Caractérisation des eaux

Pollution de l'eau

Pollution de l'eau

- <u>Eau physiologique (EUU)</u>
  - boisson
  - +/-1,5 l / 24 h
  - Eau propre (potable)

    → **<u>eau noire</u>**

  ➔ Matières organiques, N, P, détergents, …



- <u>Eau domestique (EUU)</u>
  - nettoyage, cuisson
  - +/- 120 l / 24 h
  - Eau propre (potable ?)

    → **<u>eau grise</u>**

  ➔ Matières organiques, N, PO_4^{---}, détergents, …





Pollution de l'eau

- <u>Eau industrielle (EUI)</u>
  - Nettoyage, transport de matière, transport de calories, …

  ➔ polluants divers et variables selon le domaine industriel

- <u>Eau agricole</u> (EUA)
  - Nettoyage

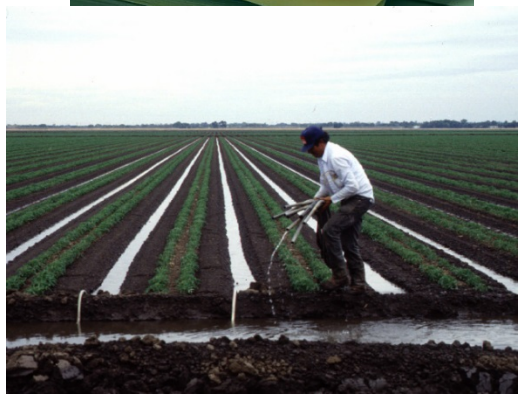
  ➔ effluents d'élevage : matières, organiques, NO_3^-, PO_4^{---}
  - irrigation

  ➔ fertilisants (NO_3^-, PO_4^{---}), produits phytosanitaires









Eau usée domestique/industrielle

Est-ce qu’on peut dimensionner la même STEP avec les mêmes paramètres pour les deux?

Principales pollutions chimiques

- Substances minérales
  - Métaux lourds (ERI) : toxicité
  - Substances eutrophisantes (NO_3^- et PO_4^{---}) (ERU & ERA)
    - Effet direct : [végétaux] ➔ [chlorophylle]
    - Effet indirect : [O_2] diminue car
      - Durant la nuit photosynthèse = 0 ➔ bilan O_2 négatif
      - Apport de matière organique (végétaux morts) ➔ augmentation DBO
- Substances organiques
  - Hydrocarbures (ERI) :
    - Effet direct : toxicité
    - Effet indirect : [O_2] diminue car DCO augmente
  - Pesticides (ERU & ERA) ➔ toxicité
  - Détergents (ERI & ERU)
    - Effet direct : toxicité
    - Effet indirect : eutrophisation car PO_4^{---}
  - Micropolluants (hormones, antibiotique, cocaïne, etc.)
- Pollution physique : T°, MES

