



Traitement des eaux potables

Daniel Thévenot & Gilles Varrault
Cereve

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

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



Sommaire

Introduction

1- Oxydation

2- Stérilisation

3- Traitements chimiques

4- Traitements de l'azote

5- Filtration

6- Stockage

7- Distribution

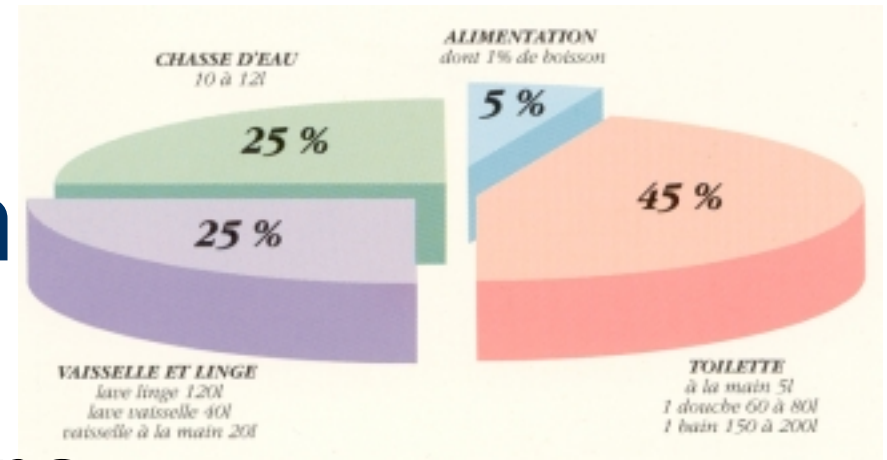
Conclusion

Introduction

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



Introduction



AESN, 1994

■ Besoins quotidiens

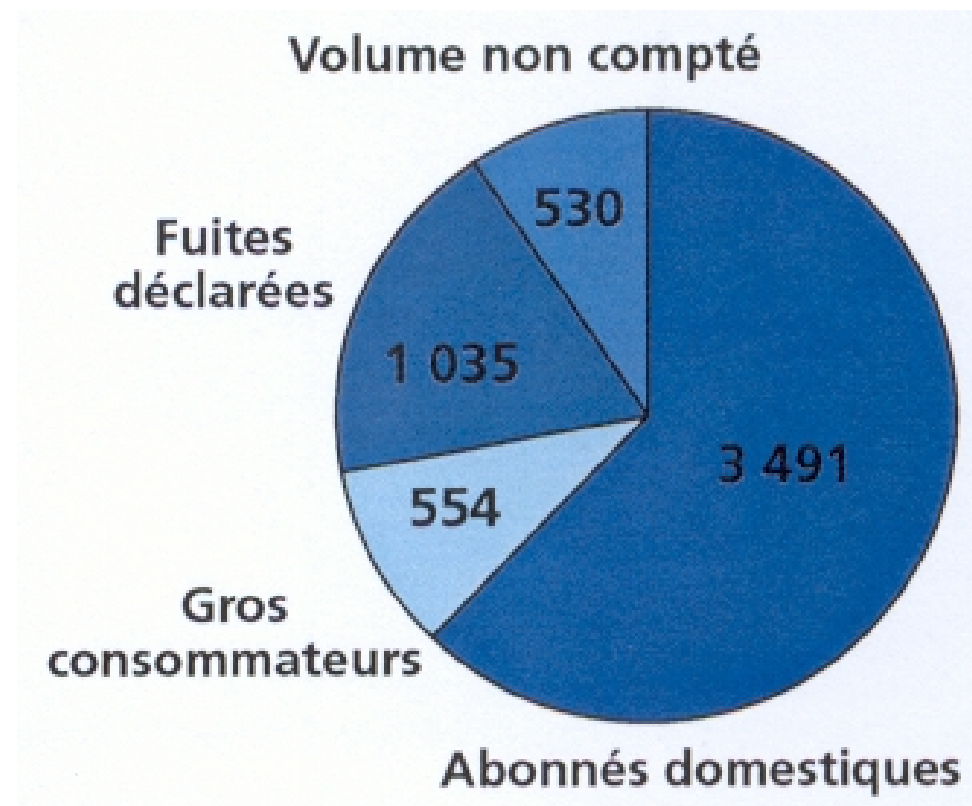
– 100 à 400 L/jour/habitant

- 45% toilette
 - mains: 5 L
 - douche: 60-80 L
 - bain: 150-200 L
- 25% lavage vaisselle et linge
 - lave-vaisselle: 40 L
 - lave-linge: 120 L
- 25% chasse d'eau WC (10-12 L /chasse)
- 5% alimentation (seulement 1% boissons)

Utilisation eau potable

■ Volume distribué 10^3 m^3 (1998)

- Importance des fuites !



IFEN, 2001

Introduction

- **Exigence de qualité**
 - décrets Europ. 95-363 & 89-3
 - eau
 - brute
 - potable

① LIMITES DE QUALITÉ				② LIMITES DE QUALITÉ			
PARAMÈTRES	UNITÉS	*EAUX BRUTES utilisées pour la production d'eau potable	EAUX POTABLES	PARAMÈTRES	UNITÉS	*EAUX BRUTES utilisées pour la production d'eau potable	EAUX POTABLES
PARAMÈTRES ORGANOLEPTIQUES				PARAMÈTRES CONCERNANT DES SUBSTANCES INDÉSIRABLES			
COULEUR	En éch. Pt/Co mg/l de Pt	200 (après filtration)	15	DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGÈNE (DBO ₅)	O ₂ à 20 °C sans nitrification	mg/l < 7 (G)	
TURBIDITÉ	Unités Jackson		2	DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE (DCO)	O ₂	mg/l 30 (G)	
ODEUR	Taux de dilution	20, à 25 °C (G)	2, à 12 °C 3, à 25 °C	NITRATES	NO ₃	mg/l 50	50
SAVEUR	Taux de dilution		2, à 12 °C 3, à 25 °C	NITRITES	NO ₂	mg/l	0,1
PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES EN RELATION AVEC LA STRUCTURE NATURELLE DE L'EAU				AMMONIUM	NH ₄	mg/l 4	0,5
CONDUCTIVITÉ	µS/cm à 20 °C	1 000 (G)		AZOTE KJELDAHL (N de NO ₃ et NO ₂ exclus)	N	mg/l 3 (G)	1
TEMPÉRATURE	°C	25	25	OXYDABILITÉ à chaud KMnO ₄	O ₂	mg/l	5
pH	Unité pH	6,5 - 9 (G)	6,5 < pH < 9	HYDROGÈNE SULFURÉ	H ₂ S	µg/l	Non détectable organoleptiquement
CHLORURES	Cl	mg/l 200 (G)	200	HYDROCARBURES dissous ou émulsionnés extractibles au CCl ₄		µg/l 1 000	< 10
SULFATES	SO ₄	mg/l 250	250	PHÉNOLS	C ₆ H ₅ OH	µg/l 100	0,5
MAGNÉSIMUM	Mg	mg/l	50	AGENTS DE SURFACE réagissant au bleu de méthylène	(en lauryl) sulfate	µg/l 500 (G)	200
SODIUM	Na	mg/l	150	FER	Fe	µg/l 1 000 (G)	200
POTASSIUM	K	mg/l	12	MANGANÈSE	Mn	µg/l 1 000 (G)	50
ALUMINIUM	Al	mg/l	0,2	CUIVRE	Cu	mg/l 1 (G)	1
RÉSIDUS SECS à 180 °C	mg/l		1 500	ZINC	Zn	mg/l 5	5
OXYGÈNE DISSOUS	% O ₂ de saturation	> 30 (G)		PHOSPHORE	P ₂ O ₅	mg/l 0,7 (G)	5

