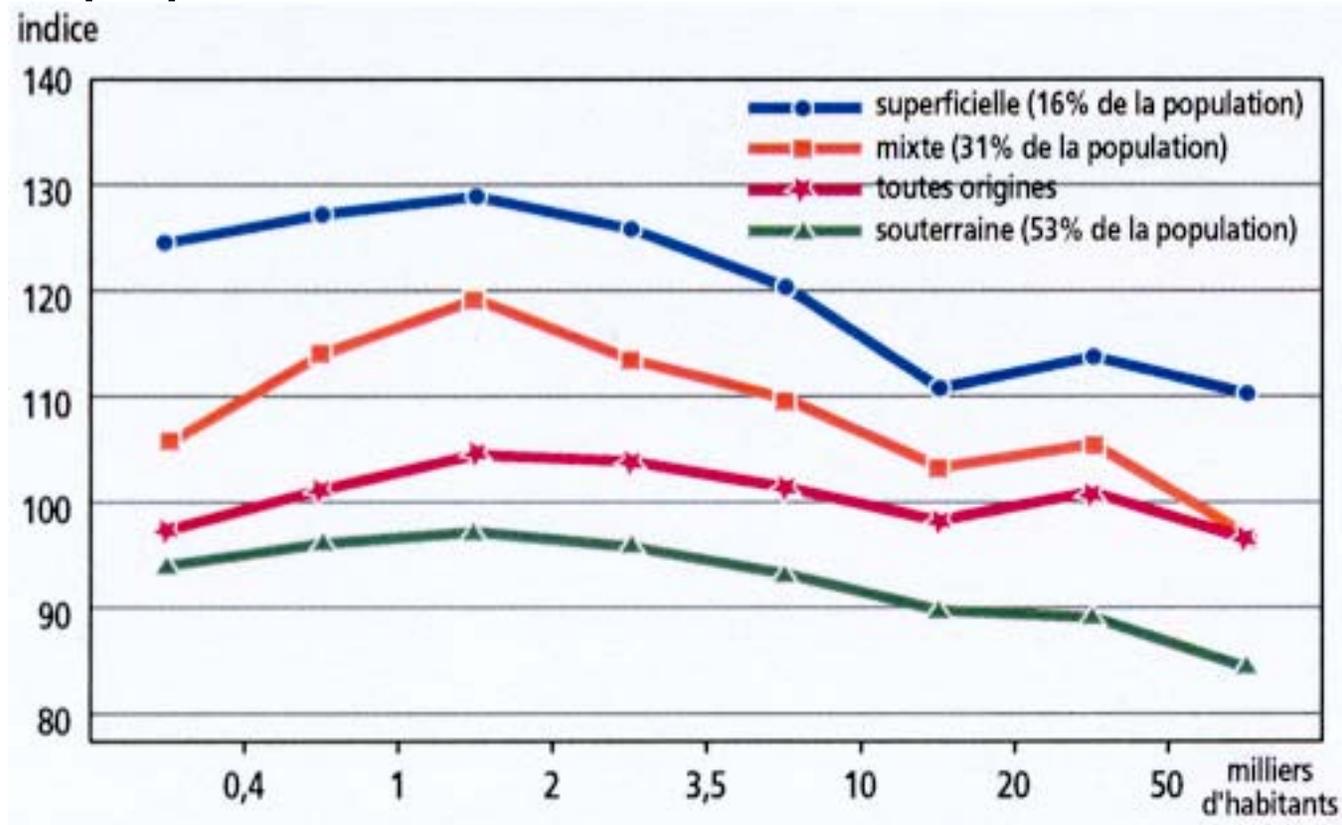
IFEN, 2001

Source : enquête eau 1998, Ifen - Scees - Agences de l'eau

0.5. Prix de l'eau potable

■ Prix selon origine et population

- Selon origine eau brute: superfic. > nappe
- Selon population

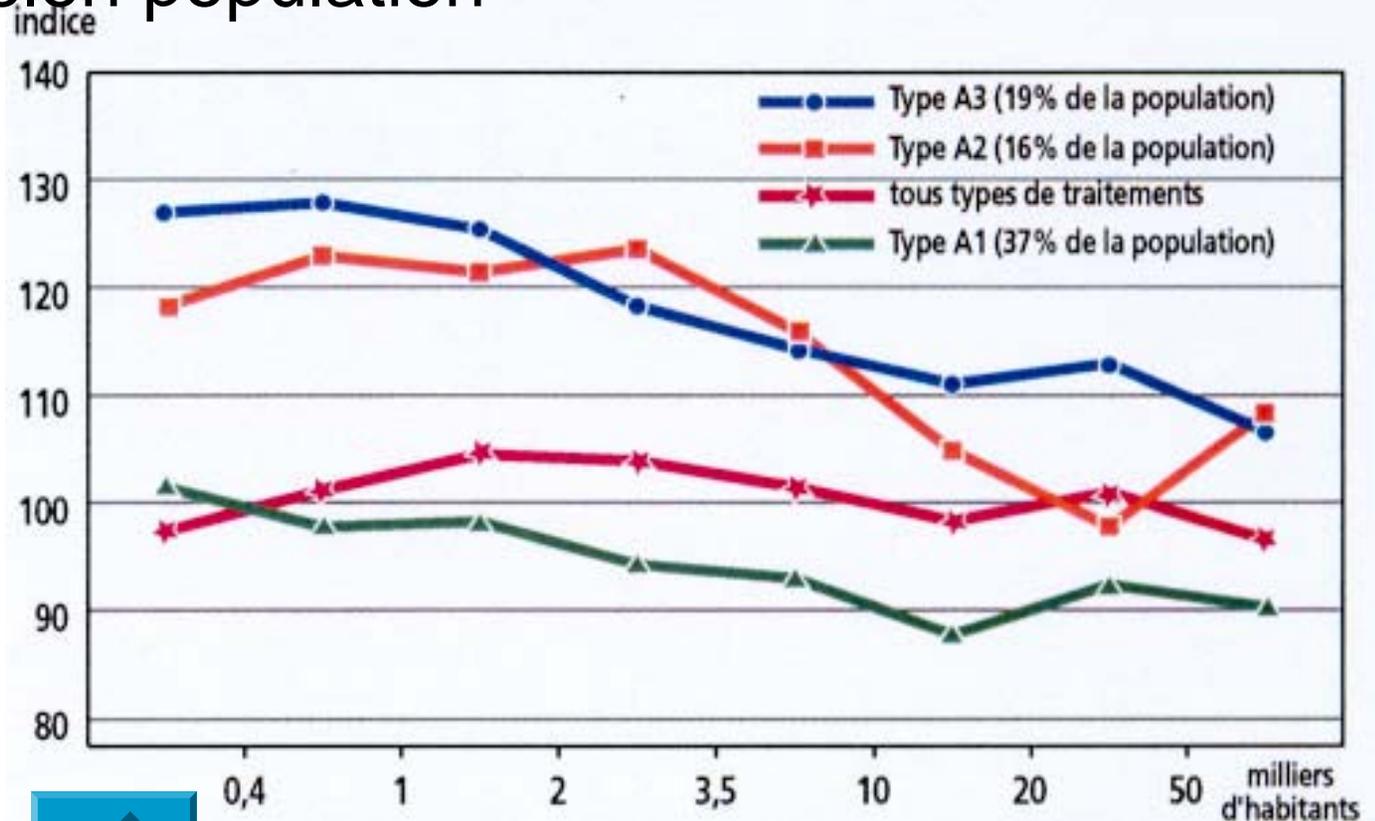


IFEN, 2001

0.5. Prix de l'eau potable

■ Prix selon traitement et population

- Selon type de traitement: A3 > A2 > A1
- Selon population



IFEN, 2001

07/11/05



Thévenot D.: SGE-M1-Module-Eau-5.ppt



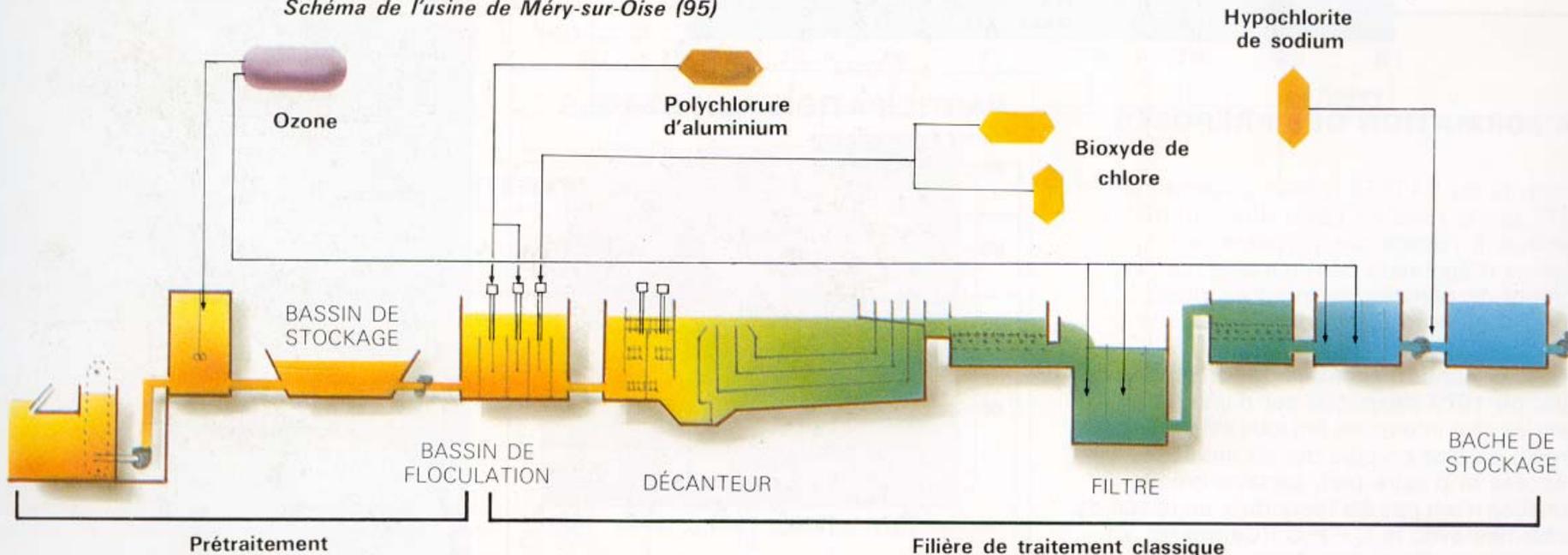
19

0. Introduction

- **0.6. Schéma général d'une filière**
 - Cas de Méry sur Oise: 270.000 m³/j

SCHÉMA DE L'USINE DE MÉRY-SUR-OISE (95)

Schéma de l'usine de Méry-sur-Oise (95)



0.6. Schéma général d'une filière

■ Prétraitement

- Dégrillage, tamisage, ozonation (& stockage en bassins)

■ Traitement

- Coagulation, floculation, décantation
- Lit de sable et charbons actifs en grains
- Ozonation et lit de charbon actif en grains

■ Stérilisation

- Chloration

■ Stockage et distribution

0.6. Schéma général d'une filière

■ Procédés spécifiques des traitements de potabilisation

- Oxydation
 - Chimique: O_3 et/ou ClO^-
 - Biologique: lit de sable et/ou charbon actif en grain
- Adsorption des micropolluants
 - Lit de charbon actif en grain