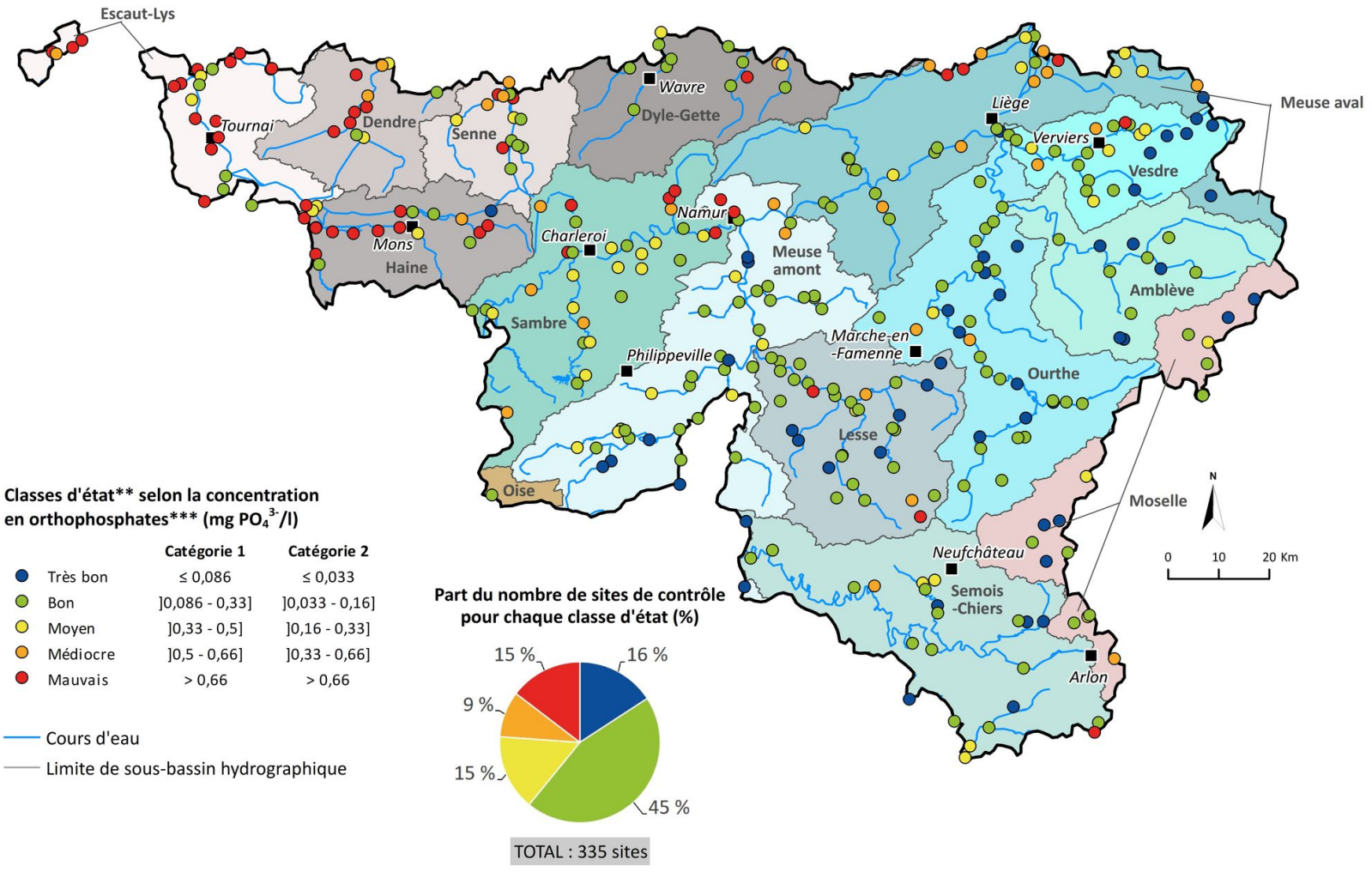
Problématique des nitrates



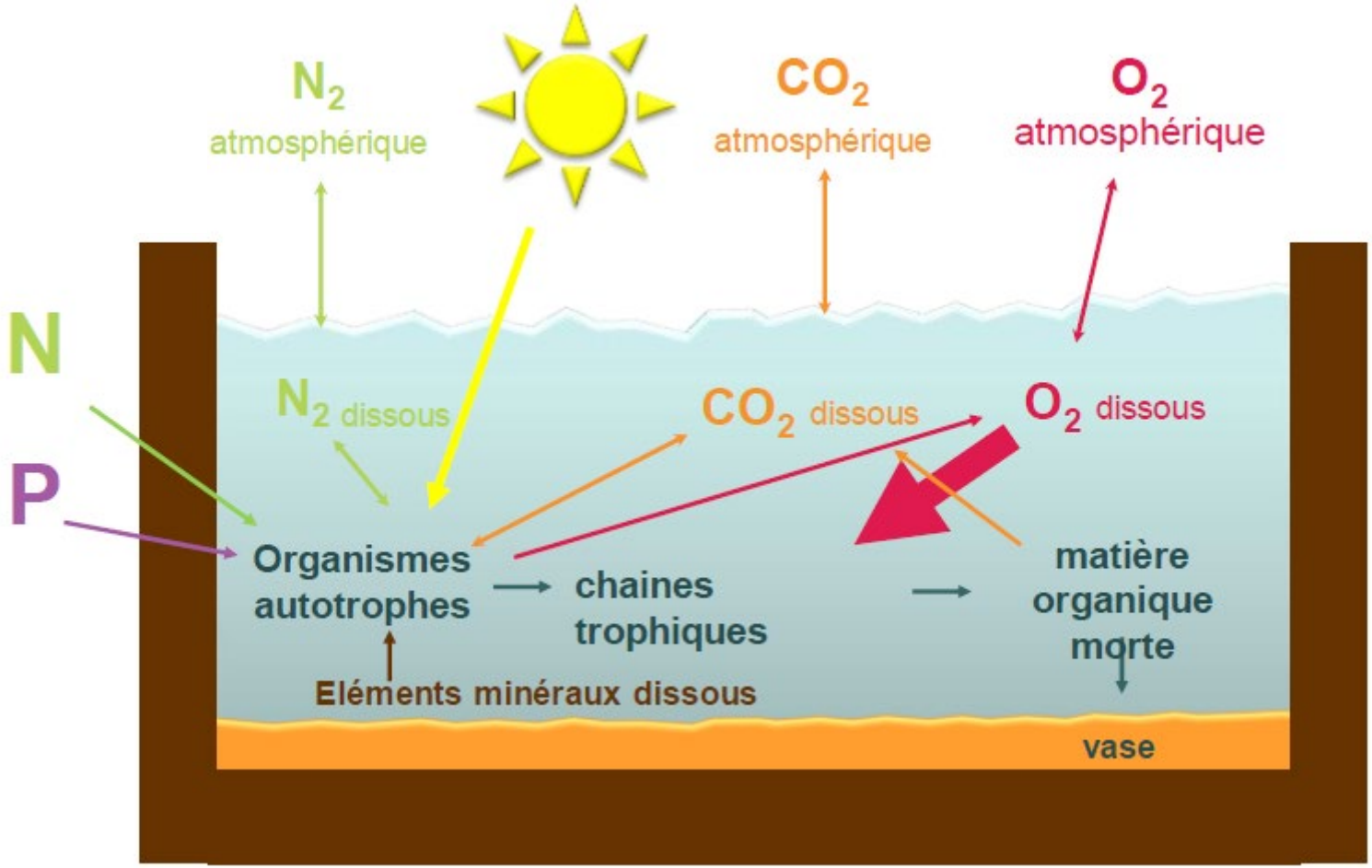
En vert: délimitation de la zone vulnérable wallonne.

- Eau destinée à la consommation humaine: max 50 mg/l (norme OMS)
- Problématique de santé publique: méthémoglobinémie (le syndrome du bébé-bleu).