Introduction

- **Exigence de qualité**
 - décrets Europ. 95-363 & 89-3
 - eau
 - brute
 - potable

③ LIMITES DE QUALITÉ				④ LIMITES DE QUALITÉ			
PARAMÈTRES	UNITÉS	*EAUX BRUTES utilisées pour la production d'eau potable	EAUX POTABLES	PARAMÈTRES	UNITÉS	*EAUX BRUTES utilisées pour la production d'eau potable	EAUX POTABLES
FLUOR	F mg/l	0,7 - 1,7 (G)	de 0,7 à 1,5 suivant température	PESTICIDES ET PRODUITS APPARENTÉS			
BORE	B mg/l	1 (G)		INSECTICIDES, HERBICIDES FONGICIDES P.C.B. et P.C.T. a) par substance individualisée	µg/l		0,1
SUBSTANCES EXTRACTIBLES AU CHLOROFORME	Sec mg/l	0,5 (G)		à l'exception de • Aldrine et dieldrine	µg/l		0,03
ARGENT	Ag µg/l		10	• Heptachlore et époxyde d'heptachlore	µg/l		0,03
BARYUM	Ba mg/l	1		b) Total des substances mesurées	µg/l		0,5
PARAMÈTRES CONCERNANT DES SUBSTANCES TOXIQUES				c) Somme : Parathion, HCH, dieldrine	µg/l	5	
ARSENIC	As µg/l	100	50	PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES			
CADMIUM	Cd µg/l	5	5	ORGANISMES PATHOGÈNES Salmonelles	par (5 l)		0
CYANURES	CN µg/l	50	50	Staphylocoques	par (100 ml)		0
CHROME TOTAL	Cr µg/l	50	50	Bactériophages fécaux	par (50 ml)		0
MERCURE	Hg µg/l	1	1	Entérovirus	par (10 l)		0
NICKEL	Ni µg/l		50	COLIFORMES TOTAUX	A 37 °C par (100 ml)	50 000 (G)	0 (95 % échant. conforme)
PLOMB	Pb µg/l	50	50	COLIFORMES THERMOTOLÉRANTS	A 44 °C par (100 ml)	20 000 (G)	0
ANTIMOINE	Sb µg/l		10	STREPTOCOQUES FÉCAUX	Par (100 ml)	10 000 (G)	0
SÉLÉNIUM	Se µg/l	10	10	SPORES ANAÉROBES SULFITO-RÉDUCTRICES	Par (20 ml)		1
HYDROCARBURES POLYCYCLIQUES AROMATIQUES (H.P.A.) total de 6 substances	µg/l	1	0,2				
Benz(a)pyrène	µg/l		0,01				



Introduction

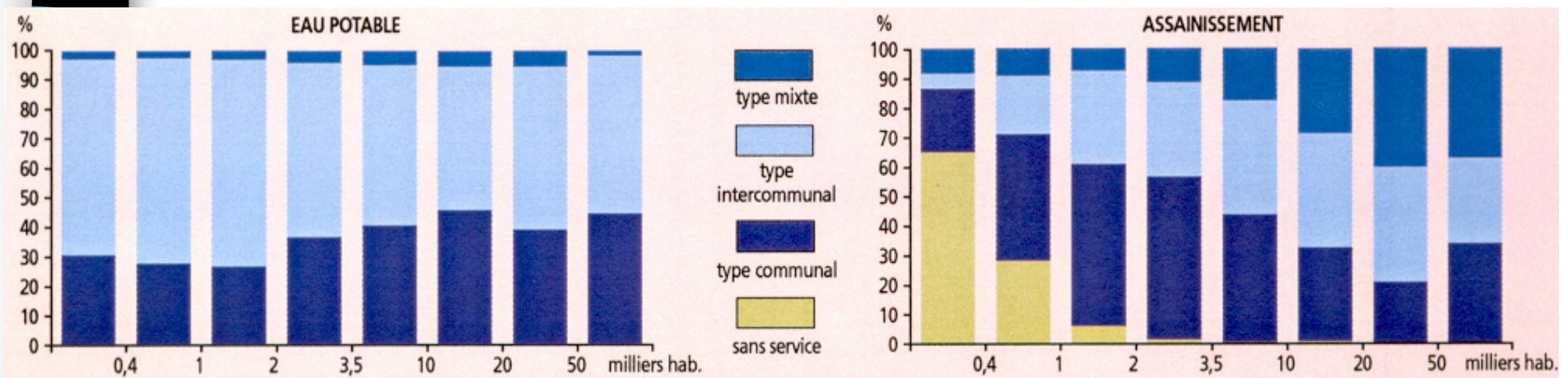
- **Niveaux limites : concentration maximale admissible (CMA)**
 - si toxicité à niveau > concentration seuil
 - dose journ. adm. (DJA):
seuil (mg/kg/j) * 70 (kg/personne) / facteur sécur.
Facteur sécurité = 10^n
 - CMA = Σ DJA via alimentation, inhalation...
 - si substance cancérigène : ↓ conc. seuil
 - CMA basée sur données technico-économiques
 - prob. risques, coûts pour atteindre CMA dans eau
 - voir **tableaux** distribués

Introduction

■ Organisation des services d'eau

– **communal** ou intercommunal ?

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



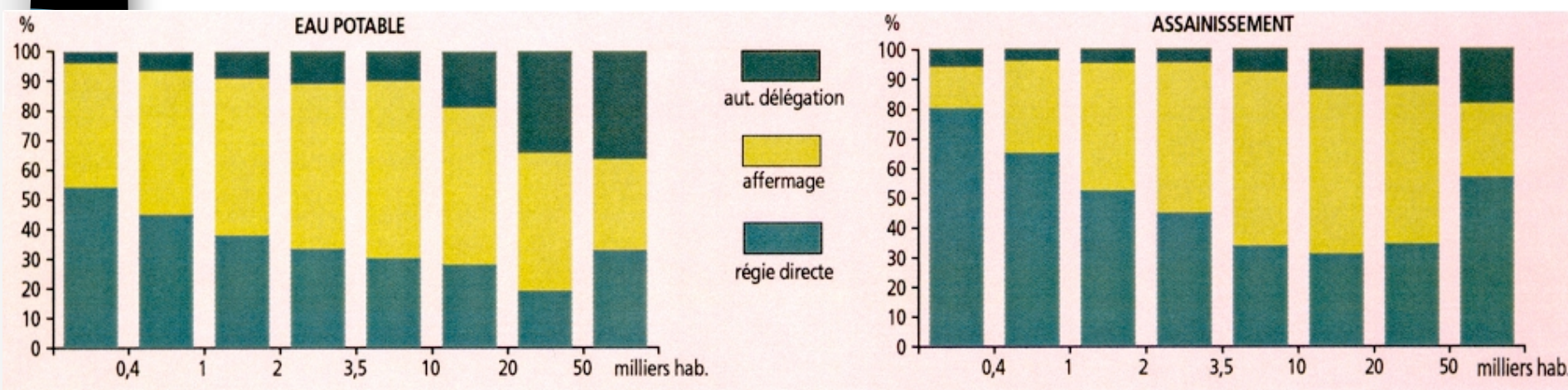
IFEN, 2001

Introduction

■ Gestion des services d'eau

– régie **directe** ou **affermage** ?