- Stérilisation avant distribution

0.6. Schéma général d'une filière

■ Procédés spécifiques des traitements de potabilisation

– Sécurité

- de l'approvisionnement
 - station d'alerte en rivière
 - stockage en surface ou en nappe avant traitement
- des contrôles
 - capteurs automatisés de qualité:
 - » matière organique: absorption UV
 - » MES: turbidité
 - » ammonium: capteur spécifique ionique...

0.6. Schéma général d'une filière

- **Choisy le Roy & Neuilly sur Marne (SEDIF)**



1- Oxydation

■ 1.1. Chloration (depuis 1850)

- Réactifs: ClO^- (solution), Cl_2 (gaz jaune liquéfié), ClO_2 (gaz orange liquéfié)
- Pré (eau brute) et post-chloration (stérilisation)
- Demande en chlore: résiduel vs. dose
- Réaction
 - oxydation des minéraux: NH_4^+ , Fe^{++} , Mn^{++} , NO_2^- , S^{--}
 - oxydation des organiques et production de dérivés chlorés (haloformes découverts en 1974)
 - disparition des pré-chlorations: toxicité des haloformes

1- Oxydation

1.2. Ozonation

- Réactif: O_3 généré *in situ* (air ozoné)
- Ozoneur
 - Décharge électrique dans air sec: plasma froid
 - Tour d'ozonation: peu soluble (réaction pendant trajet en colonne)
- Réaction
 - Oxydation des minéraux: NH_4^+ , Fe^{++} , Mn^{++} , NO_2^- , S^{--}
 - Ozonolyse des organiques
 - Traitement de l'eau brute et de finition

