

Contexte général

- Contexte général
- **Caractérisation des eaux**
- Gestion des eaux usées
 - Différents modèles de station d'épuration
 - Les prétraitements
 - Le traitement primaire
 - Le traitement secondaire
 - Le traitement tertiaire
 - Le traitement des boues
- Traitements spécifiques
 - Potabilisation
 - Adoucissement

Caractérisation des eaux

Pollution de l'eau

Pollution de l'eau

- Eau physiologique (EUU)

- boisson
- +/- 1,5 l / 24 h
- Eau propre (potable)

→ eau noire

→ Matières organiques, N, détergents, ...



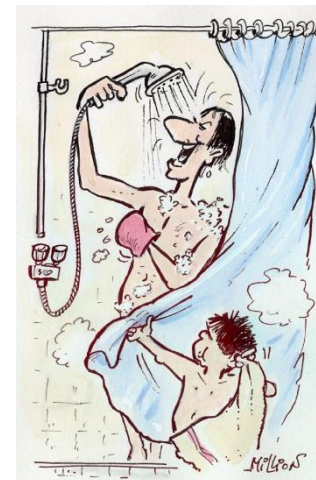
P,

- Eau domestique (EUU)

- nettoyage, cuisson
- +/- 120 l / 24 h
- Eau propre (potable ?)

→ eau grise

→ Matières organiques, N, PO_4^{3-} , détergents, ...



Pollution de l'eau

- Eau industrielle (EUI)

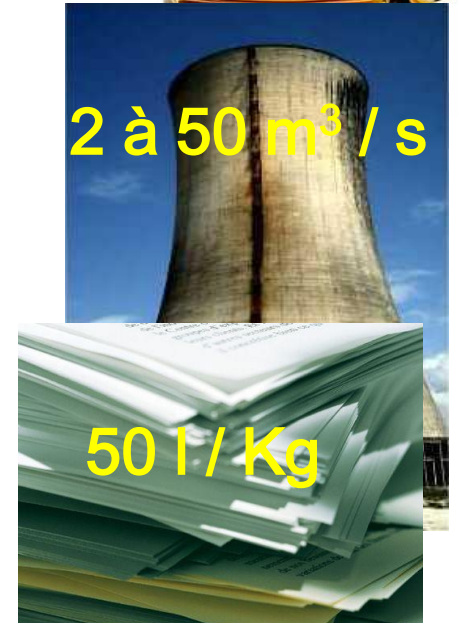
- Nettoyage, transport de matière, transport de calories, ...
 - ➔ polluants divers et variables selon le domaine industriel

- Eau agricole (EUA)

- Nettoyage
 - ➔ effluents d'élevage : matières organiques, NO_3^- , PO_4^{---}
- irrigation
 - ➔ fertilisants (NO_3^- , PO_4^{---}), produits phytosanitaires



2 à 50 m³ / s



Pollution de l'eau

- Transport (voies navigables)
 - ➔ hydrocarbures
 - ➔ pollutions mécaniques
- Energie (Hydroélectricité)
 - ➔ pollutions mécaniques

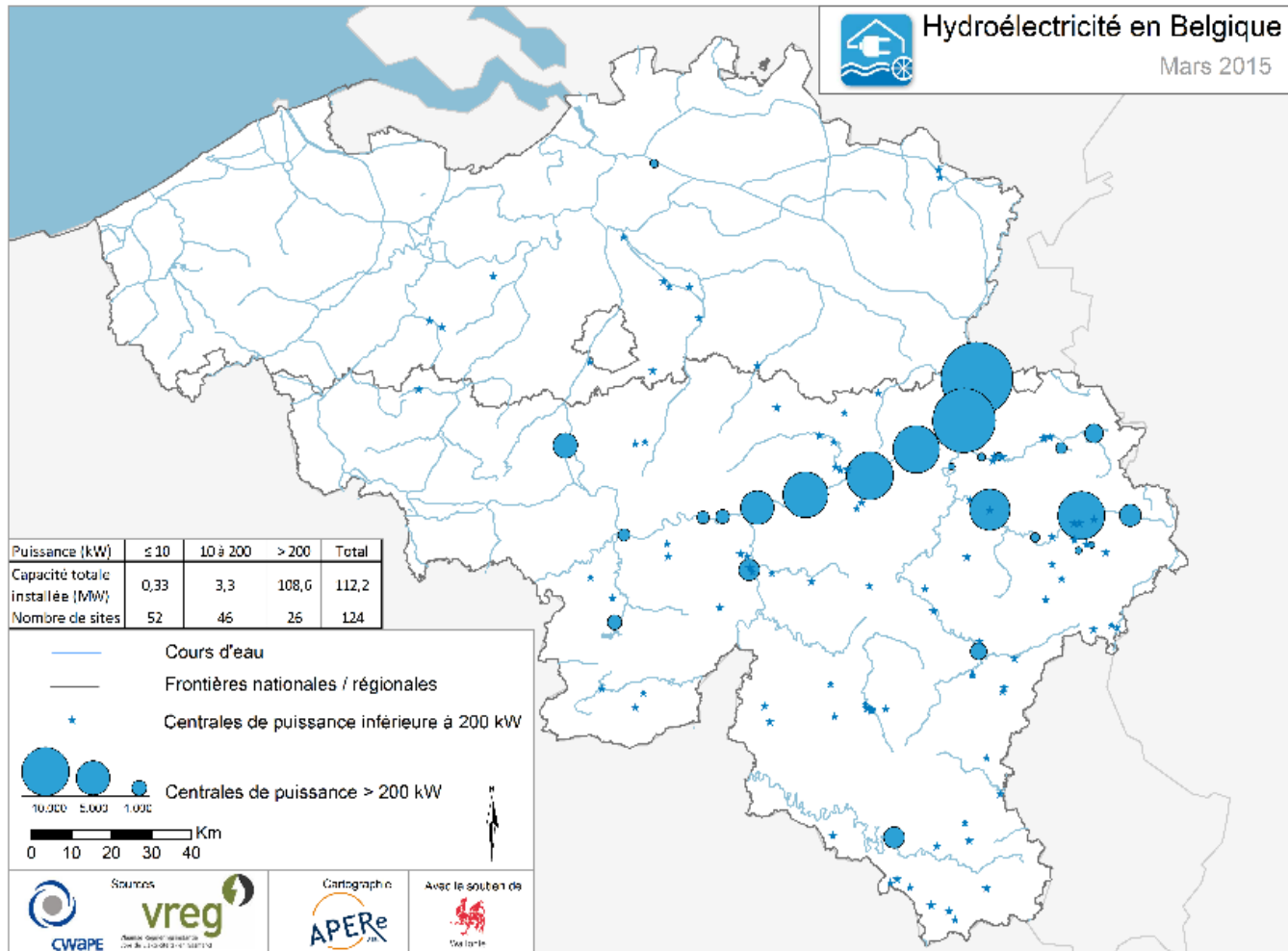


<http://www.unionetactions.be/>



<nl.wikipedia.org>

Pollution de l'eau



<http://www.apere.org/>

Caractérisation des eaux

Principaux polluants

Principaux polluants

☐ Matières solides en suspension

- Altération visuelle de l'eau (turbidité, couleur)
- Transport des substances polluantes