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



IFEN, 2001

Introduction

■ Éléments du prix de l'eau potable

– Production eau potable:

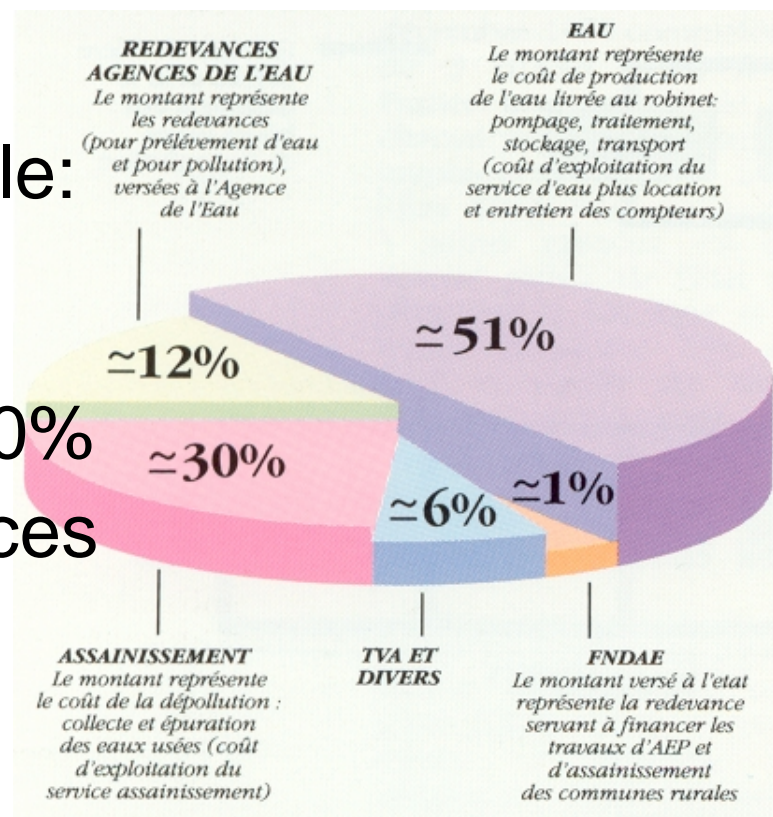
51%

– Assainissement et épuration **eau usée**: 30%

– Redevance aux Agences de l'Eau: 12%

– **TVA**: 6%

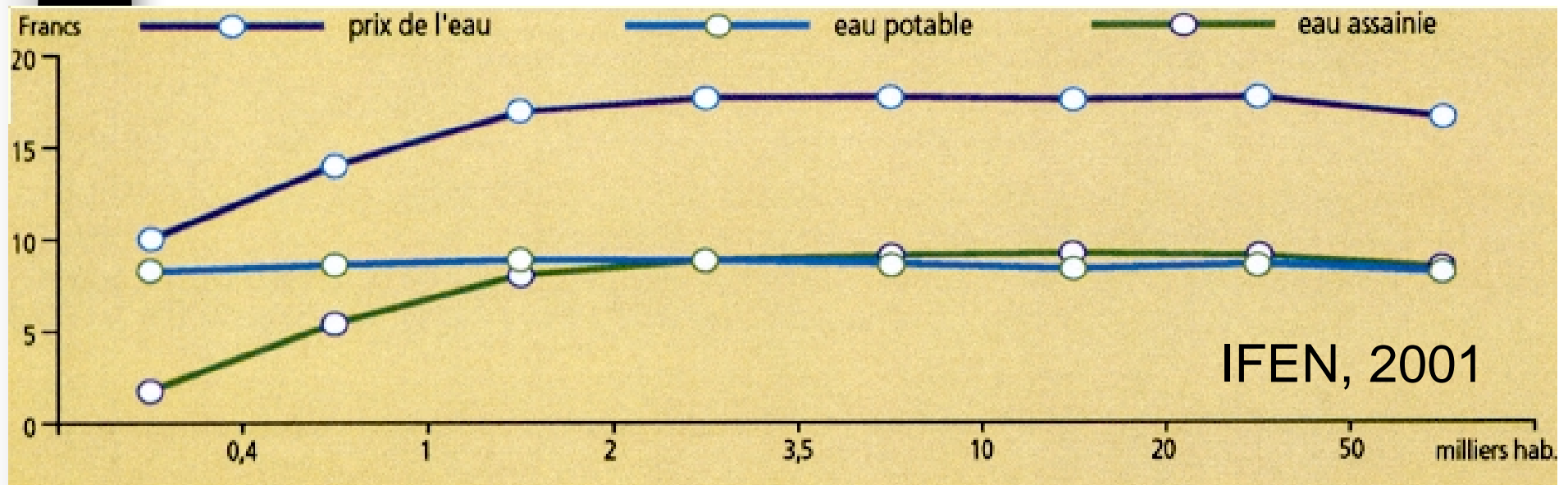
– Fond national d'aide **FNDAE**: 1%



AESN, 1994

Introduction

- **Prix de l'eau, eau potable & assainis.**
 - 5 à 23 F / m³ (1998)
 - selon population de la commune