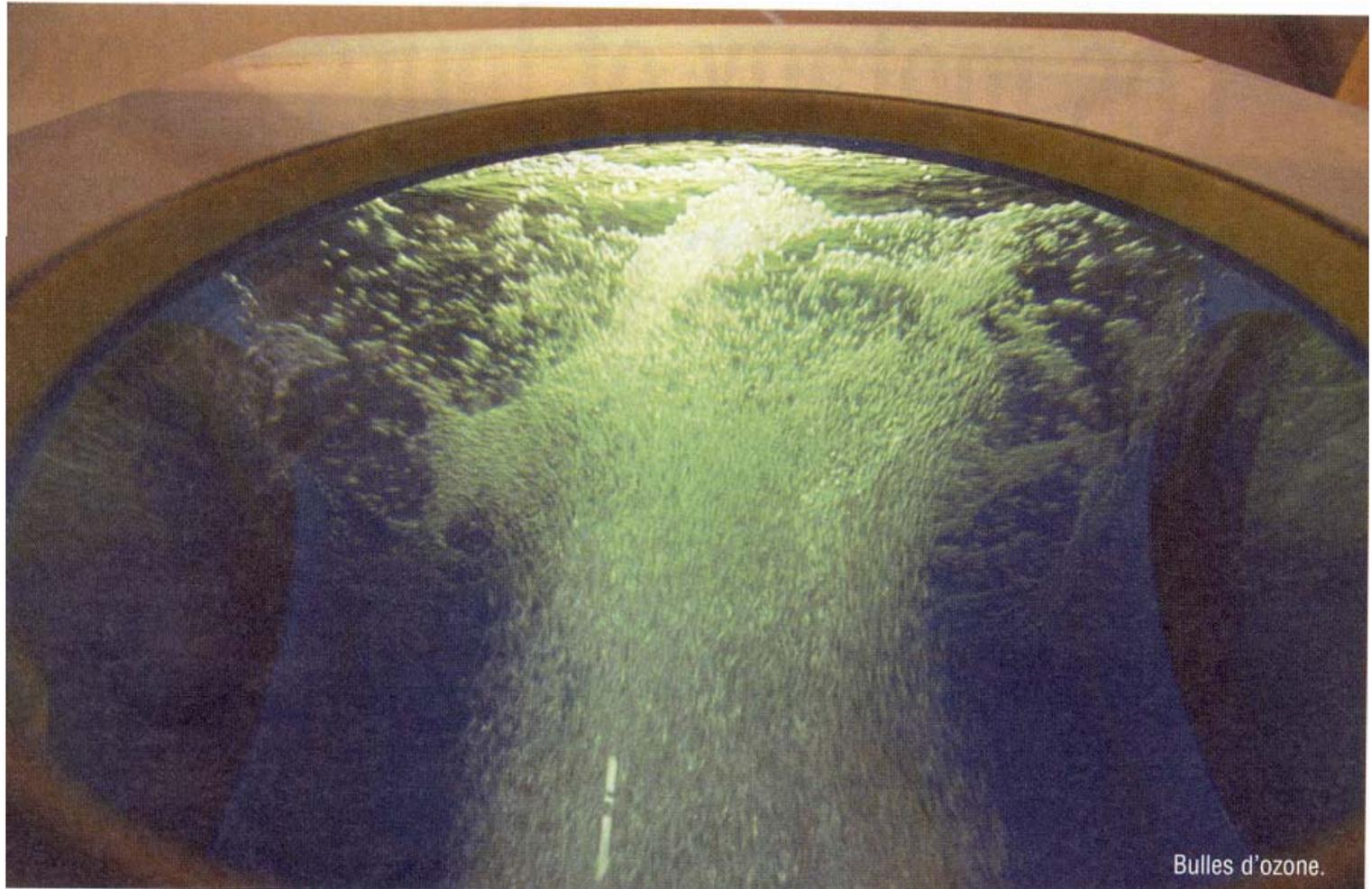
1- Oxydation

■ Ozoneur

- Lyonnaise des eaux



1.2. Ozonation



Colonne d'ozonation de l'eau par injection d'air ozoné

2- Stérilisation

■ 2.1. Chloration: HClO , ClO_2

- Bactéricide, algicide, virucide, bactériostatique
- Chlore résiduel (re-chloration en réseau)

■ 2.2. Ozonation

- Pas de stabilité suffisante dans l'eau pour maintien d'ozone résiduel en réseau

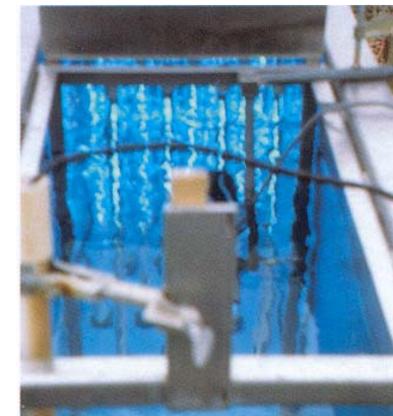
■ Résistant aux traitements chimiques

- Spores & kystes
- Nécessité de traitement physique (filtration)

■ 2.3. Traitement ultraviolet

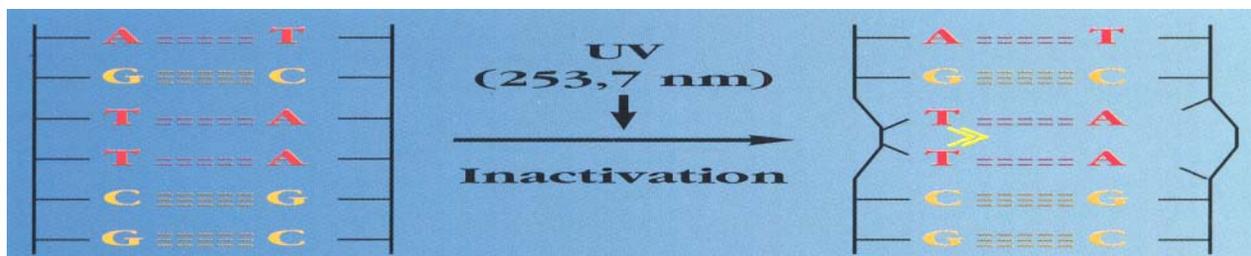
- Plus coûteux \Rightarrow rare !

2.3. Stérilisation



■ Stérilisation UV

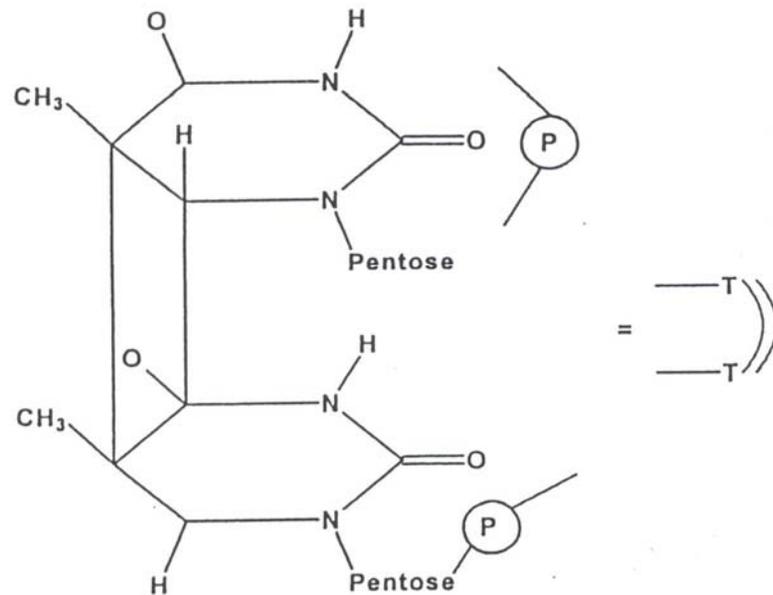
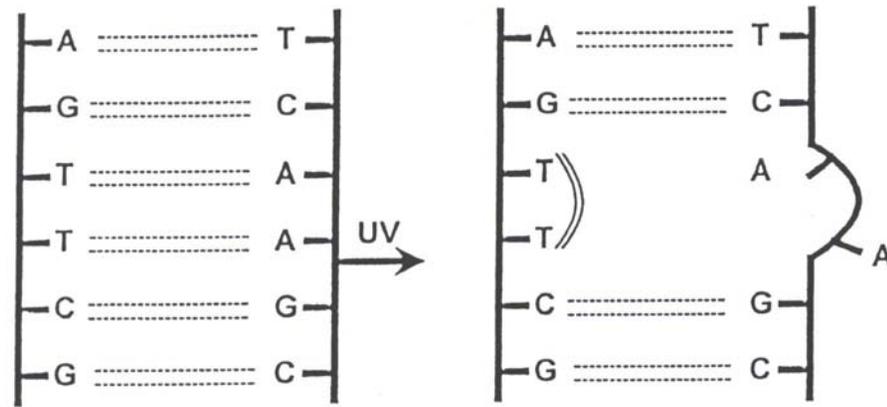
- Pilote AquaRay (OTV)
- Ruptures des chaînes ADN