☐ Matières nutritives (N, P, C)

- Déséquilibre du milieu
- Croissance anarchique de microorganismes

☐ Substances chimiques toxiques

- Responsable de la toxicité aiguë ou chronique
- Différents types de polluants (ions métalliques, acide, base, etc.)
- Niveaux de concentration variables (ng/L à 10^{-1} g/L)

☐ Germes pathogènes et virus

- Risque pour la santé humaine
- Généralement des bactéries fécales
- Niveau très bas pour être nuisible

Matières solides

- Solides en solution
 - Solides en suspension
 - Solides en suspension
 - Décantable ou non selon la taille
- } Solides totaux (ST)
Résidu après évaporation

Taille		Type de solide	
mm	µm		
10	10 ⁴	Gravier	Décantables
1	10 ³	Sable	
0,1	10 ²	Sable fin	
10 ⁻²	10	Limon	
10 ⁻³	1	Argile – bactérie	Non décantables
≤ 10 ⁻⁴	≤ 0,1	Colloïdes	
≤ 10 ⁻⁶	≤ 10 ⁻³	Macromolécules	

Matières solides

- Matières décantables → cm^3 / L
 - Méthode de mesure : volume décanté en 2 heures ($\geq 0,5$ h)
 - Matières grossières
 - Utilité : déssablage, décantabilité des boues → floculation
- Matières en suspension (M. E. S.) → mg / L
 - Méthodes de mesure
 - Filtration ($0,45 \mu\text{m}$)
 - Centrifugation
 - Absorption (rayonnement arrêté)
 - Turbidimétrie (rayonnement diffusé) → particules colloïdales
 - Matières fines
 - Utilité : épuration primaire → décanteurs
 - EH : $500 \text{ mg} / \text{L}$

Matières solides

- Matières Volatiles en suspension (M. V. S.)
 - Méthode de mesure : après calcination, MVS = MES - cendres
 - Matières en suspension de nature organique → biologique
 - Utilité : décanteurs secondaires, minéralisation des boues

Matières nutritives

- Carbone
 - Dosage élémentaire du carbone : COD – COT
 - Demande chimique en oxygène
 - Demande biologique en oxygène
- Azote
 - Dosage azote organique
 - Dosage azote minéral
- Phosphore
 - Dosage des phosphates

Carbone

- COT

- Carbone organique total (suspension et solution)
- Dosage en mg CO₂/L
- Combustion totale : 950°C + O₂ gazeux ou t° ambiante + catalyseurs (UV et persulfate)
- Ne tient pas compte de la biodégradabilité
- Très rapide
- Très sensible
- Très couteux (appareillage sophistiqué)

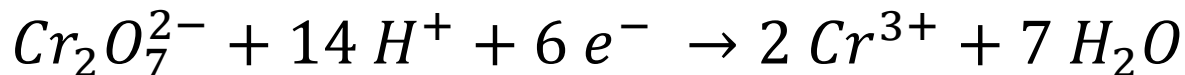
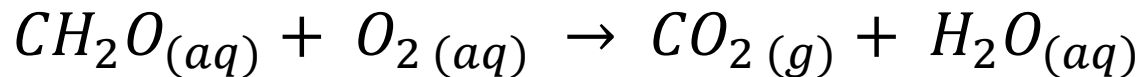
- COD

- Uniquement le carbone organique dissous

Carbone

- **DCO** (Demande Chimique en Oxygène)
→ mg O₂ / l

- DCO soluble et/ou DCO totale
- Tout ce qui est oxydable → ! Pas uniquement C !
- +/- rapide (2 – 3 h)
- Utilité : épuration secondaire
- EH : 750 mg O₂ / L



DCO

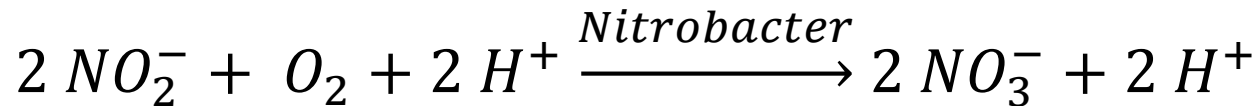
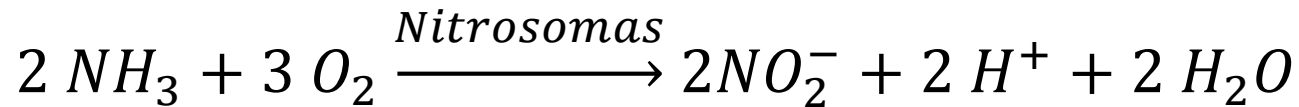
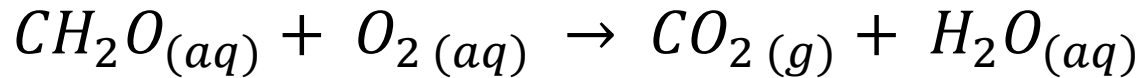
Un échantillon de 25 mL d'eau de rivière a nécessité 8,3 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,0010 M pour atteindre le point de virage. Quelle est la demande chimique en oxygène ?

Carbone

- DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours)
→ **mg O₂ / l**
 - Méthodes de mesure
 - Mesure de la consommation d'O₂ après 5 jours d'incubation dans une eau saturée (→ diluer)
 - Manométrie (Oxitop®)
 - Ce qui est oxydable par la biomasse : C, (N réduit, sulfures, ...)
 - Lent (5 jours)
 - ! Nombreux facteurs de variation : T°, toxiques, biomasse, ...
 - Utilité : épuration secondaire
 - EH : 333,33 mg O₂ / L