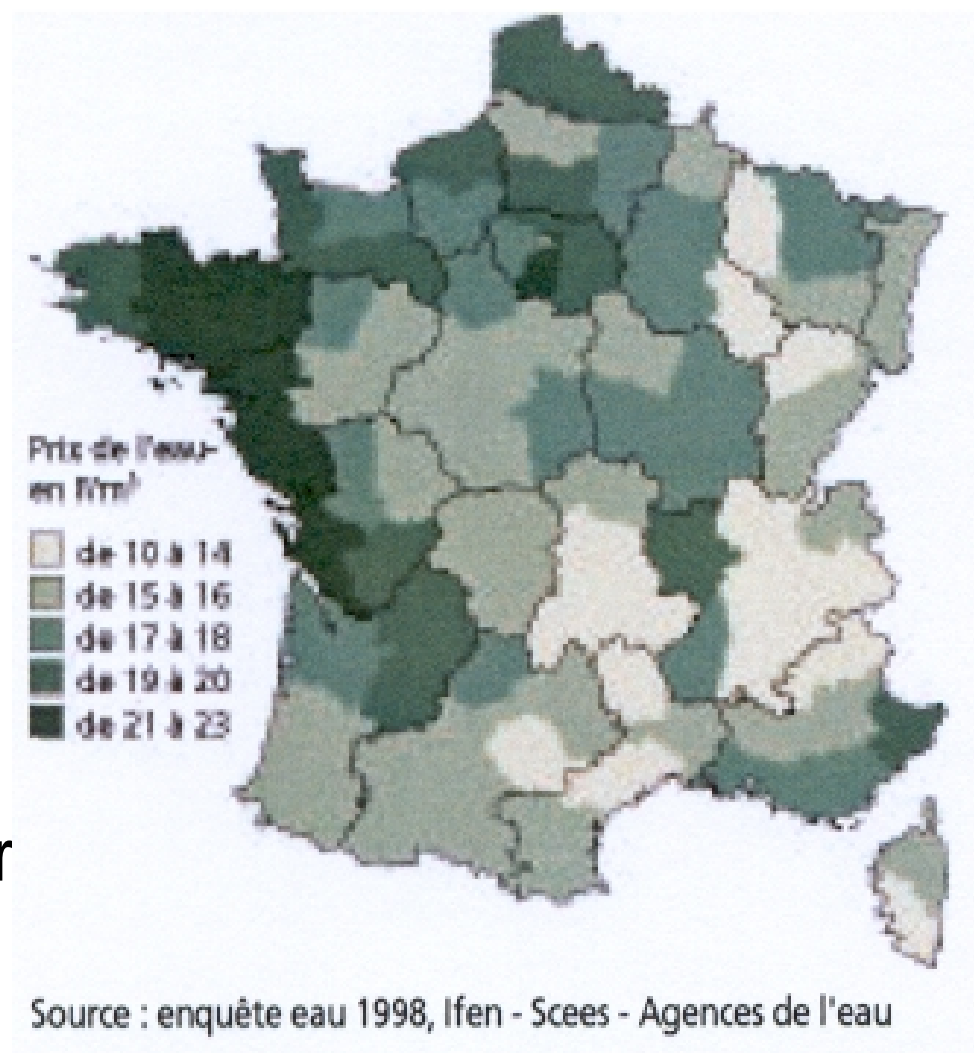
Introduction

■ Prix de l'eau

– **1,5 à 4 €/m³**
(1998)