2.3. Stérilisation UV

■ Action sur ADN

- Formation de dimère de thymine





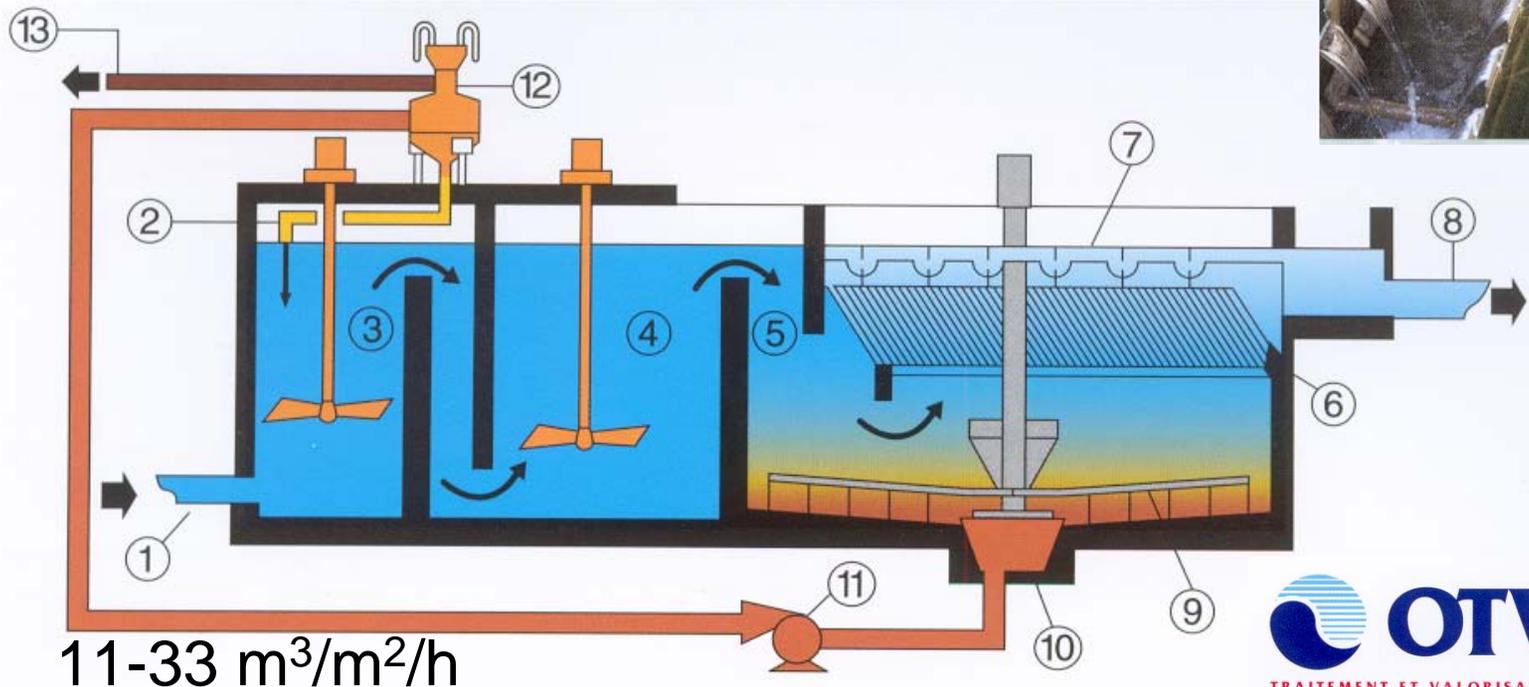
3- Traitements chimiques

- **Coagulation**
- **Floculation**
- **Décantation**

– voir Chapitre 1: Traitement des eaux usées

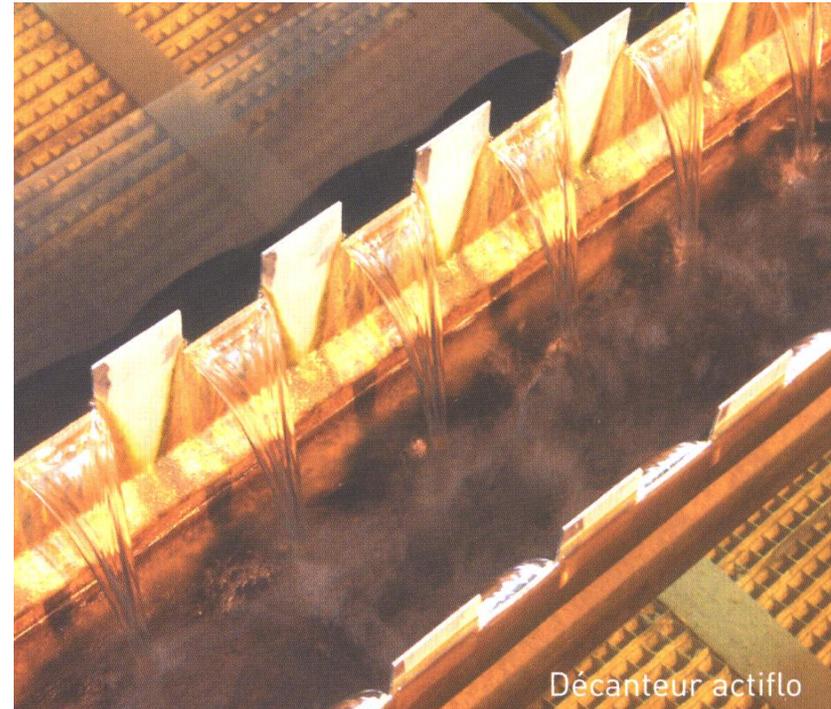
3. Traitements chimiques

- **Actiflo (OTV) avec $t_{\text{séjour}} < 10$ min**
 - Coagulation, floculation, décantation lamellaire avec injection sable