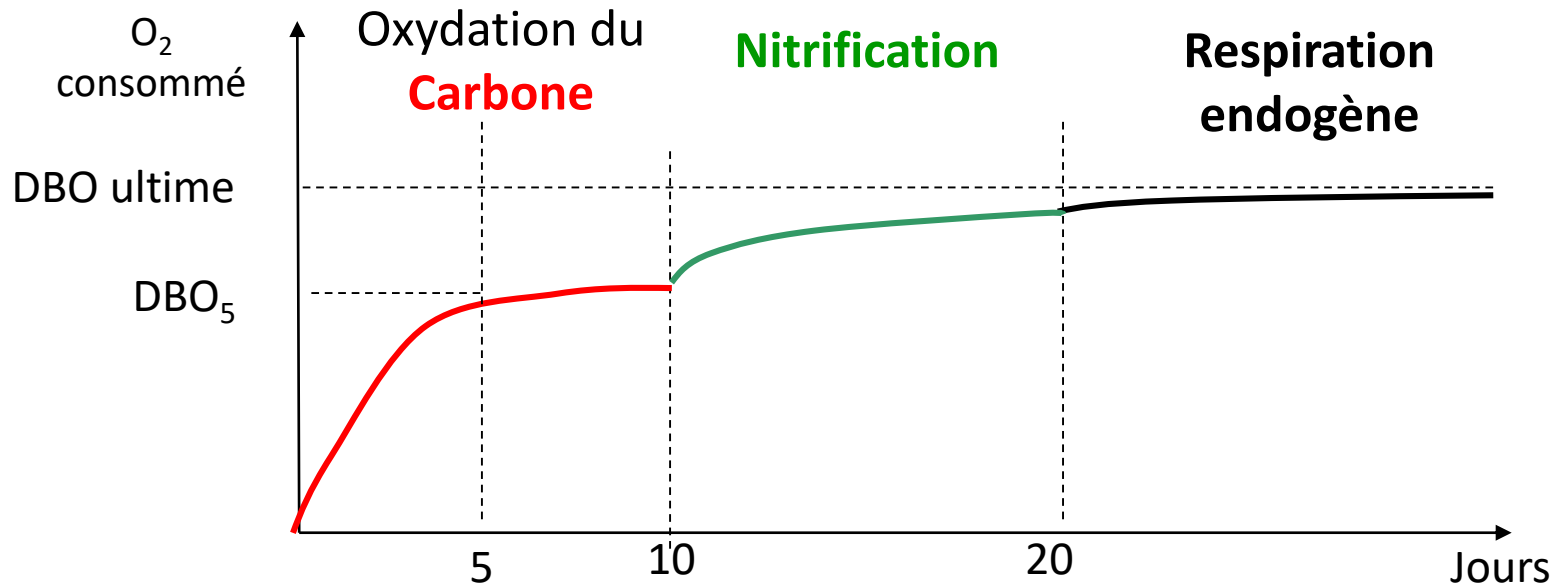
Carbone

- **DBO₅** (Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours)
→ **mg O₂ / l**



Carbone

- Evolution DBO_5 / tps : 2 paliers



- DBO ultime \sim DCO
- DBO réfractaire
- DCO/DBO_5 (toujours ≥ 1) \rightarrow **biodégradabilité**
 - Si tend vers 1 \Leftrightarrow complètement biodégradable
 - DCO/DBO_5 EUU = 2 à 2,5
 - $DCO/DBO_5 > 3$ \Leftrightarrow difficilement biodégradable

Carbone

- Calcul DBO₅ carbonée
- Réaction ordre 1 – matière organique

$$-\frac{dC}{dt} = kC$$
$$\frac{C}{C_0} = e^{-kt}$$

- Avec O₂ proportionnelle à C restante

$$\frac{L}{L_0} = e^{-k_1 t}$$

L = DBO restante au temps t

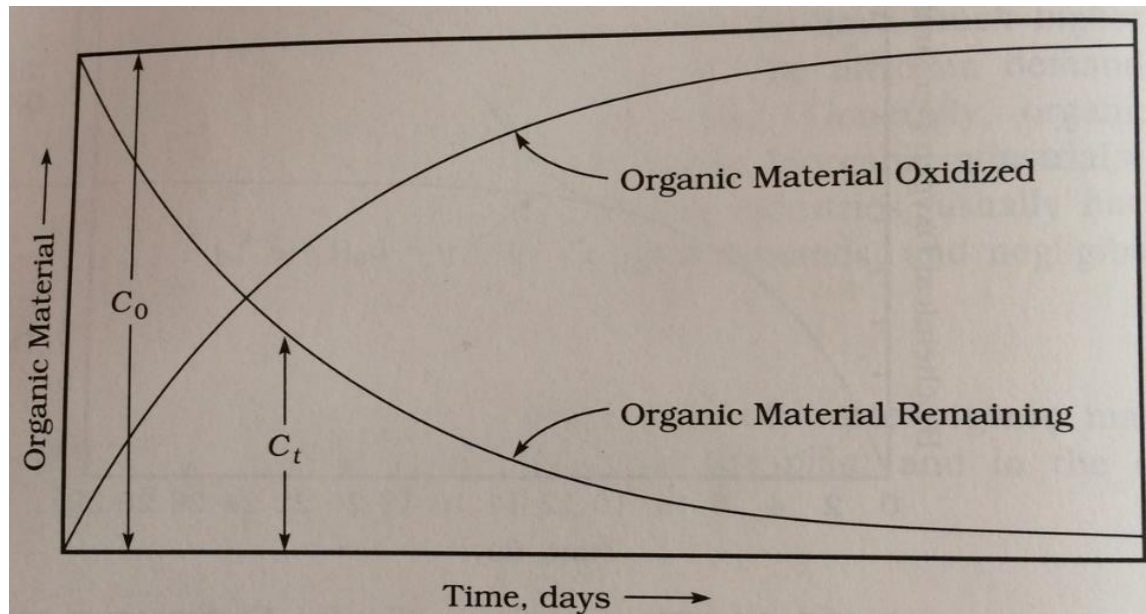
L₀ = DBO carbonée

k₁ = constante de vitesse (0,23 – 0,70 j⁻¹ eaux usées)

Carbone

- DBO abattue

$$y = L_0 (1 - e^{-k_1 t})$$



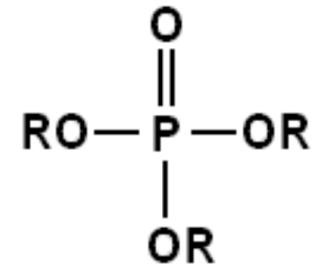
Azote

- NTK (azote total Kjeldahl) → mg / L
 - Méthode de mesure : minéralisation complète en conditions acides à chaud + dosage N ammoniacal
 - Azote réduit = N-organique + $N-NH_4^+$ → $N\text{-org} = NTK - N-NH_4^+$
 - Utilité : nitrification / dénitrification
 - EH : 55 mg NTK / L
- Nitrites ($N-NO_2^-$) → mg / L
 - Méthodes de mesures diverses
 - Forme intermédiaire → fugace
 - Toxique
 - Utilité : anomalie dans le cycle de N
- Nitrates ($N-NO_3^-$) → mg / L
 - Méthodes de mesures diverses
 - Forme ultime d'oxydation
 - Facteur d'eutrophisation
 - Utilité : nitrification / dénitrification

Phosphore

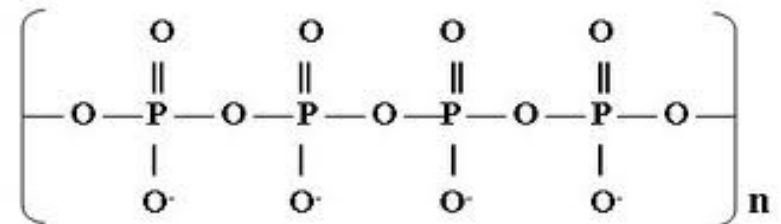
- Phosphore organique
- Orthophosphates

- Méthode de mesures : spectrophotométrie
- Formes dérivées de $H_3PO_4 \rightarrow$ ion PO_4^{---}
- Facteur d'eutrophisation
- Utilité : déphosphatation
- EH : 12 mg / L