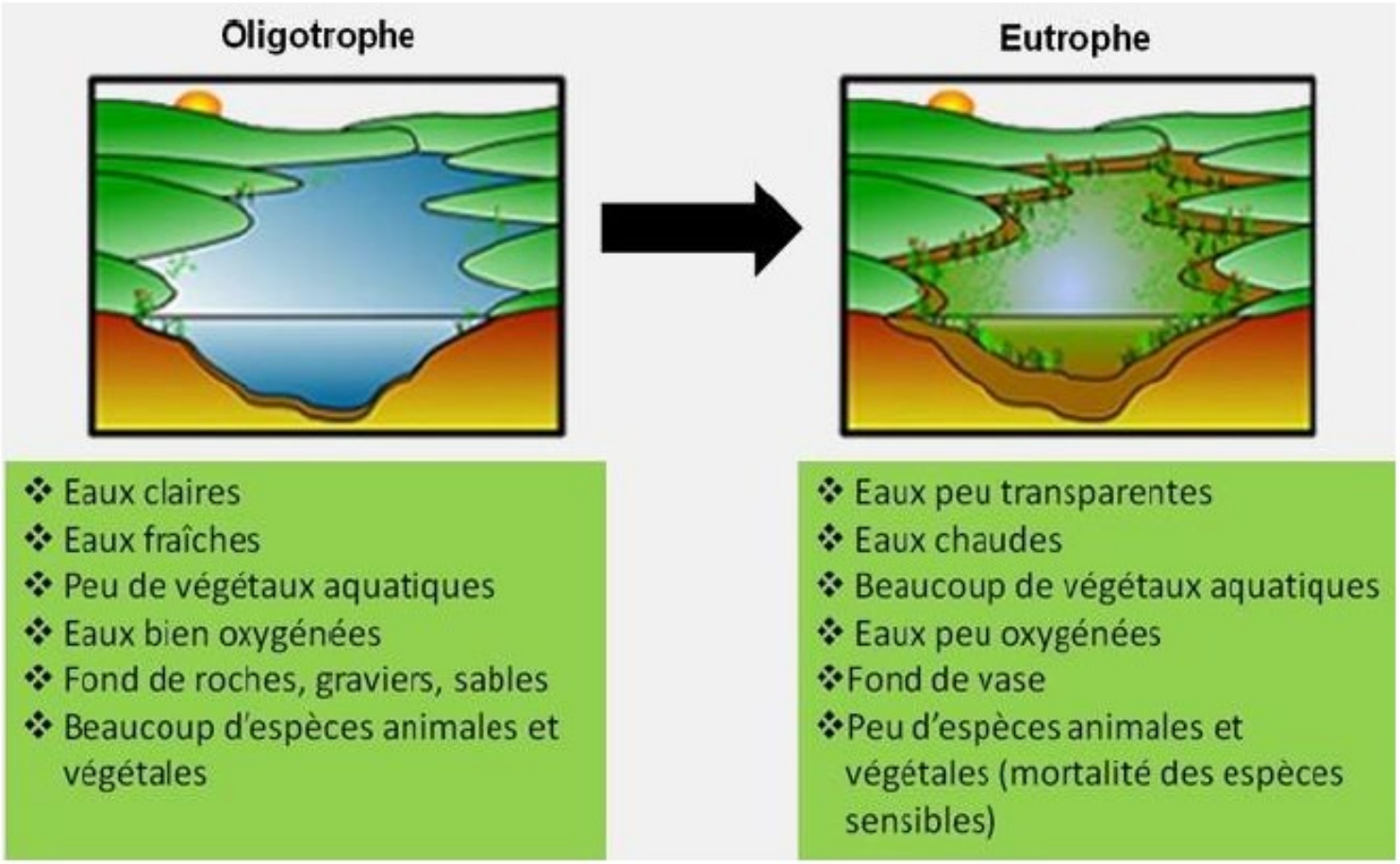
Phosphates dans les eaux de surface



L’eutrophisation



L’eutrophisation



http://www.ecotoxicologie.fr/eutrophisation.php

L’eutrophisation





Eutrophisation des milieux aquatiques - Ecotoxicologie.fr

- Anaérobiose ➔ minéralisation lente ➔ CH_4, H_2S, NH_3, etc. ➔ odeurs, toxicité, etc.
- Envasement ➔ diminution des turbulences ➔ diminution O_2

Objectifs d'une STEP

- Eaux résiduaires urbaines
  - Respect des normes de rejet selon
    - Les caractéristiques du cours d'eau récepteur (normes d'immission)
    - Type d'assainissement (collectif ou autonome)
  - Ensemble des réglementations reprises dans le code de l'eau
- Eaux résiduaires industrielles
  - Respect des normes de rejet (normes générales, sectorielles, particulières ou intégrales) selon
    - Caractéristiques du récepteur : eau de surface, réseau d'égout relié à une STEP, rigoles à ciel ouvert, etc.
    - Caractéristiques du processus de production : charges polluantes, continu/discontinu
  - Reprises dans des normes sectorielles et dans le permis unique de l'industriel

Ressources complémentaires

Code de l'eau – agglomération ≤ 2000 EH

Paramètres	Concentration	Pourcentage minimal de réduction (1)	Méthode de mesure de référence (2)
Demande biochimique en oxygène (DBO5 à 20 °C) sans nitrification (3)	30 mg/l O_2 (5) ou 50 mg/l O_2 (6)	70	Echantillon homogénéisé, non filtré, non décanté. Détermination de l'oxygène dissous avant et après une incubation de 5 jours à 20 °C ± 1 °C dans l'obscurité complète. Addition d'un inhibiteur de nitrification.
Demande chimique en oxygène (DCO)	125 mg/l O_2 (5) [160] [32] mg/l O_2 (6)	75	Echantillon homogénéisé, non filtré, non décanté. Bichromate de potassium.
Total des matières solides en suspension	[40] [33] mg/l (4)	90 (4)	– Filtration d'un échantillon représentatif sur une membrane de 0,45 µm séchage à 105 °C et pesée. – Centrifugation d'un échantillon représentatif (pendant 5 minutes au moins avec accélération moyenne de 2800 à 3200 g) séchage à 105 °C et pesée.

(1) Réduction par rapport aux valeurs à l'entrée.

(2) Les analyses relatives aux rejets provenant du lagunage doivent être effectuées sur des échantillons filtrés : toutefois, la concentration du total des matières solides en suspension dans les échantillons d'eau non filtrée ne doit pas dépasser 150 mg/l.

(3) Ce paramètre peut être remplacé par un autre : carbone organique total (COT) ou demande totale en oxygène (DTO) si une relation peut être établie entre la DBO5 et le paramètre de substitution.

(4) Cette exigence est facultative.

(5) En moyenne sur 24 heures.

(6) Maximum.

Code de l'eau – agglomération > 2000 EH

Paramètres	Concentration	Pourcentage minimal de réduction (1)	Méthode de mesure de référence (2)
Demande biochimique en oxygène (DBO5 à 20 °C) sans nitrification (3)	25 mg/l O_2	70 - 90	Echantillon homogénéisé, non filtré, non décanté. Détermination de l'oxygène dissous avant et après une incubation de 5 jours à 20 °C ± 1°C dans l'obscurité complète. Addition d'un inhibiteur de nitrification.
Demande chimique en oxygène (DCO)	125 mg/l O_2	75	Echantillon homogénéisé, non filtré, non décanté. Bichromate de potassium.
Total des matières solides en suspension	35 mg/l (4)	90 (4)	– Filtration d'un échantillon représentatif sur une membrane de 0,45 µm, séchage à 105 °C et pesée. – Centrifugation d'un échantillon représentatif (pendant 5 minutes au moins avec accélération moyenne de 2 800 à 3 200 g), séchage à 105 °C et pesée.