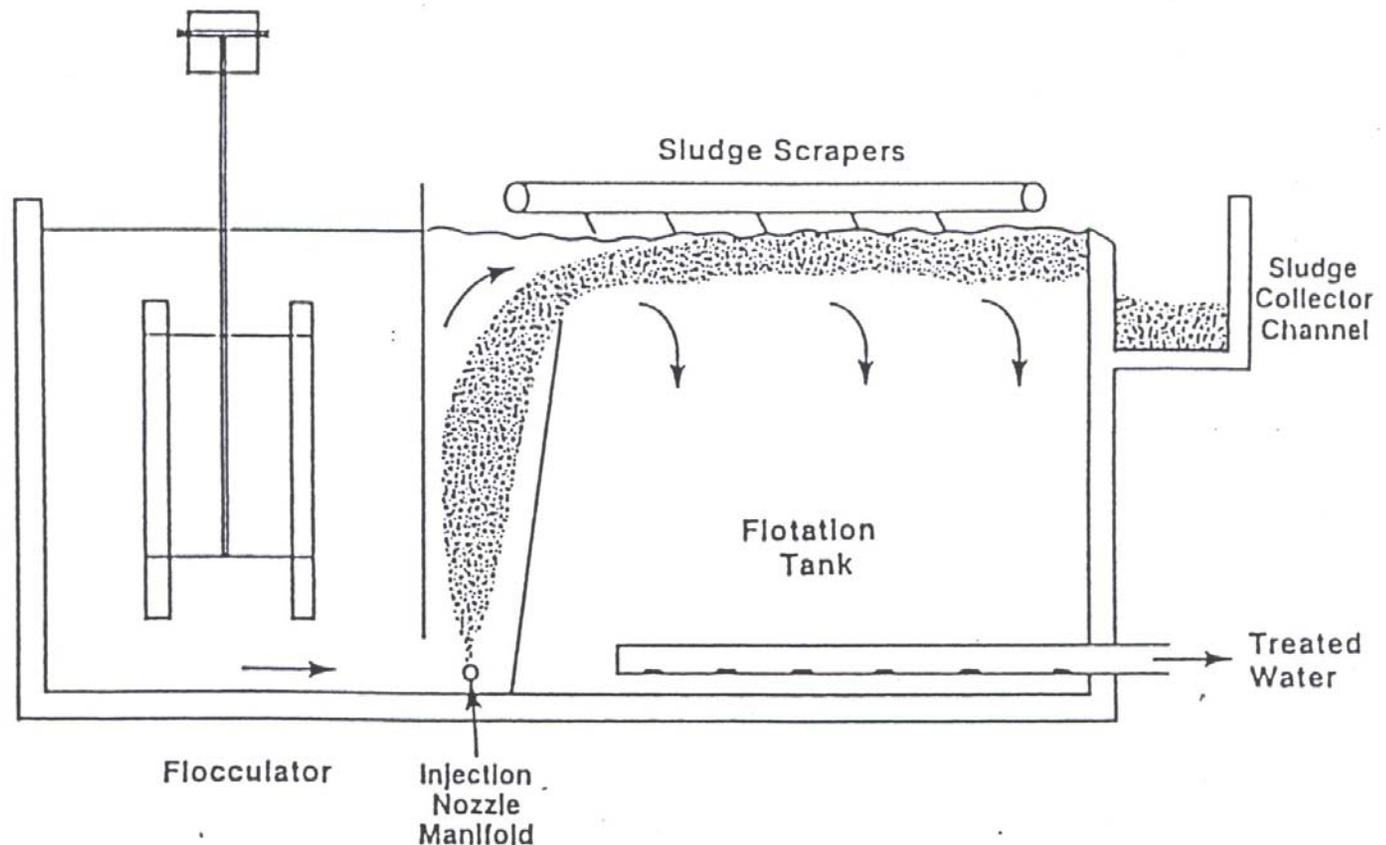
3- Traitements chimiques

■ Décantation: classique ou lamellaire



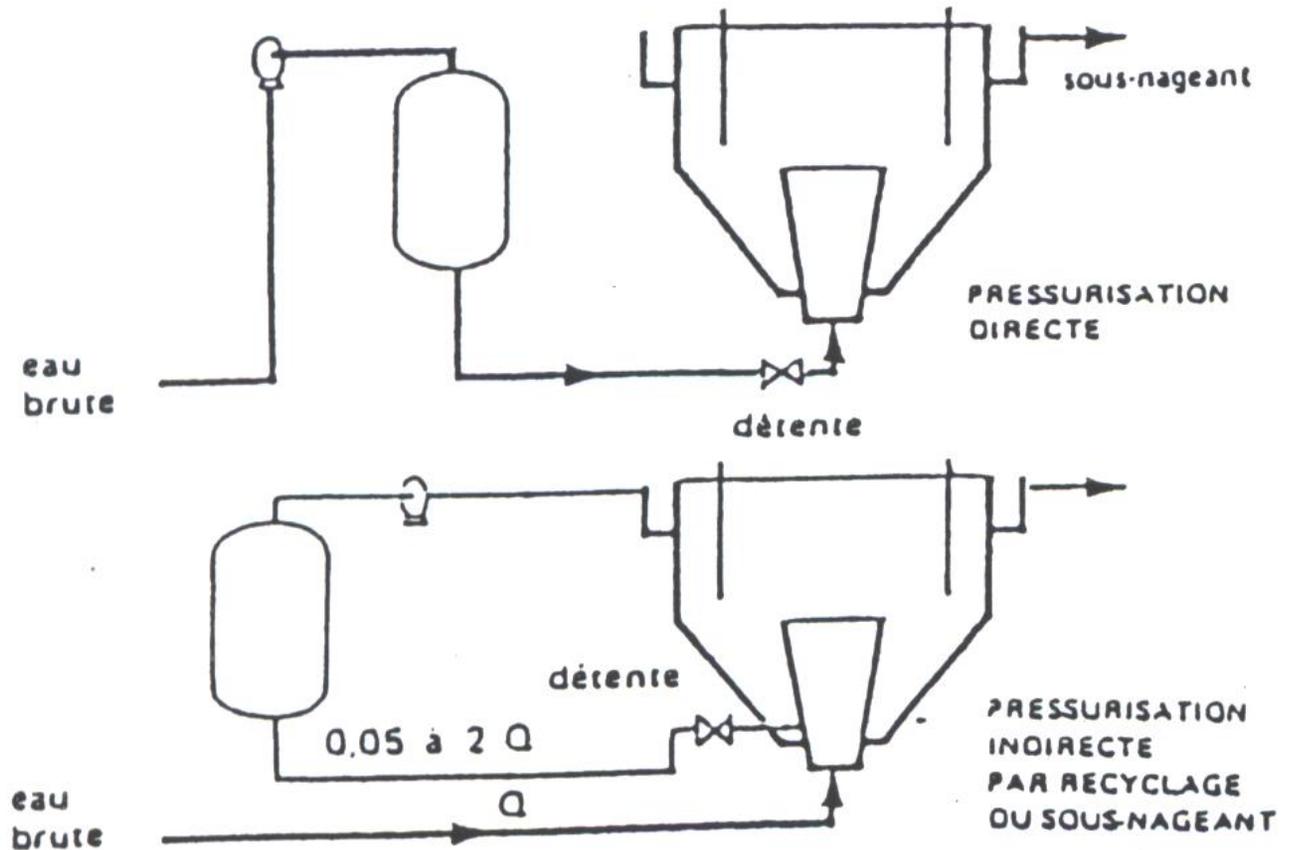
3- Traitements chimiques

■ Flottation à air dissous: microbulles



3- Traitements chimiques

■ Flottation à air dissous: schémas





4. Traitements de l'azote

■ 4.1. Nitrification

- Physique: NH_3 chassé à $\text{pH} > 12,6$ (air)
- Biologique: nitrosation suivi de nitratisation (aéré)