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

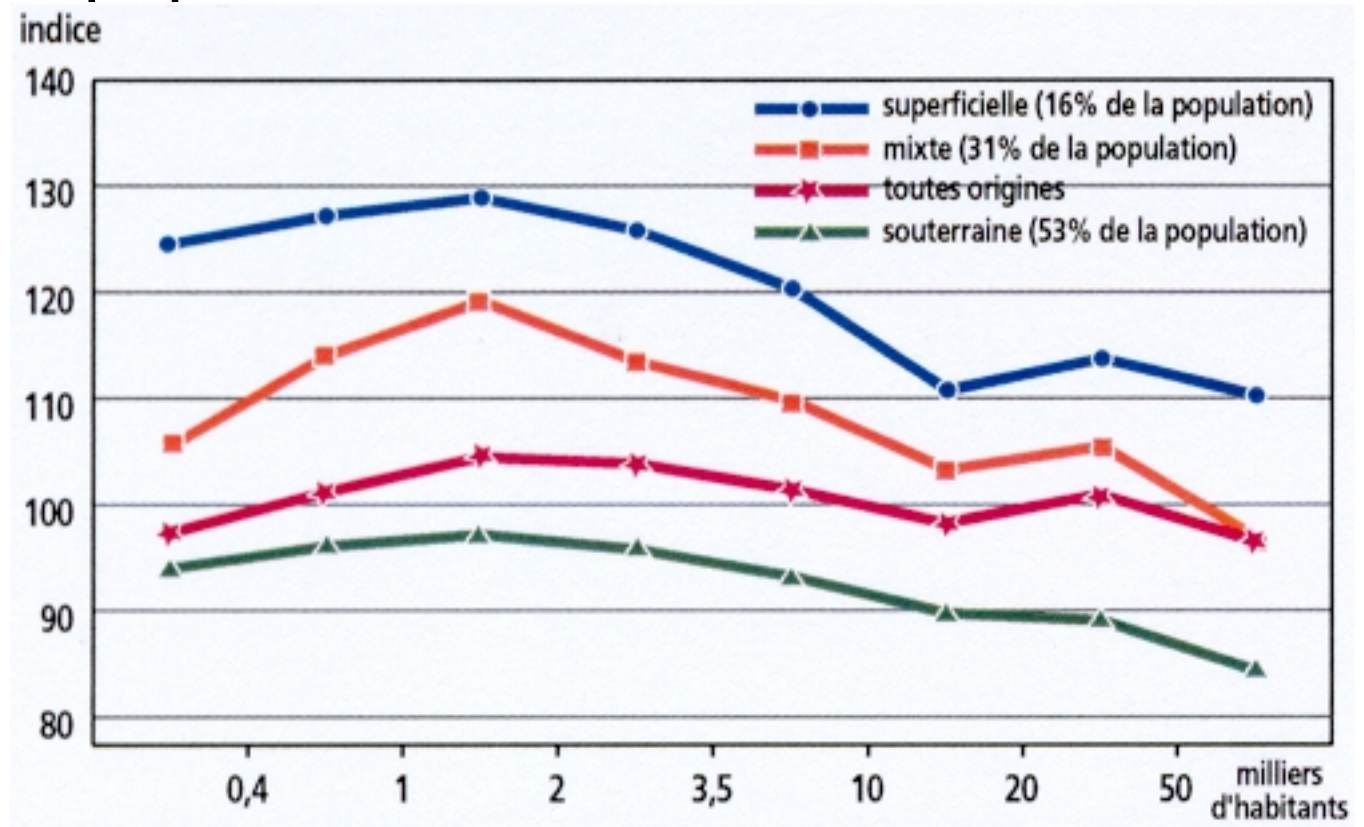
IFEN, 2001



Introduction

■ Prix de l'eau potable

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



IFEN, 2001

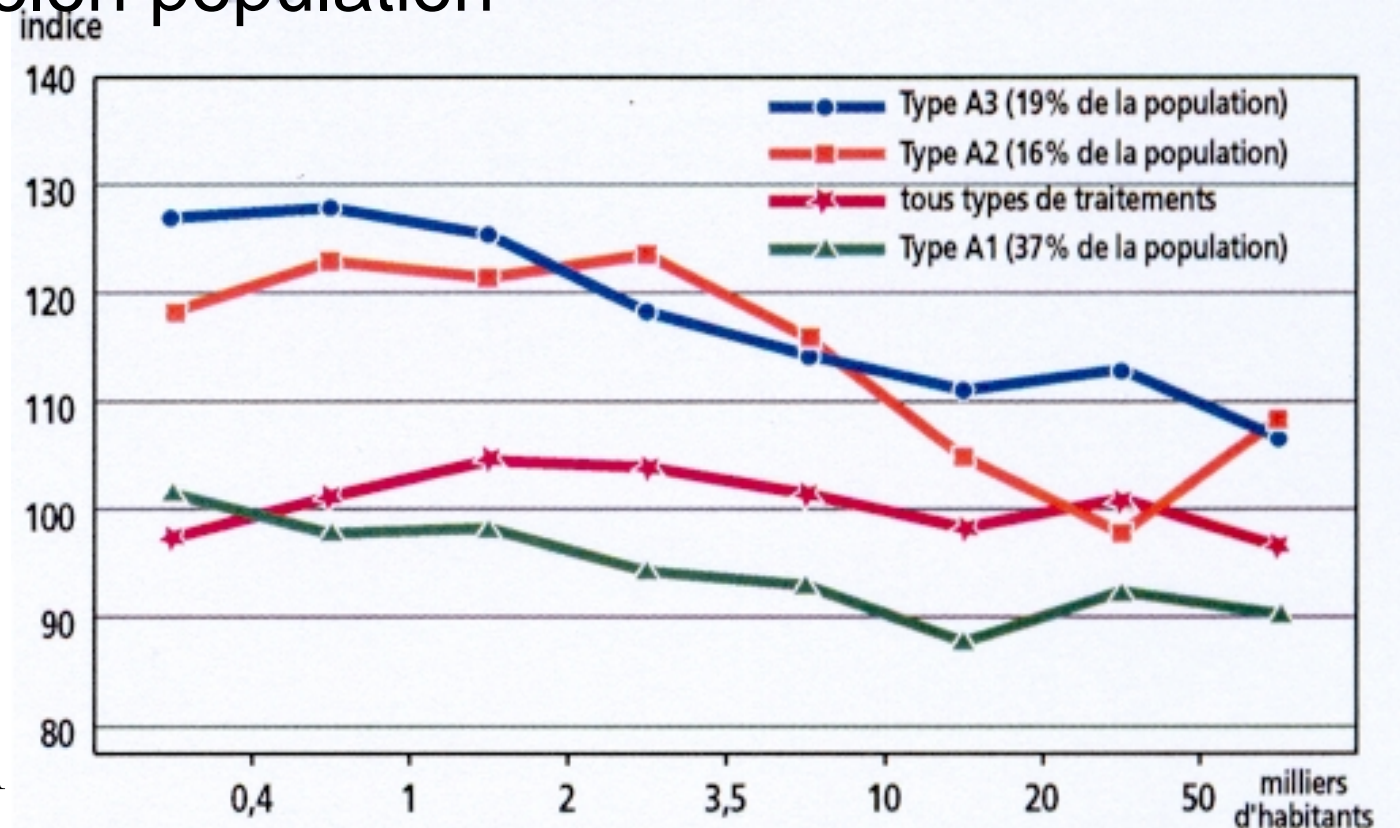
19/01/2005

Thévenot D.: Eau-Potable-Traitement-2005.ppt

Introduction

■ Prix de l'eau potable

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



IFEN, 2001

19/01/2005

Thévenot D.: Eau-Potable-Traitement-2005.ppt



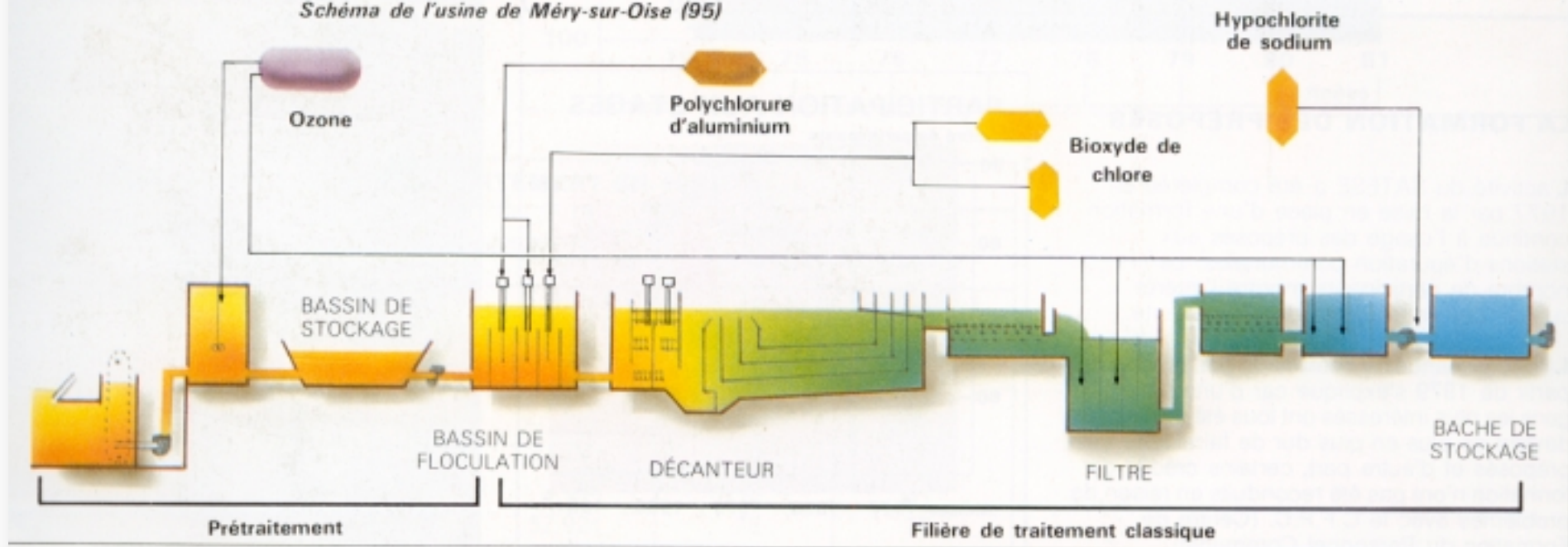
15

Introduction

- **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)





Introduction

■ Schéma général d'une filière

– Prétraitement

- 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



Introduction

■ 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



Introduction

■ 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...