(1) Réduction par rapport à l'entrée.

(2) Les analyses relatives aux rejets provenant du lagunage doivent être effectuées sur des échantillons filtrés : toutefois, la concentration du total des matières solides en suspension dans les échantillons d'eau non filtrée ne doit pas dépasser 150 mg/l.

(3) Ce paramètre peut être remplacé par un autre : carbone organique total (COT) ou demande totale en oxygène (DTO) si une relation peut être établie entre la DBO5 et le paramètre de substitution.

(4) Cette exigence est facultative.

Code de l'eau – agglomération > 10000 EH

Paramètres	Concentration (4)	Pourcentage minimal de réduction (1)	Méthode de mesure de référence
Phosphore total	– 2 mg/l P (EH compris entre 10.000 et 100 000) – 1 mg/l P (EH de plus de 100 000)	80	Spectrophotométrie par absorption moléculaire
Azote total (2)	– 15 mg/l N (EH compris entre 10.000 et 100 000) (3) – 10 mg/l N (EH de plus de 100 000) (3)	70 — 80	Spectrophotométrie par absorption moléculaire

(1) Réduction par rapport aux valeurs à l'entrée.

(2) Azote total signifie le total de l'azote obtenu par la méthode de Kjedahl (azote organique + NH_3) de l'azote contenu dans les nitrates (NO_3) et de l'azote contenu dans les nitrites (NO_2).

(3) La moyenne journalière ne doit pas dépasser 20 mg N/l. Cette exigence se réfère à une température de l'eau de 12 °C au moins pendant le fonctionnement du réacteur biologique de la station d'épuration. La condition concernant la température pourrait être remplacée par une limitation du temps de fonctionnement tenant compte des conditions climatiques régionales.

(4) La moyenne annuelle des échantillons doit, pour chaque paramètre, respecter les valeurs correspondantes.

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 aigüe 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 totaux (ST) : Résidu après évaporation

- Solides en suspension
  - Décantable ou non selon la taille

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
$\leq 10^{-4}$	$\leq 0,1$	Colloïdes	
$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-3}$	Macromolécules	

RC - Mesures des particules



- <u>Matières décantables</u> ➔ cm^3 / L
  - Méthode de mesure : volume décanté en 2 heures (≥ 0,5 h)
  - Matières grossières
  - Utilité : déssablage, décantabilité des boues → floculation
- <u>Matières en suspension</u> (M. E. S.) ➔ mg / L
  - Méthodes de mesure
    - Filtration (0,45 µm)
    - Centrifugation
    - Absorption (rayonnement arrêté)
    - Turbidimétrie (rayonnement diffusé) → particules colloïdales
  - Matières fines
  - Utilité : épuration primaire → décanteurs
  - EH : 500 mg / L



RC - Mesures des particules

- 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
- Indice de MOHLMAN(= Indice de boues = Sludge Volume Index (SVI))
  - SVI = matières décantables/matières en suspension (cm^3/g) = volume décanté après 30 minutes à partir d'un litre de boue rapporté au poids
  - Utilité : estimation de la **décantabilité** des boues

OK ⇔ 50 cm^3/g < SVI < 100 cm^3/g

Détermination des matières organiques

- **DCO** (Demande Chimique en Oxygène)
  → mg O_2 / 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 O_2 / L

$$CH_2O_{(aq)} + O_{2\,(aq)} \rightarrow CO_{2\,(g)} + H_2O_{(aq)}$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14\,H^+ + 6\,e^- \rightarrow 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$$

Détermination des matières organiques

- **$\underline{DBO_5}$** (Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours) **➔ mg O_2 / l**
  - Méthodes de mesure
    - Mesure de la consommation d'O_2 après 5 jours d'incubation dans une eau saturée (➔ diluer)
    - Manométrie (Oxitop®)
  - Ce qui est <u>oxydable</u> par la <u>biomasse</u> : C, (N réduit, sulfures, …)
  - Lent (5 jours)
  - ! Nombreux facteurs de variation : T°, toxiques, biomasse, …
  - Utilité : épuration secondaire
  - EH : 333,33 mg O_2 / L



Détermination des matières organiques

- **$\underline{DBO_5}$** (Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours) **➔ mg O_2 / l**

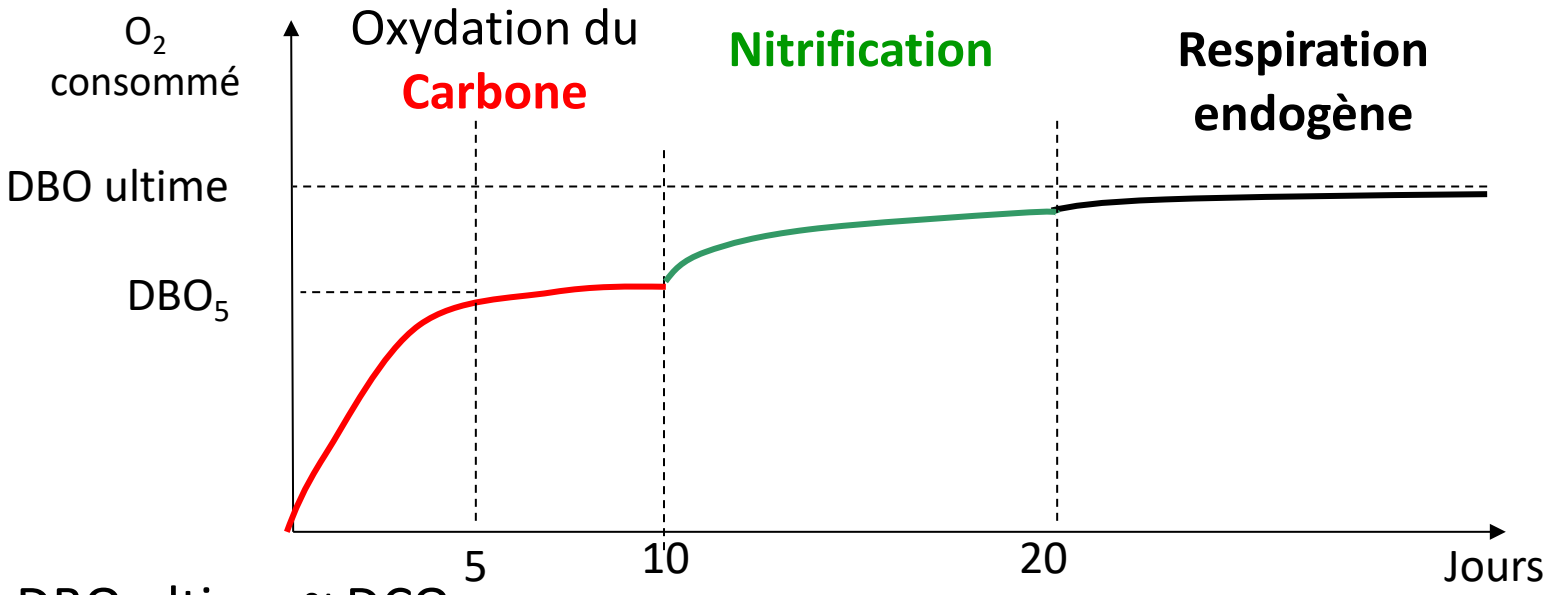
$$CH_2O_{(aq)} + O_{2\,(aq)} \rightarrow CO_{2\,(g)} + H_2O_{(aq)}$$