Linear structure of orthophosphate
<http://sperchemical.com/>

- Polyphosphates



Linear structure of polyphosphate
<http://sperchemical.com/>

Eutrophisation

- Croissance excessive d'espèces à forte consommation d'azote et phosphore (plancton, algues, etc.)
- Consommation supplémentaire et différée d'oxygène liée à la dégradation de la biomasse
- Modification de l'équilibre carbonique et élévation du pH
- Gêne pour la production d'eau potable par la prolifération de phytoplancton
- Risque de relargage de substances indésirables ou toxiques
- Toxicité pour les poissons dans les cas extrêmes par colmatage direct des branchies

Caractérisation des eaux

	pH	Matières décanta- bles (ml/l)	Matières en suspension (mg/l)	DCO (mg O ₂ /l)	DBO5 (mgO ₂ /l)	DCO / DBO5	NTK (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Débit spécifi- que
Lisier	6,8	nd	nd	131000	41000	3,2	2100	5920	17 – 22 / tête
Cokerie	8,6	~0	100	3000 - 5000	nd	-	2000 - 3000	nd	nd
Traitement de surface	2,2 – 12	~0	200 - 2000	30 - 220	< 100	0,3 à 2,2	nd	6 - 60	nd
Raffinerie de pétrole	7,5	8	400	400	84	4,8	80	0,2	nd
Industrie textile	2,7 - 10	~0	10 - 70	500 - 2000	200 - 680	2,5 à 2,9	40 - 96	nd	nd
Sucrierie	nd	nd	120 - 150	4000 - 5000	4000 - 5000	1	55	10 - 30	nd

Caractérisation des eaux

Charge polluante

Charge polluante

❑ Quantité → **débits**

❑ Qualité → nature et intensité → **concentrations**

$$\text{CHARGE POLLUANTE} = Q \times [C]$$

EH	Débit	Concentration	Charge journalière
	180 L / 24 h	333,33 mg/L DBO ₅	60 g DBO ₅

EUI

- *Quantitatif* : continu, saisonnier (ex : sucrerie), discontinu...
- *Qualitatif* : extrêmement variable selon production

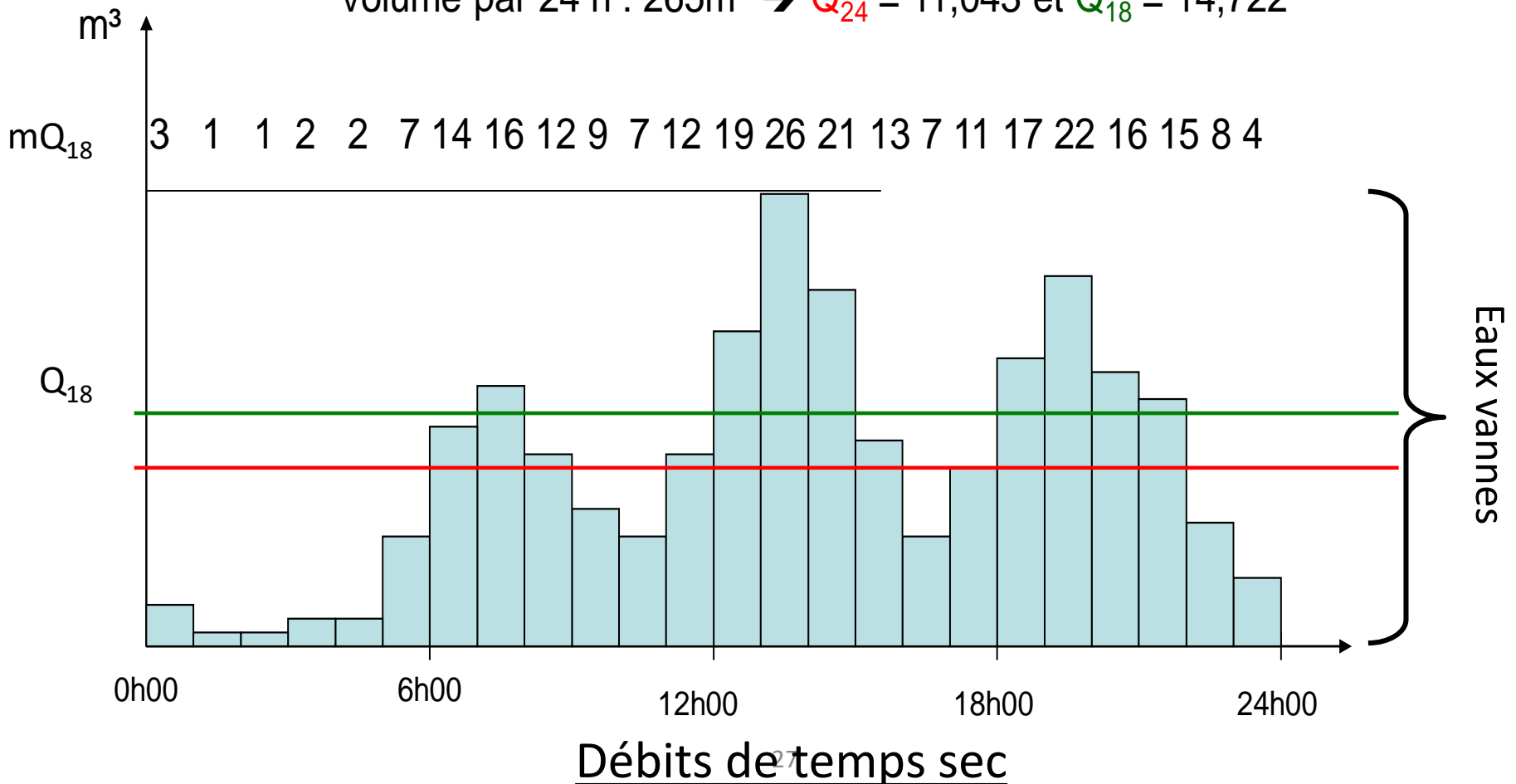
EUU

- *Quantitatif* :
 - ❑ variation journalière (fonction de l'activité)
 - ❑ variation saisonnière (égouts unitaires → fonction de la pluviométrie)
- *Qualitatif* : +/- stable sur le long terme