1- Oxydation

■ Chloration

- Réactifs: ClO^- (solution) & Cl_2 (gaz liquéfié)
- Pré et post-chloration
- Demande en chlore
- Réaction
 - oxydation des minéraux
 - oxydation des organiques et production de dérivés chlorés
 - disparition des pré-chlorations



1- Oxydation

■ Ozonation

- Réactif: O_3 généré in situ (air ozoné)
- Ozoneur
 - décharge électrique dans air sec
 - tour d'ozonation
- Réaction
 - oxydation des minéraux
 - ozonolyse des organiques
 - traitement de finition

1- Oxydation

■ Ozoneur

– Lyonnaise
des eaux



Ozonation



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



2- Stérilisation

■ **Chloration**

- Chlore résiduel (re-chloration en réseau)

■ **Ozonation**

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

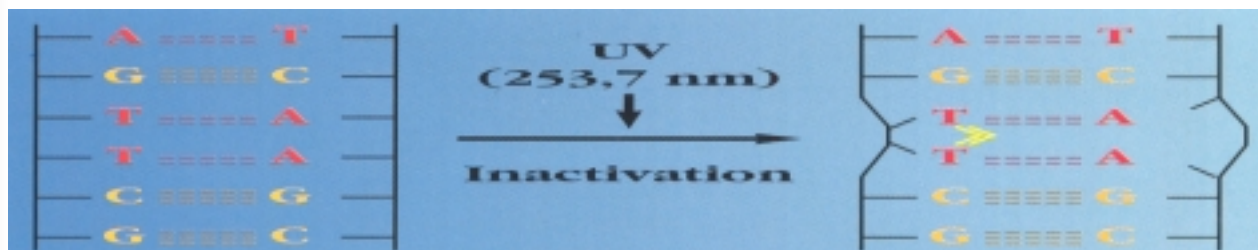
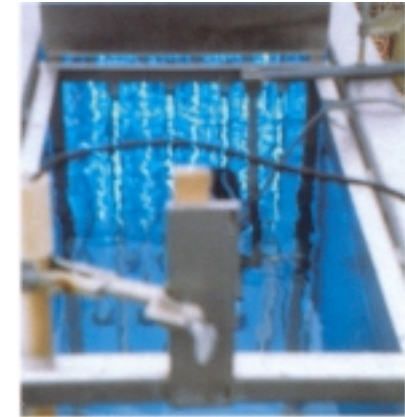
■ **Traitement ultraviolet**

- Plus coûteux ⇒ rare !

2- Stérilisation

■ Stérilisation UV

- Pilote AquaRay (OTV)
- Ruptures des chaînes ADN





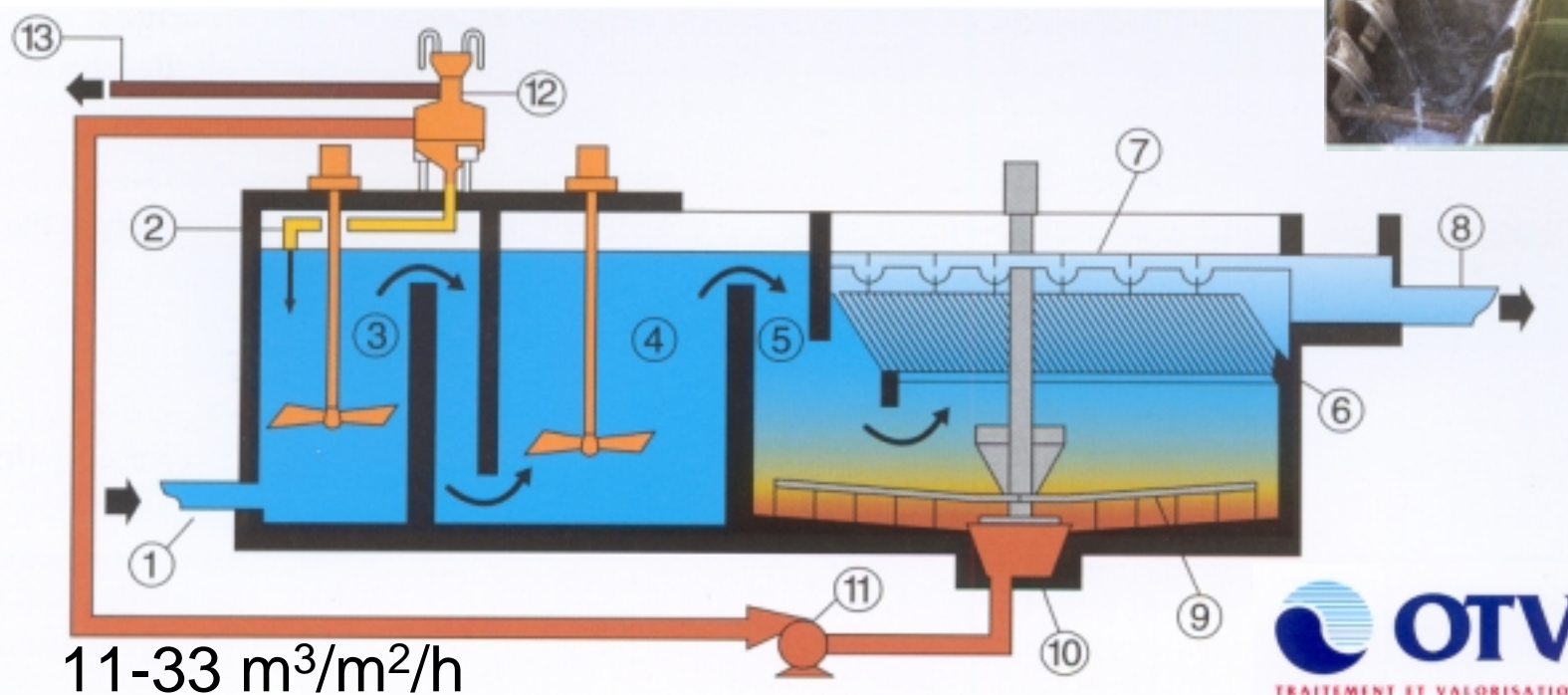
3- Traitements chimiques

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

– voir Chapitre1: Traitement des eaux usées

3. Traitements chimiques

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





4- Traitements de l'azote

■ Nitrification

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

■ Dénitrification

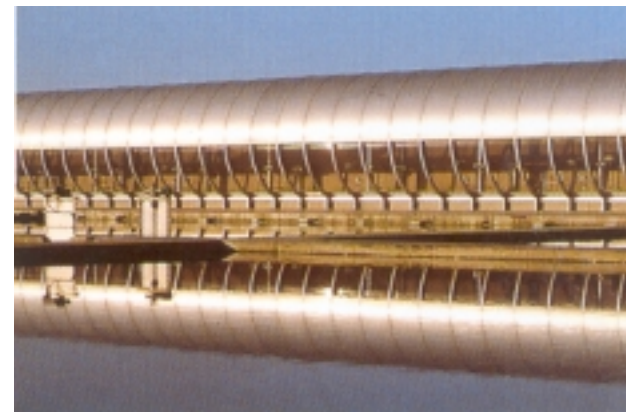
- Physique: échanges d'ions
- Biologique: dénitrification anaérobie, avec ajout de COD (alcool ou acide acétique)