■ 4.2. Dénitrification

- Physique: échanges d'ions
- Biologique: dénitrification anaérobie, avec ajout de COD (alcool ou acide acétique)



5- Filtration

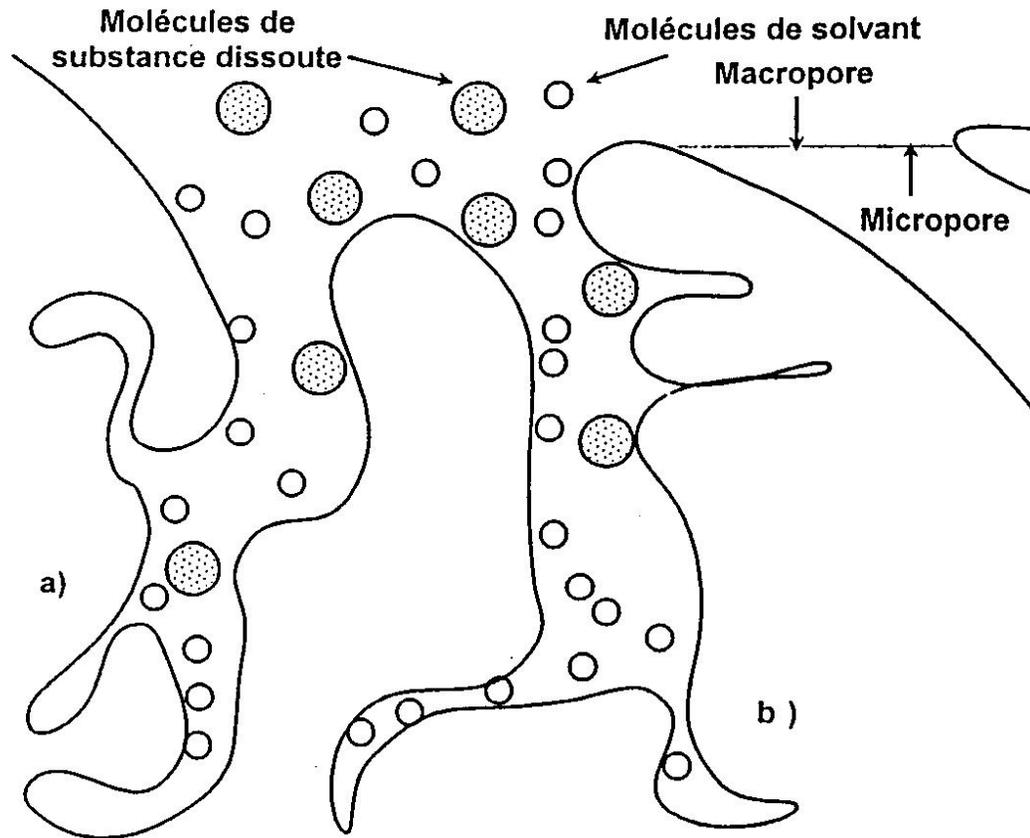
- **5.1. Séparation selon la taille des pores: μm à nm**
- **5.2. Filtration en profondeur**
 - Lits de sable et ou charbon actif en grains
 - Adsorption sur charbon actif
 - Biodégradation sur biofilm
- **5.3. Filtration en surface**
 - Membranes d'ultra ou nanofiltration
- **5.4. Comparaison des performances**

5.2 Adsorption

- Micro pores nécessaires
- Surface spécifique 1500 m²/g
- Après ozonation
 - Augmente C assimilable

STRUCTURE D'UN BON ADSORBANT

Dans un corps absorbant, nous avons les macropores et les micropores



a) zone accessible aux molécules de solvant et aux molécules dissoutes

b) zone accessible seulement aux molécules de solvant

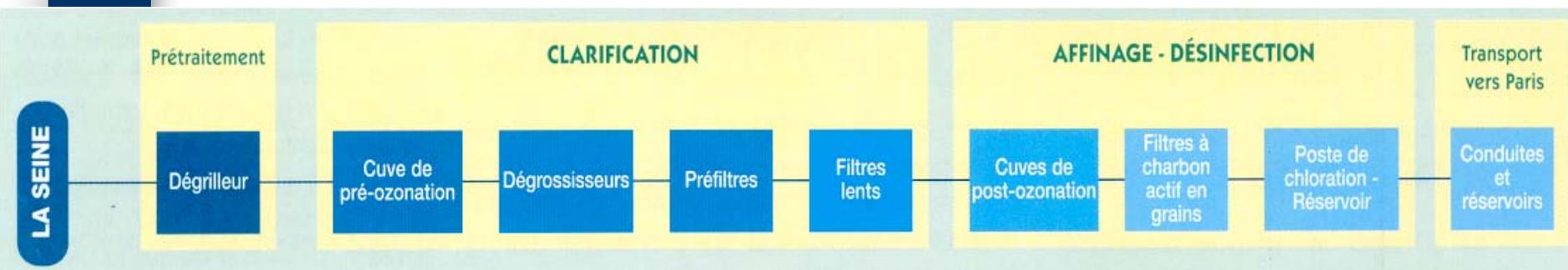
La surface spécifique joue un rôle important : on peut aller jusqu'à 2500 m²/g. Pour l'utilisation dans l'eau, on ne dépasse pas 1500 m²/g. Au-delà, les pores sont trop petits et ne permettent pas d'adsorption des molécules contenues dans l'eau

5- Filtration



■ 5.2. Ivry (SAGEP) filtres lents

- 300.000 m³/j
- 22 pré-filtres (1800 m²)
 - sable 0,9 mm x 1 m
- 30 filtres lents (23000 m²)
 - sable 0,6 mm x 0,6 m



5- Filtration

■ 5.2. Filtration lente (SAGEP)

– Avantages

- Biodégradation, filtration (MES, bactéries et virus)
- Construction simple, coût des filtres
- Peu de maintenance, pas de rétro lavage
- Pas de production de boues