Charge polluante

- **Variations journalières** → **Q18 = débit moyen de temps sec**

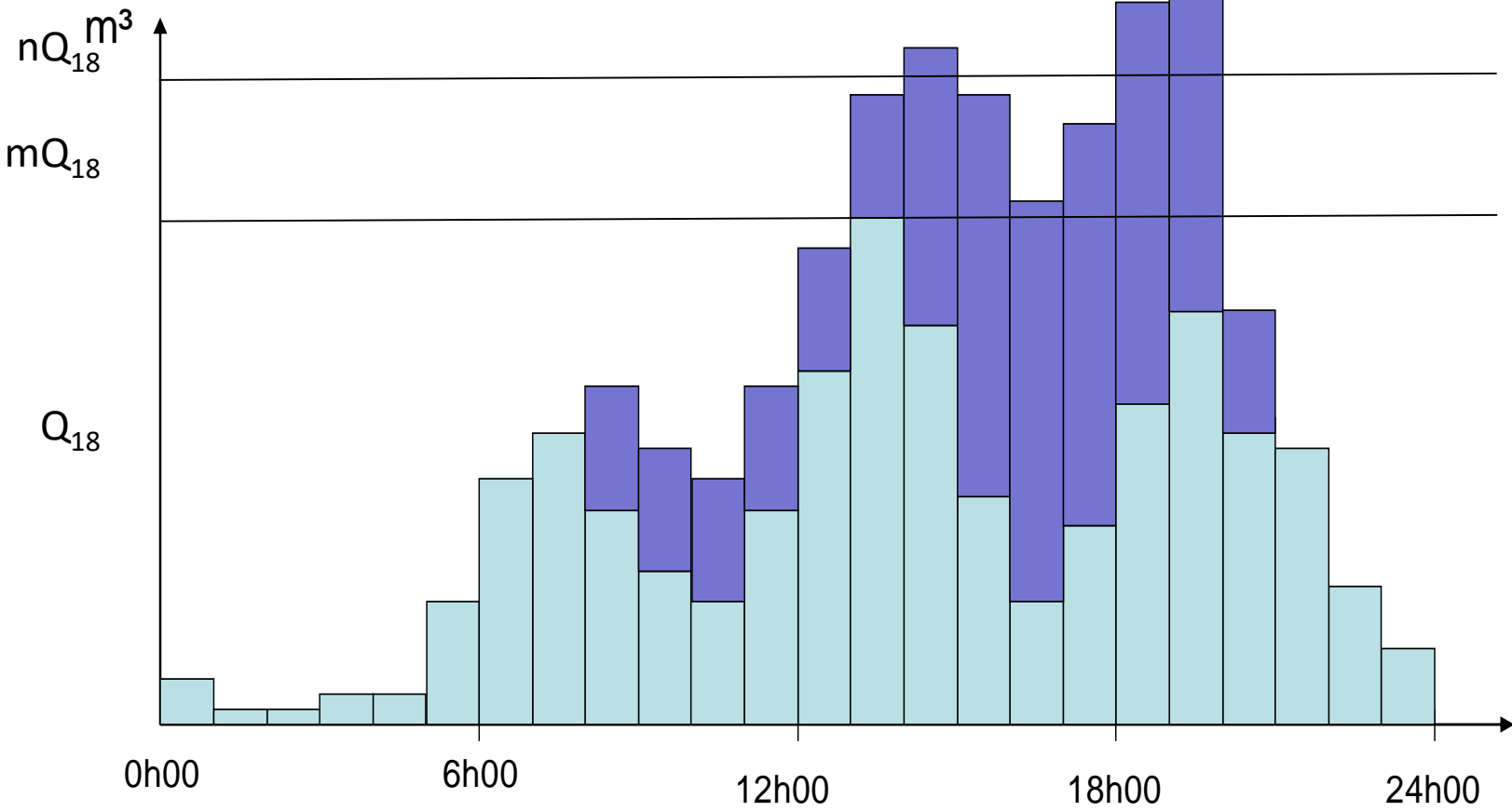
Volume par 24 h : 265m³ → $Q_{24} = 11,043$ et $Q_{18} = 14,722$



Charge polluante

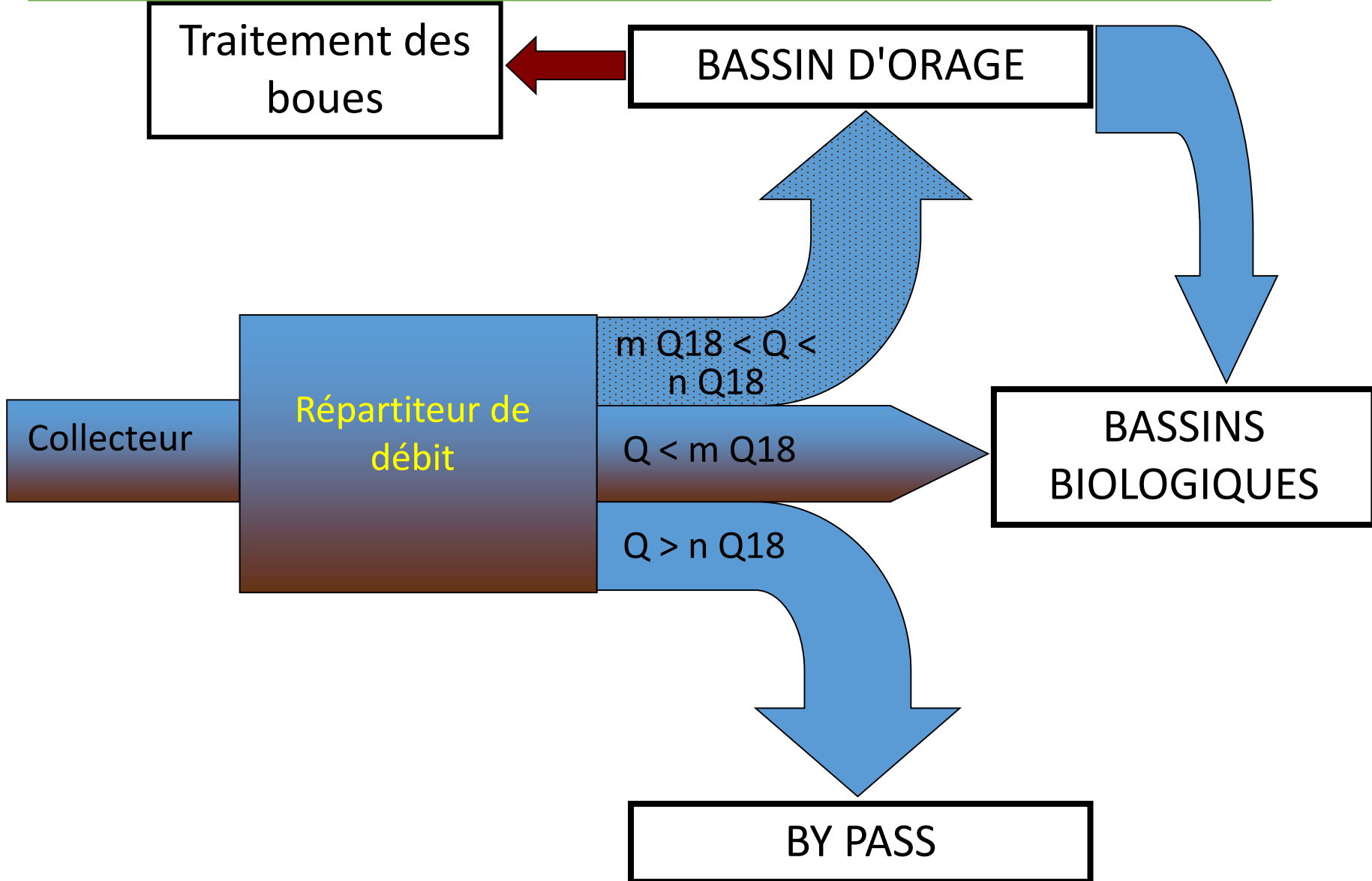
- **Variations saisonnières** car égouts unitaires
 - fortes variations liées à la **pluviométrie** →
 - $m Q18 =$ **débit de pointe de temps sec**
 - $n Q18 =$ **débit de pointe de temps de pluie**
 - Si **$Q_{in} \leq m Q18$** → admis au **biologique**
 - Si **$m Q18 < Q_{in} < n Q18$** → **bassin d'orage**
(traitement primaire !)
 - /!\ 1^{ère} ½ heure de pluie → rinçage des égouts
 - Si **$Q_{in} > n Q18$** → **by pass** → eau de pluie
 - "propre"