5- Filtration

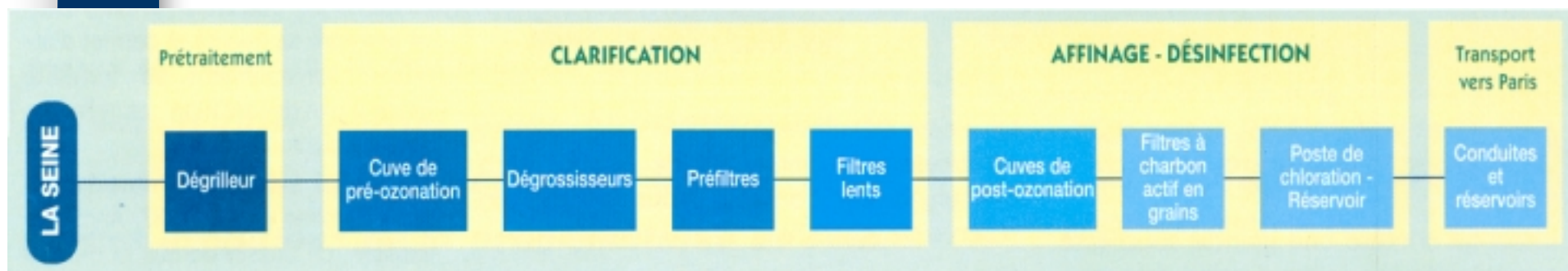
- **Séparation selon la taille des pores**
- **Filtration en profondeur**
 - Lits de sable et ou charbon actif en grains
 - adsorption,
 - biodégradation
- **Filtration en surface**
 - Membranes d'ultra ou nanofiltration
- **Comparaison des performances**

5- Filtration



■ 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

■ Vigneux

- 55 000 m³/j
- ultrafiltration



5. Nano filtration



Changement d'un module de membranes de nanofiltration

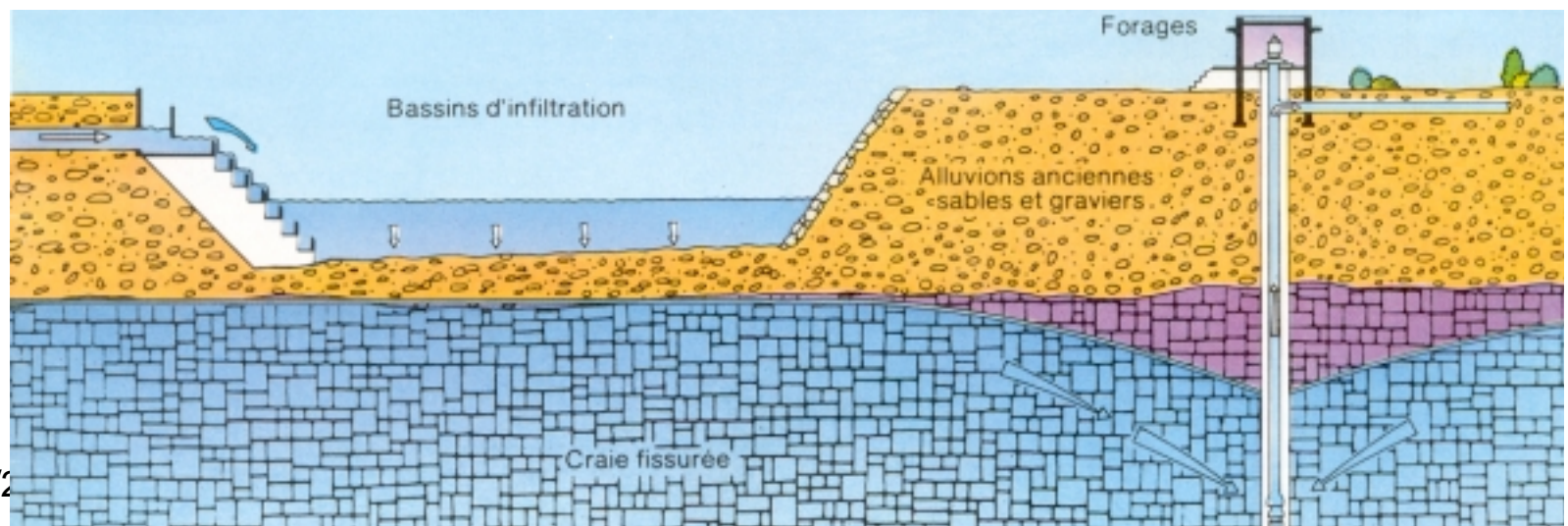
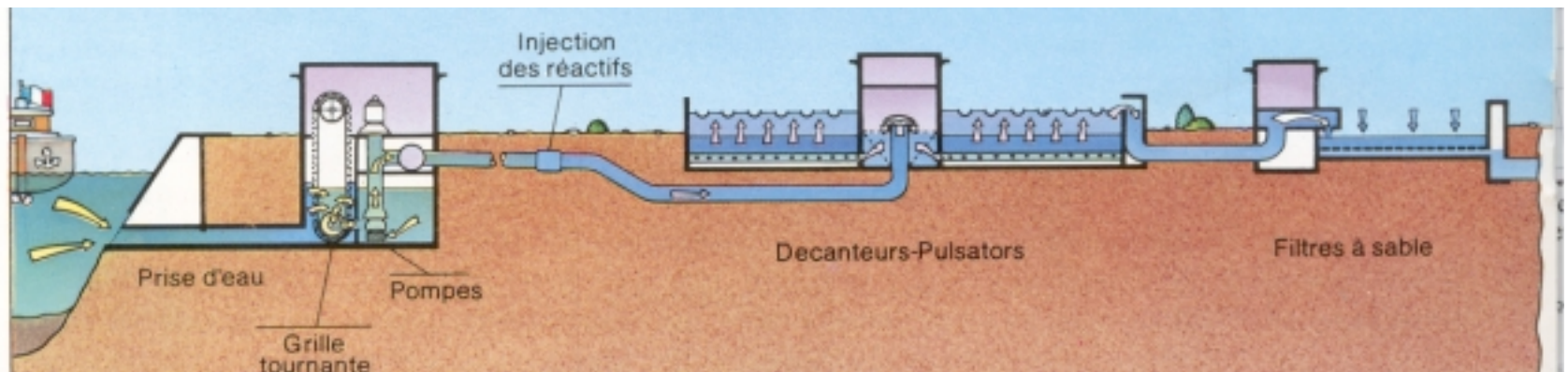


Méry sur Oise

6- Stockage

■ Ré injection en nappe

– Croissy (Lyonnaise des eaux)



6- Stockage

■ 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)