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \xrightarrow{Nitrosomas} 2NO_2^- + 2\,H^+ + 2\,H_2O$$

$$2\,NO_2^- + O_2 + 2\,H^+ \xrightarrow{Nitrobacter} 2\,NO_3^- + 2\,H^+$$

Mesure de la DBO5

- Evolution DBO_5 / tps : 2 paliers



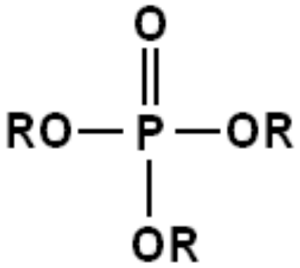
- DBO ultime ~ DCO
- DBO réfractaire
- DCO/DBO_5 (toujours ≥ 1) ➔ **biodégradabilité**
  - Si tend vers 1 ⇔ complètement biodégradable
  - DCO/DBO_5 EUU = 2 à 2,5
  - $DCO/DBO_5 > 3$ ⇔ difficilement biodégradable

RC - Composés azotés

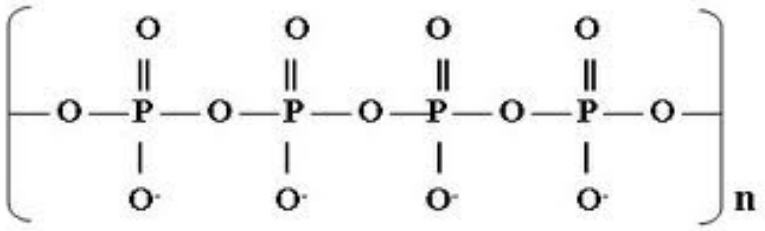
- NTK (azote total Kjeldahl) ➔ mg / L
  - Méthode de mesure : minéralisation complète en conditions acides à chaud + dosage N ammoniacal
  - Azote réduit = N-organique + N-NH_4^+ ➔ N-org = NTK – N-NH_4^+
  - Utilité : nitrification / dénitrification
  - EH : 55 mg NTK / L
- Nitrites (N-NO_2^-) ➔ mg / 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

RC - Phosphore

- Phosphore organique
- Orthophosphates
  - Méthode de mesures : spectrophotométrie
  - Formes dérivées de H_3PO_4 → ion PO_4^{---}
  - Facteur d'eutrophisation
  - Utilité : déphosphatation
  - EH : 12 mg / L
- Polyphosphates



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



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

Caractérisation des eaux

Charge polluante

Une eau usée contient 300 mg/L de DBO5

- Est-ce possible de déterminer la masse totale de DBO5 qui arrive à la STEP par jour?

Charge polluante

- Quantité → **débits**
- Qualité → nature et intensité → **concentrations**

CHARGE POLLUANTE = Q x [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

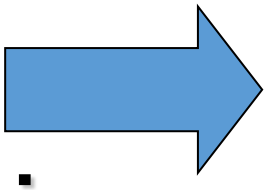
- *Quantitatif* :
  - variation journalière (fonction de l'activité)
  - variation saisonnière (égouts unitaires ➔ fonction de la pluviométrie)
- *Qualitatif* : +/- stable sur le long terme

Charge polluante

Charge polluante (CP)

= débit x concentration

→ (m³ / j) x (kg / m³) → kg / 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 m^3 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