Charge polluante



Débits de temps de pluie

Charge polluante



Débits

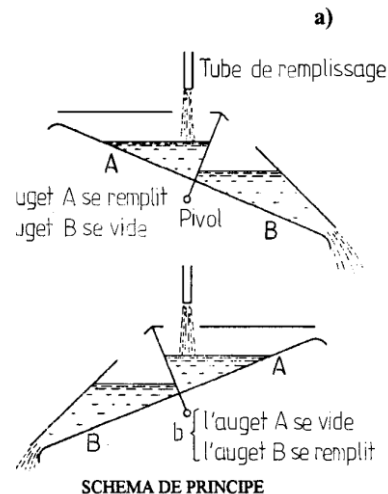
$$Q = [m^3/s] = [m^2 \times m/s]$$

= volume / temps →
mesures **directes**

= section x vitesse →
mesures **indirectes**

Mesures directes (volumétrique) : V / t

- récipient calibré (empotement)
- augets pivotants



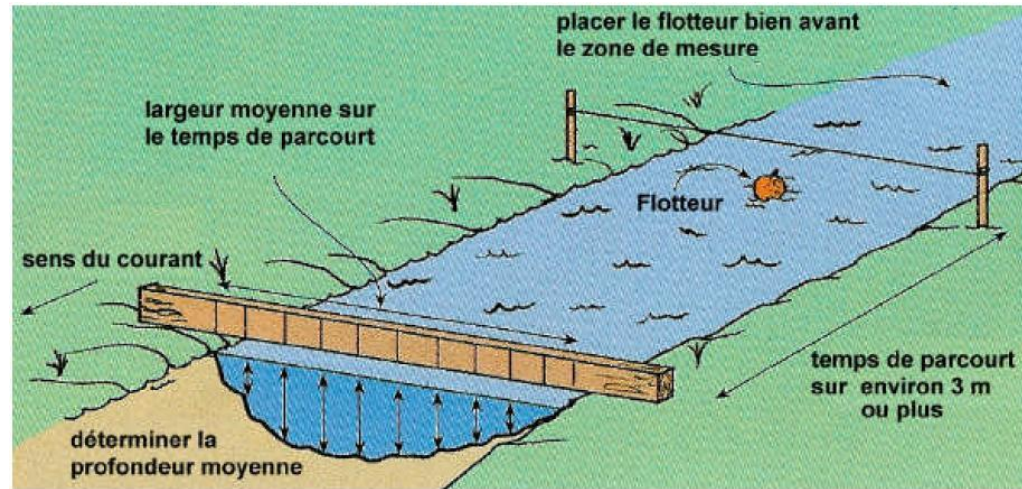
<http://medhycos.mpl.ird.fr/>

Mesures indirectes : $A \times v$

- **A** considéré comme **constant** → $Q = f(v)$
 - Canal ouvert
 - **flotteur** → $v =$ vitesse en surface → peu précis
 - **moulinet** → plusieurs mesures sur la section → moyenne OK
 - Canal fermé (éventuellement en charge, sinon section mouillée ?)
 - **débitmètre électromagnétique**
 - **ultrasons (Doppler)**
 - ...



Débits



<http://zenit.fr/>



<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/>



<http://www.adcpro.fr/>

Mesures indirectes : $A \times v$

- v considérée comme **constante** → $Q = f(A)$
 - établir un régime critique tel que $v = \text{constante}$ →
 $Q = f(A) = f(l \times h)$
 - largeur constante → $Q = f(h)$ → limnimétrie
 $Q = K \times C \times h^n$

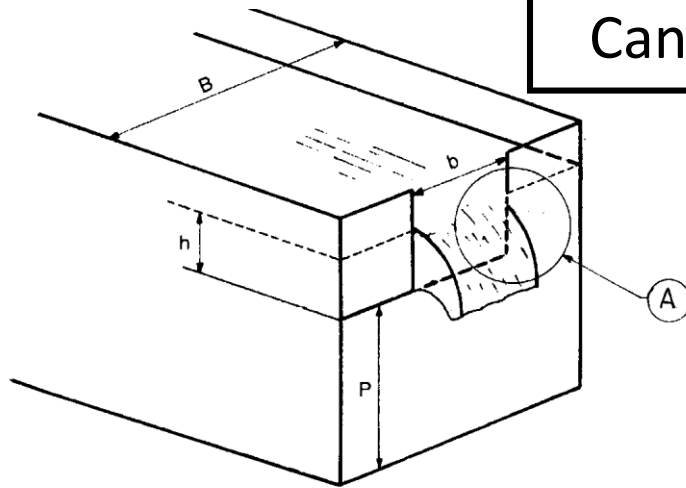
K : coefficient de débit ; C, n : paramètres caractéristiques du dispositif

□ canal jaugeur

- débits faibles → **déversoirs** (à paroi mince ou épaisse)
- débits élevés → **Venturi** ou **Parshall**