19/01/2005



Thévenot D.: Eau-Potable-Traitement-2005.ppt



35



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

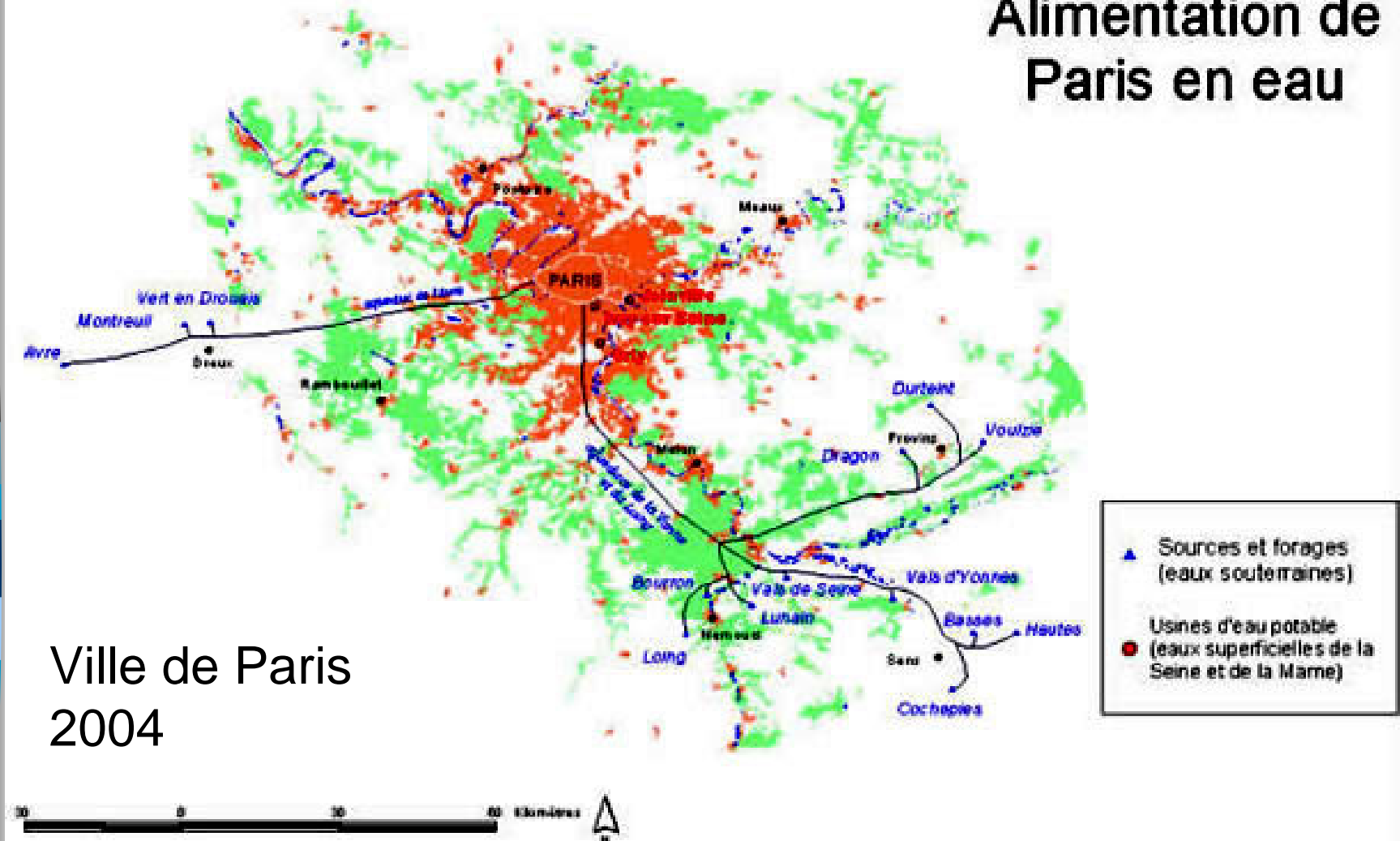
■ Origine, aqueducs, usines

Ville de Paris
2003



Conclusion: Paris

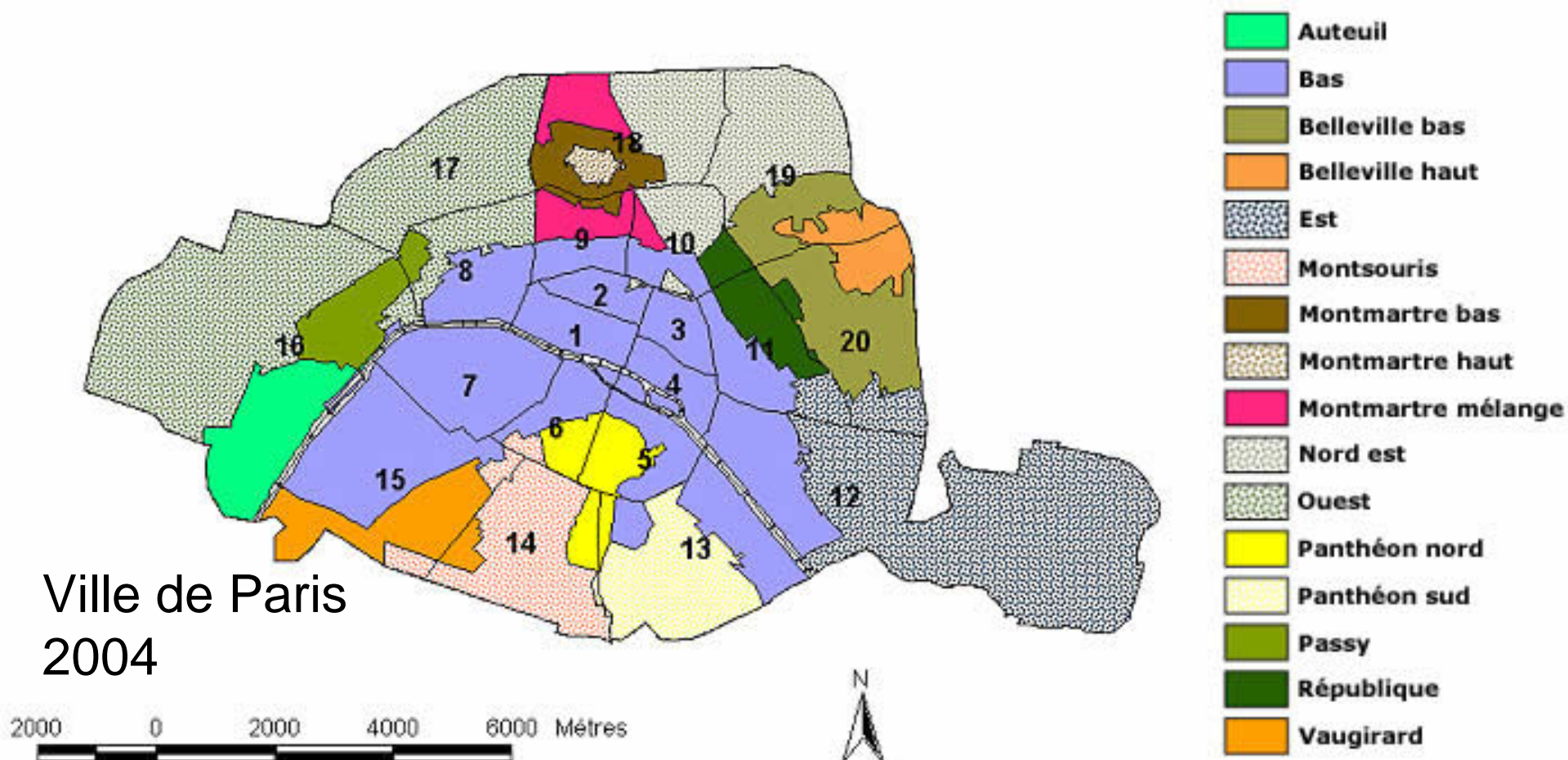
Alimentation de Paris en eau



Ville de Paris
2004

Conclusion: Paris

■ Origine de l'eau distribuée



Ville de Paris
2004

2000 0 2000 4000 6000 Mètres



19/01/2005

Thévenot D.: Eau-Potable-Traitement-2005.ppt



40