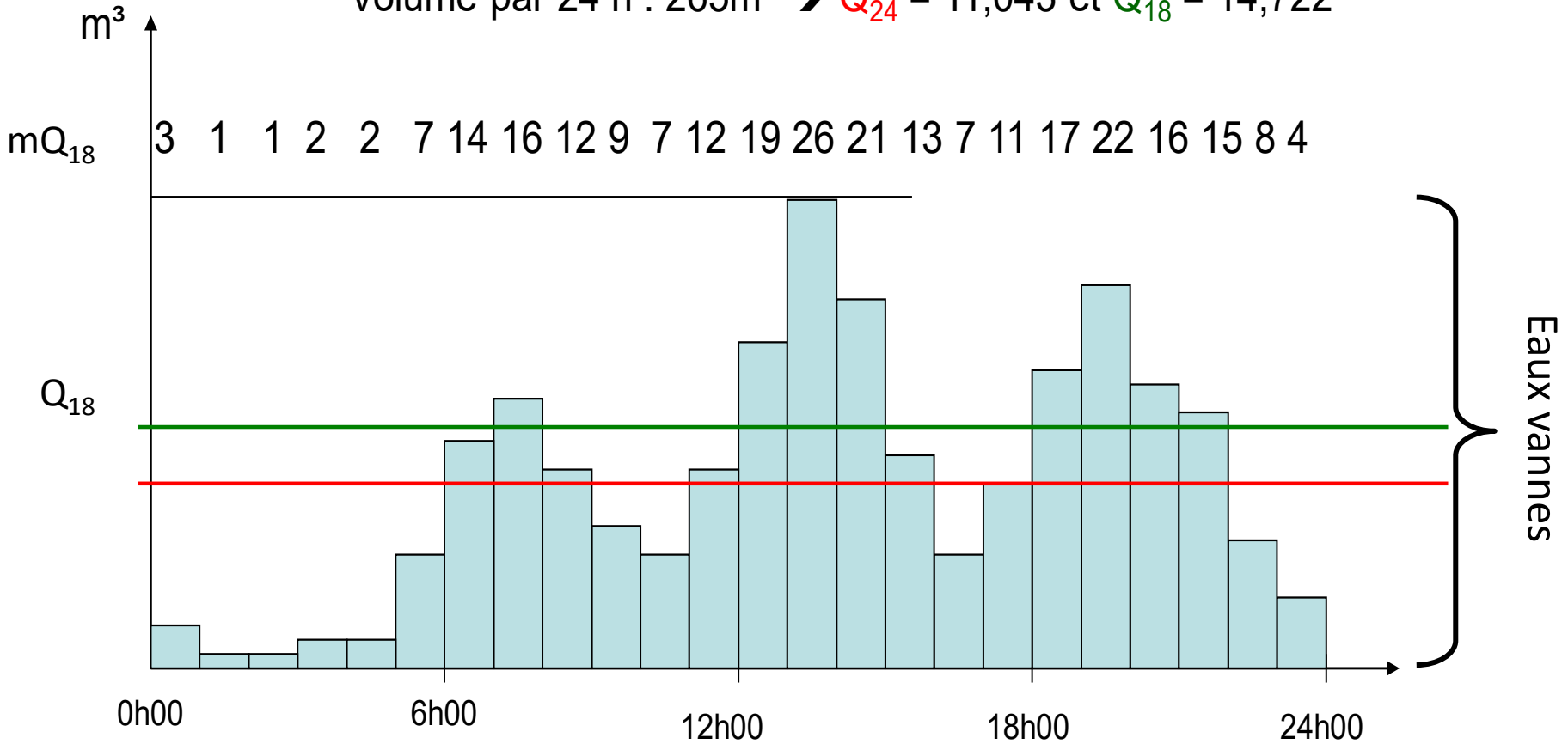
Charge polluante

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

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

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



Débits de temps sec

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**

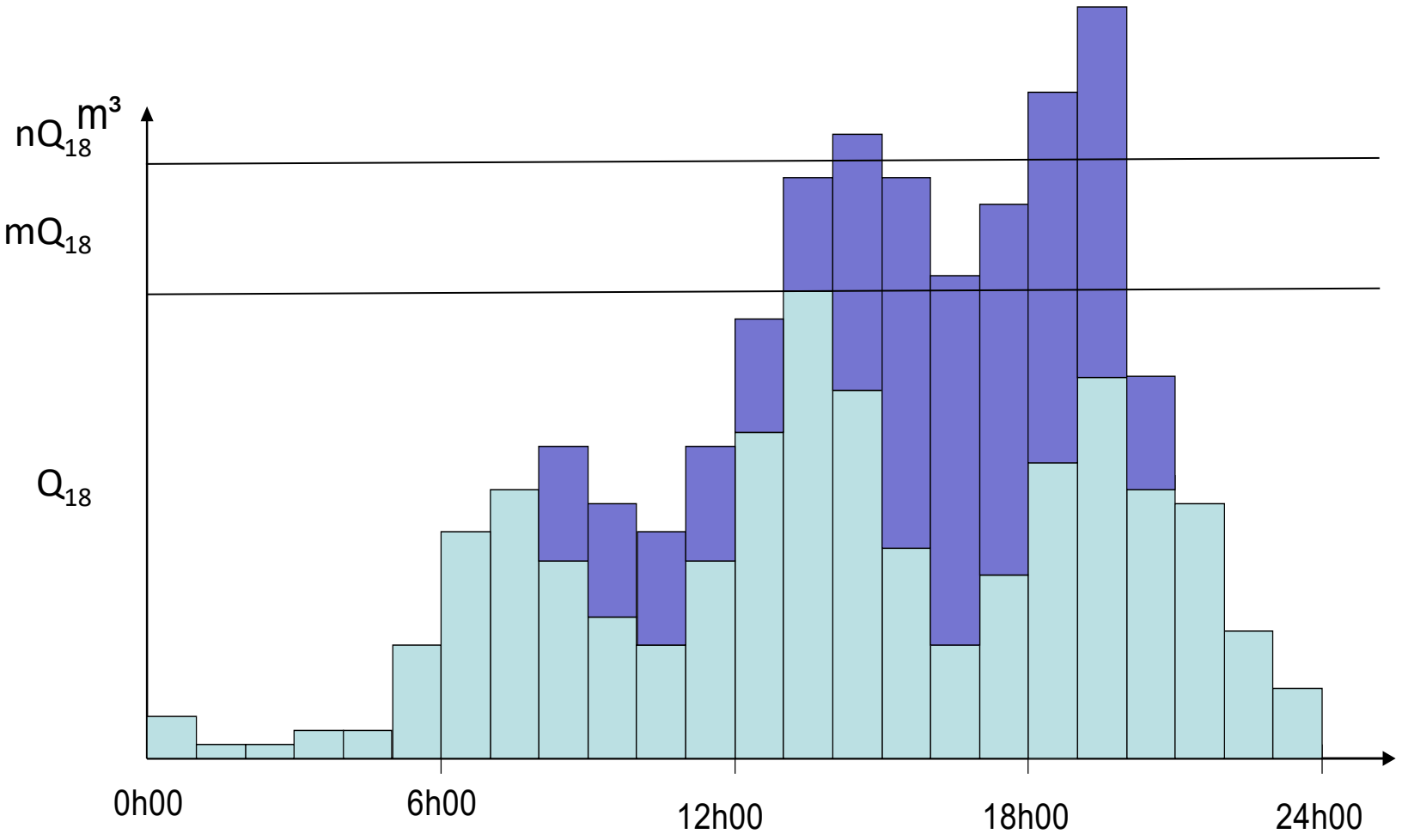
➔ **Si Q in ≤ m Q18** ➔ admis au **biologique**

➔ **Si m Q18 < Q in < n Q18** ➔ **bassin d'orage** (traitement primaire !)