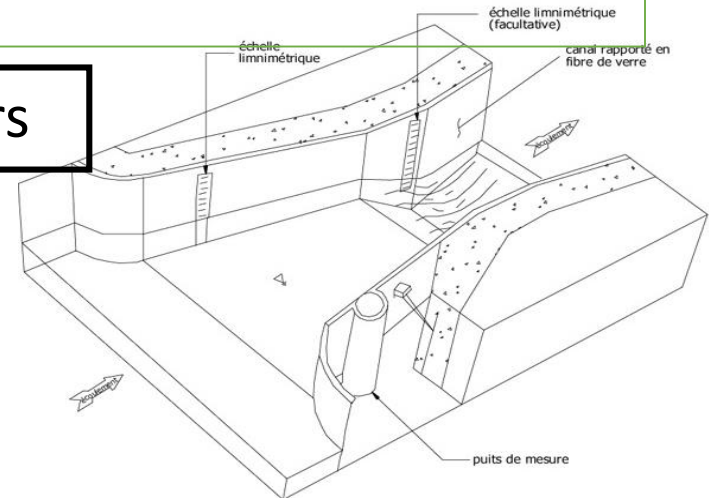
Débits

Canaux jaugeurs



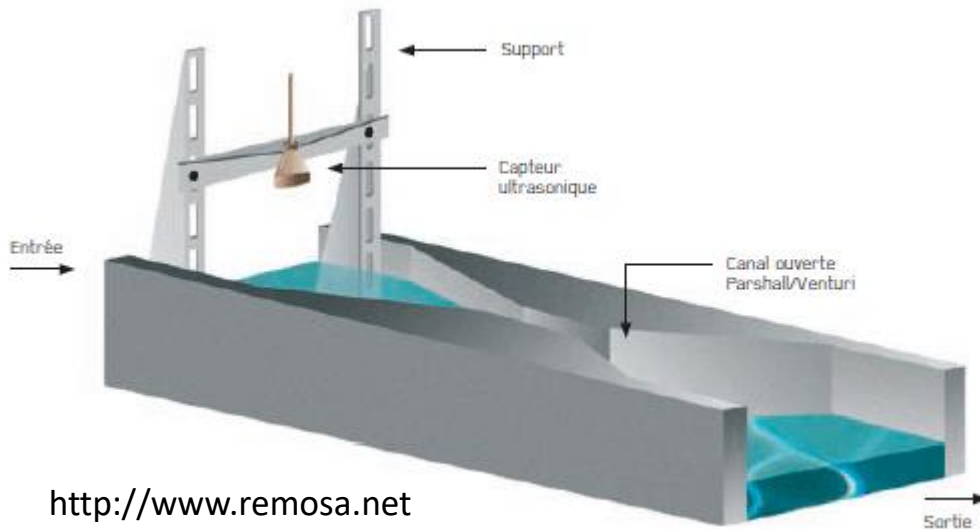
Déversoir

source : <http://medhycos.mpl.ird.fr>



Parshall

source : www.ec.gc.ca



<http://www.remosa.net>



<http://www.2gmetrologie.com/>

Débits

Limnimétrie = mesure de la hauteur d'eau

- Flotteur
 - Electrode immergée
 - Mesure de pression
 - Ultrason (meilleur car pas de contact avec eau)
- } → encrassement

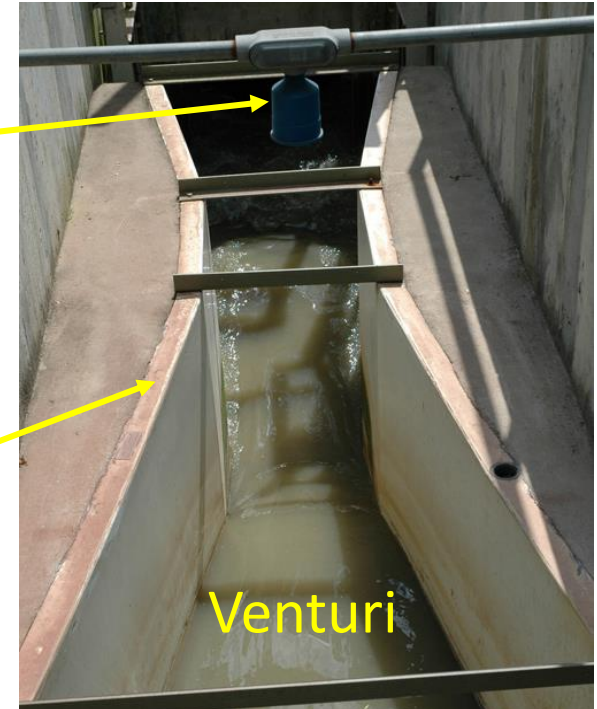


www.2gmetrologie.com

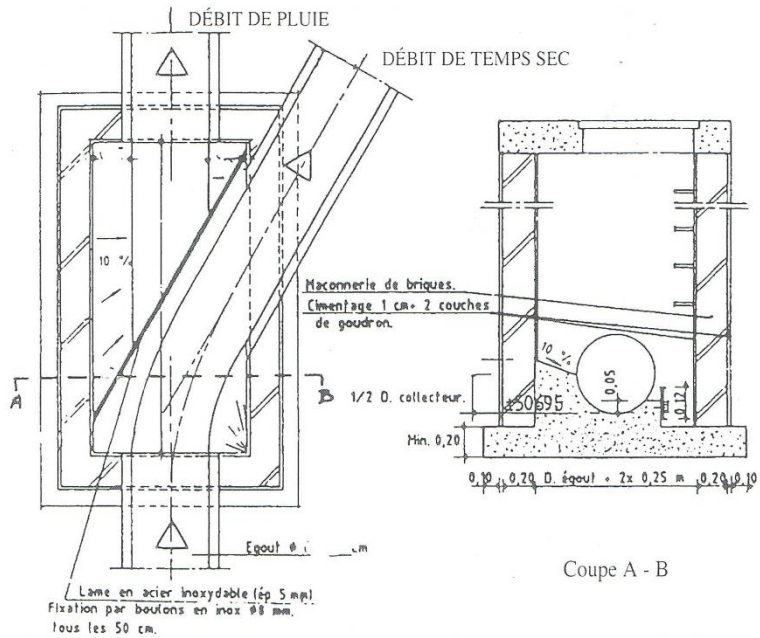
Déversoir

Système de mesure de la hauteur d'eau

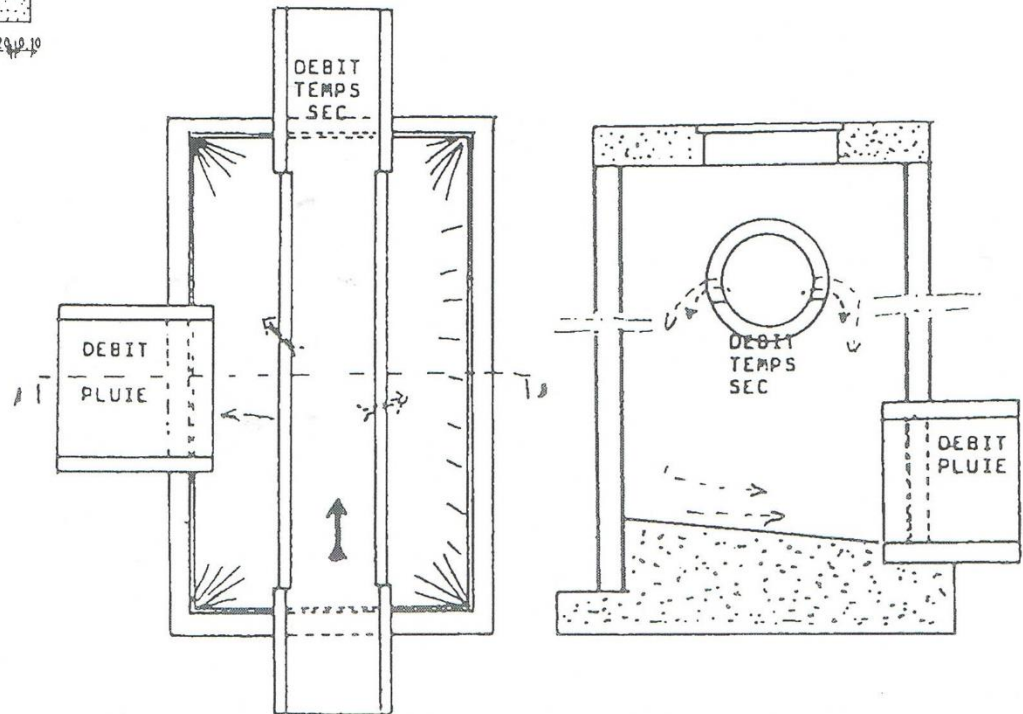
Dispositif d'égalisation de la vitesse



Débits



Répartiteurs de débits

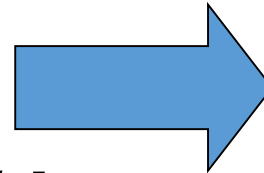


Charge polluante

Charge polluante (CP)