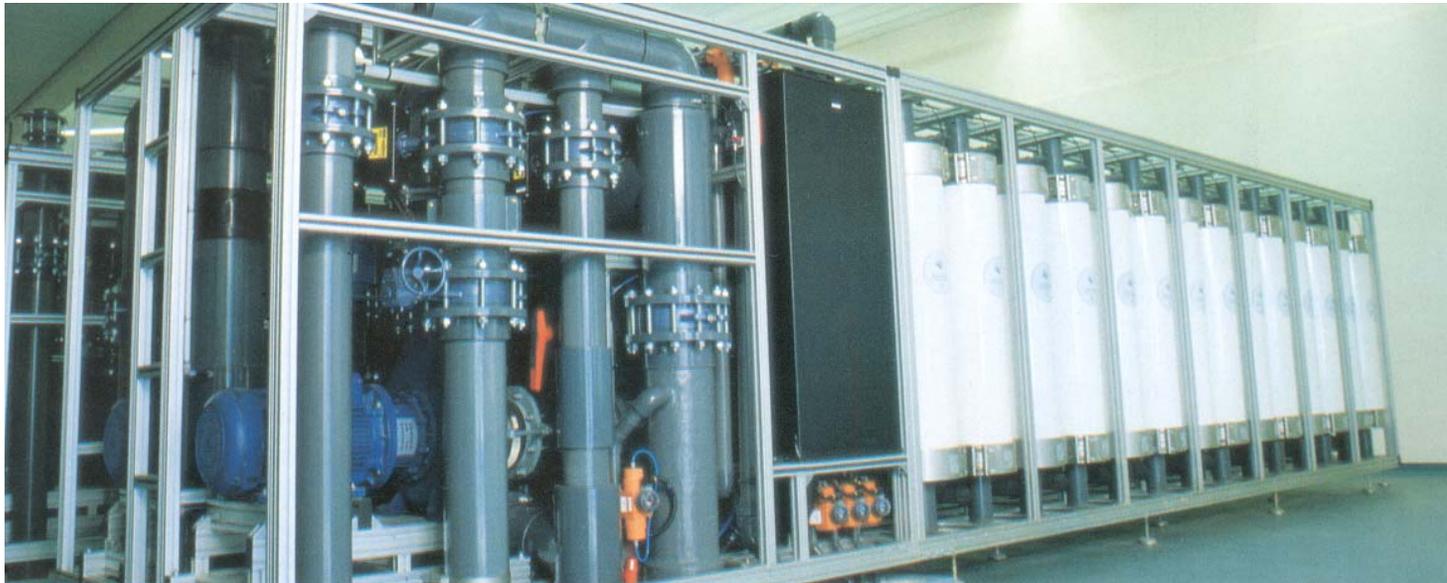
– Inconvénients

- Main d'œuvre importante d'entretien
- Surfaces des lits très importante: peu limitant dans les PVD

5- Filtration

■ 5.3. Vigneux: membranes

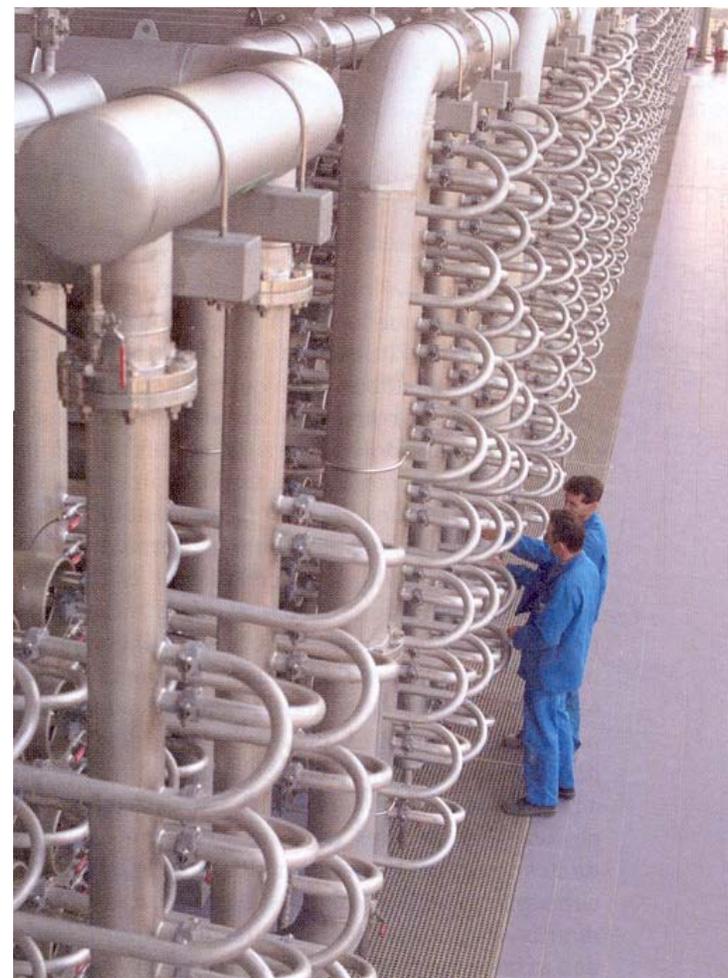
- 55 000 m³/j
- Ultrafiltration



5.3. Nano filtration



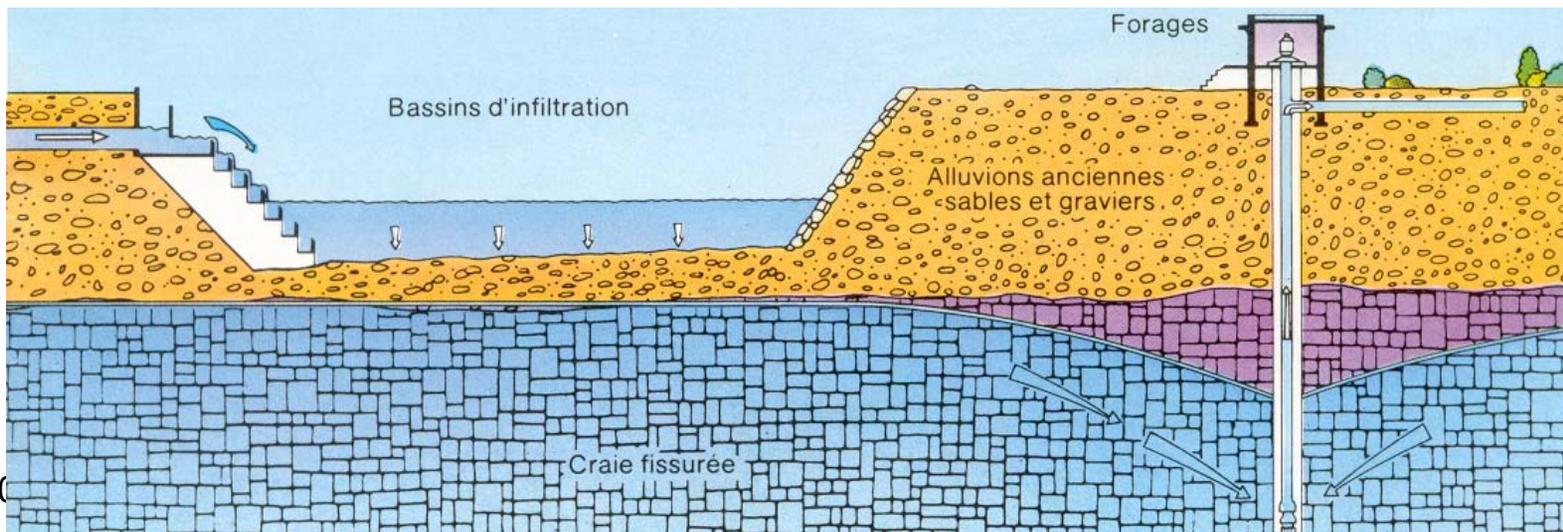
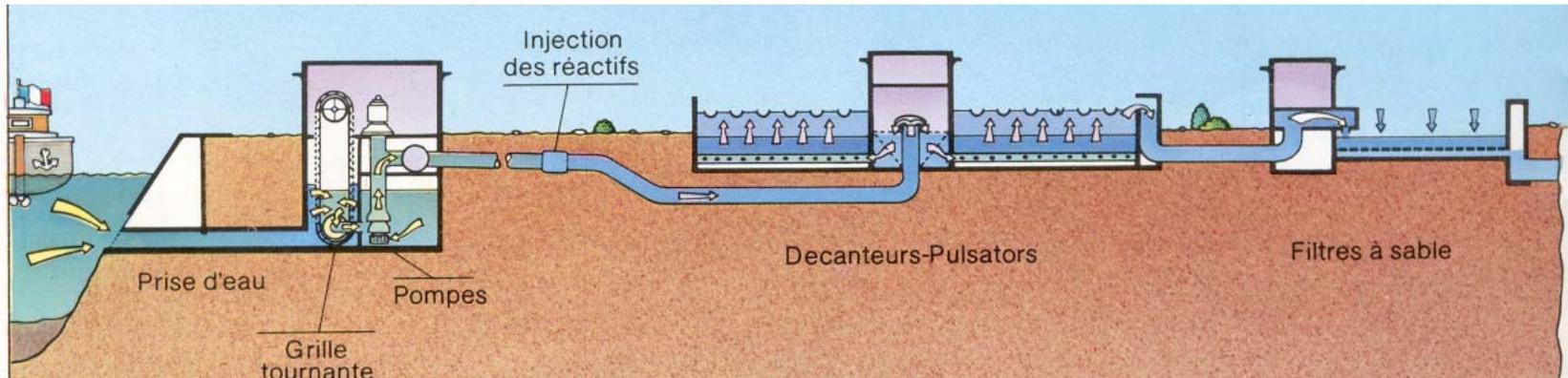
Changement d'un module de membranes de nanofiltration