/!\ 1ère ½ heure de pluie → rinçage des égouts

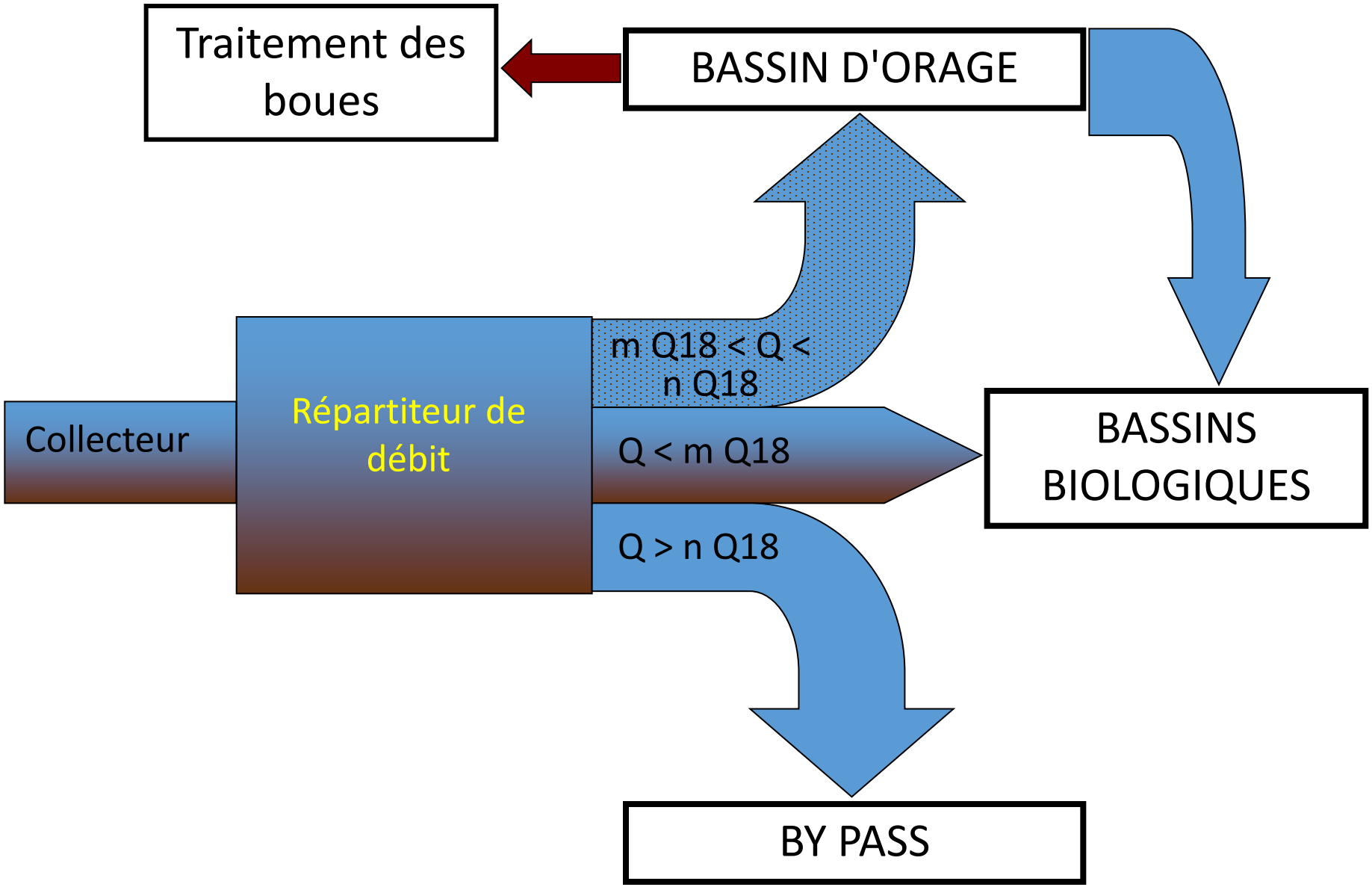
➔ Si **Q in > n Q18** ➔ **by pass** → **eau de pluie** → **"propre"**

Charge polluante



Débits de temps de pluie

Charge polluante



En résumé

Une STEP est un système qui reçoit UN DEBIT et UNE CHARGE POLLUANTE qui varient dans le temps.

Il faut pouvoir caractériser

MES – DBO5 – DCO – N – P

CHARGE POLLUANTE = Q x [C]