= débit x concentration

→ $(\text{m}^3 / \text{j}) \times (\text{kg} / \text{m}^3) \rightarrow \text{kg} / \text{j}$



Equivalent
habitant

CODE DE L'EAU - Titre 2 – Art D2 Définitions – 41°

L'E.H. visé à l'alinéa précédent représente une unité de charge polluante ayant :

- une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (**D.B.O.₅**) de 60 grammes par jour;*
- une demande chimique en oxygène (**D.C.O.**) de 135 grammes par jour;*
- une teneur en matières en suspension (**M.E.S.**) de 90 grammes par jour;*
- une teneur en **azote total** de 9,9 grammes par jour;*
- une teneur en **phosphore total** de 2,2 grammes par jour;*
- un **débit** de 0,18 m³ par jour.*

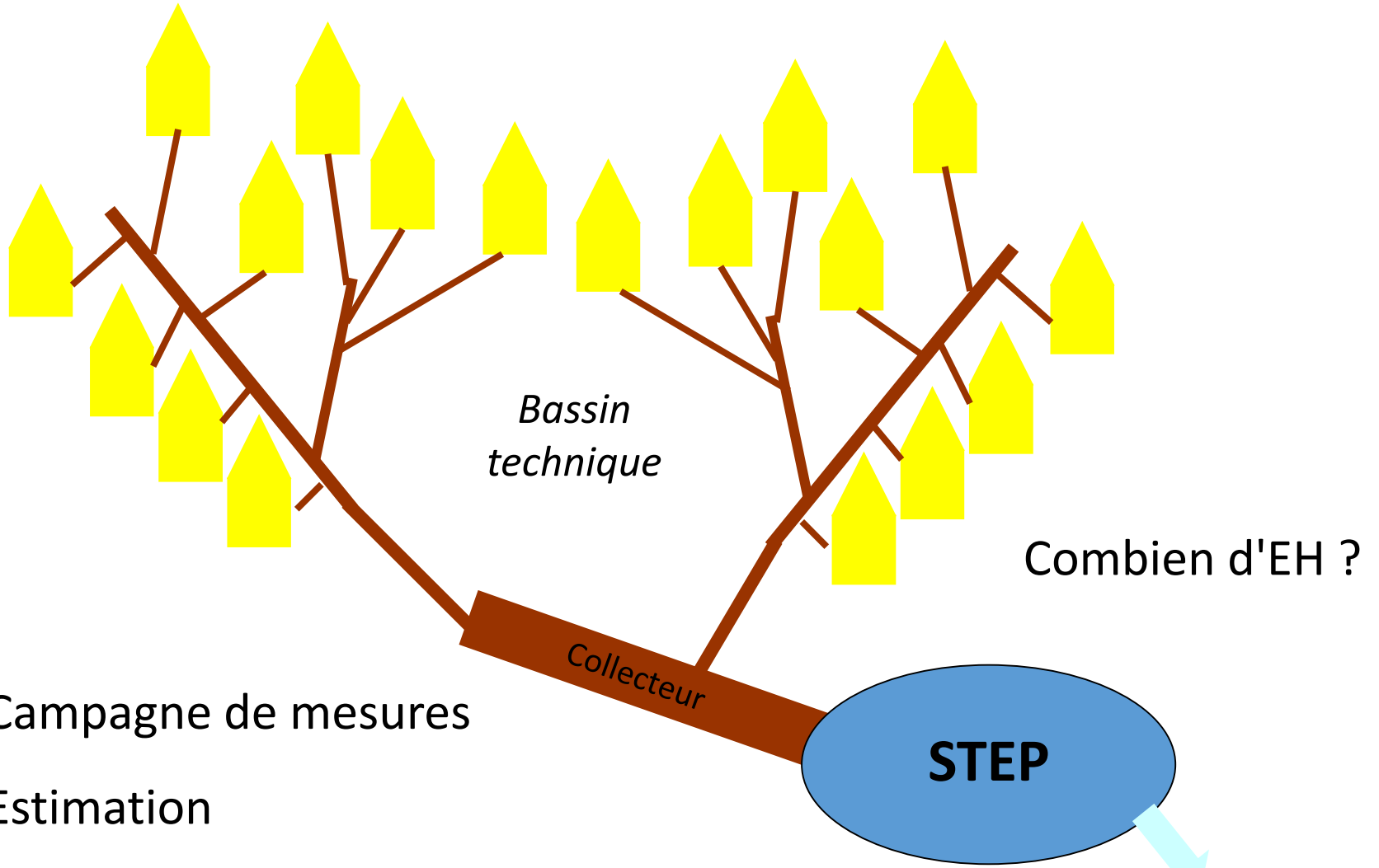
Charge polluante

Paramètre	Concentration / L	Quantité / 24 h
VOLUME	-	180 L
M. E. S.	500 mg / L	90 g
DBO ₅	333 mg / L	60 g
DCO	750 mg / L	135 g
NTK	55 mg / L	9,9 g
P	12 mg / L	2,2 g

Charge polluante

Bâtiment ou complexe	Nombre d'équivalent-habitant (EH)
Usine, atelier	1 ouvrier = 1/2 EH
Bureau	1 employé = 1/3 EH
Ecole sans bains, douche ni cuisine (externat)*	1 élève = 1/10 EH
Ecole avec bains sans cuisine (externat)*	1 élève = 1/5 EH
Ecole avec bains et cuisine (externat)*	1 élève = 1/3 EH
Ecole avec bains et cuisine (internat)*	1 élève = 1 EH
Hôtel, pension*	1 lit = 1 EH
Camping - emplacements de passage	1 emplacement = 1,5 EH
Camping - emplacements résidentiels	1 emplacement résidentiel = 2 EH
Caserne	1 personne (prévue) = 1 EH
Restaurant*	1 couvert servi = 1/4 EH Nbre EH = 1/4 EH x nombre moyen de couverts servis chaque jour
Théâtre, cinéma, salle de fêtes, débits de boissons	1 place = 1/30 EH
Plaine de sport*	1 place = 1/20 EH
Home, centre spécifique de soins, prisons*	1 lit = 1,5 EH

Charge polluante



- Campagne de mesures
- Estimation