Méry sur Oise

6- Stockage

■ 6.1. Ré injection en nappe – Croissy (Lyonnaise des eaux)



6- Stockage

■ 6.2. Bassins de stockage

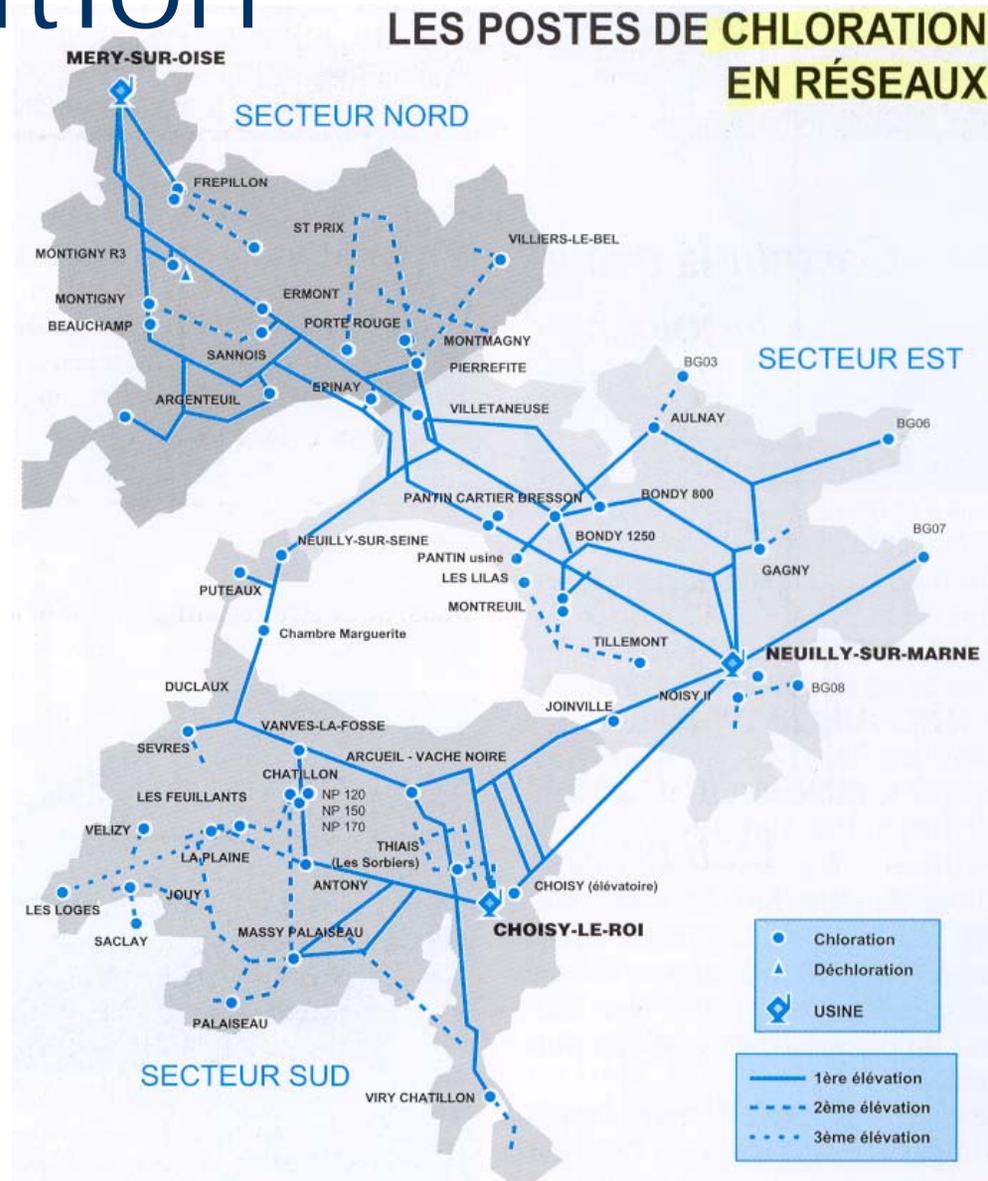
– Méry sur Oise

- Syndicat des Eaux d'Ile de France
- 370 000 m³
- auto-épuration naturelle
- précédée par pré-ozonation



7- Distribution

- **Chloration en réseau**
 - Syndicat des Eaux d'Ile de France (1994)



Conclusion

■ Recherche et développement

- Compacité des procédés
- Sécurisation des procédés: capteurs, contrôle commande
- Interconnexion des alimentations des usines et des distributions en réseau
- Contrôle de la qualité en réseau: capteurs de bactéries

Conclusion: Paris

■ Besoins & origines des eaux

- 2,1 M habitants + 2 M personnes venant travailler à Paris \Rightarrow **680.000 m³/j** consommés
- **Eau non potable**: lavage chaussées & chasse des égouts \Rightarrow 240.000 m³/j
- **Eau brute utilisée** pour potabilisation
 - Marne (Joinville) & Seine (Orly & Ivry) à l'amont de Paris + 4 barrages réservoir
 - Sources : 80-150 km de Paris (sud est & ouest) \Rightarrow 600 km aqueducs
- **Eau distribuée**: 1.800 km de conduites et 2 jours de capacité de production (1,4 Mm³/j)

Conclusion: Paris

■ Origine, aqueducs, usines

Ville de Paris
2003