Ressources complémentaires

Débits

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

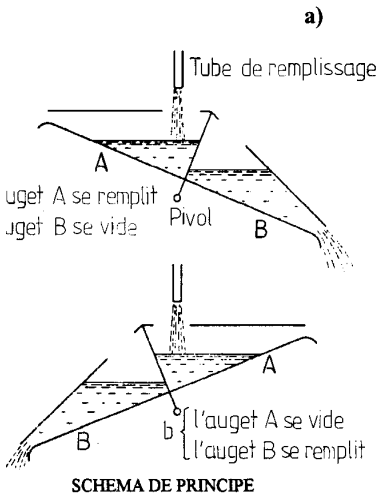
= volume / temps → mesures directes

= section x vitesse → mesures indirectes

Débits

Mesures directes (volumétrique) : **V / t**

- récipient calibré (empotement)
- augets pivotants



SCHEMA DE PRINCIPE

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

Débits

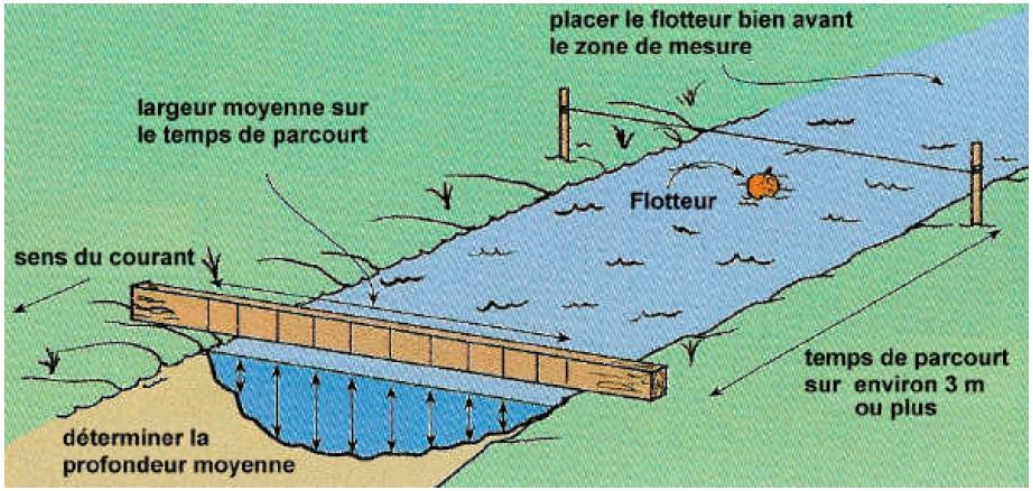
Mesures indirectes : **A x v**

- 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/

Débits

Mesures indirectes : **A x v**

- v considérée comme constante ➔ Q = f(A)
  - établir un régime critique tel que v = constante ➔ Q = f(A) = f(l x h)
  - largeur constante ➔ **Q = f(h)** ➔ **limnimétrie**

$$\mathbf{Q = K \times C \times h^n}$$

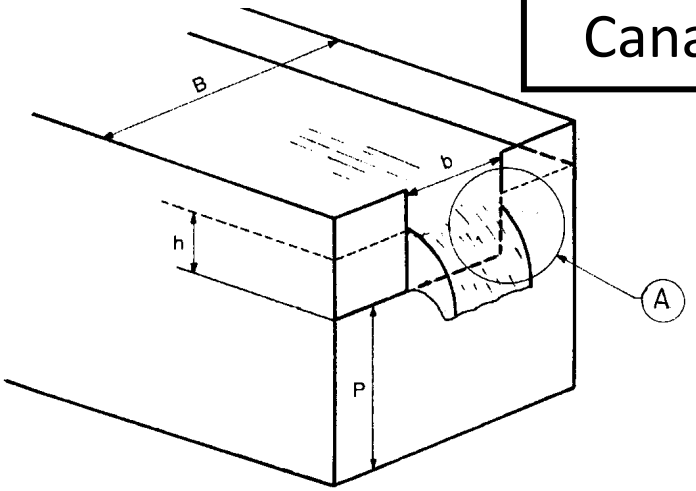
K : coefficient de débit ; C, n : paramètres caractéristiques du dispositif

  - **canal jaugeur**
    - débits faibles ➔ **déversoirs** (à paroi mince ou épaisse)
    - débits élevés ➔ **Venturi** ou **Parshall**

cfr. http://slideplayer.fr/slide/1583035/

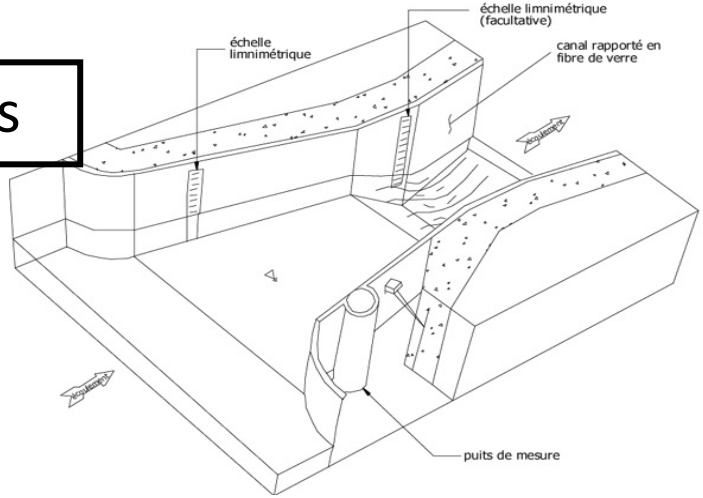
Débits

Canaux jaugeurs



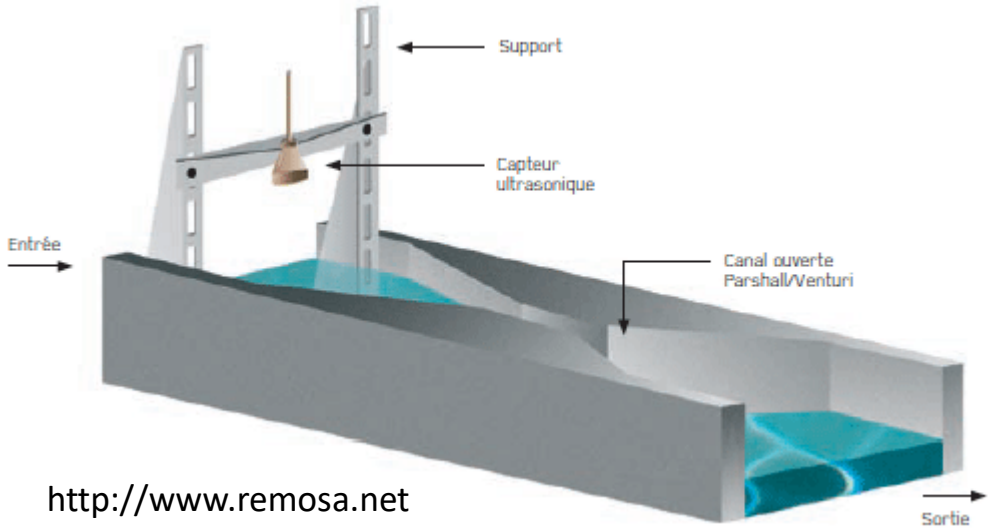
Déversoir

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

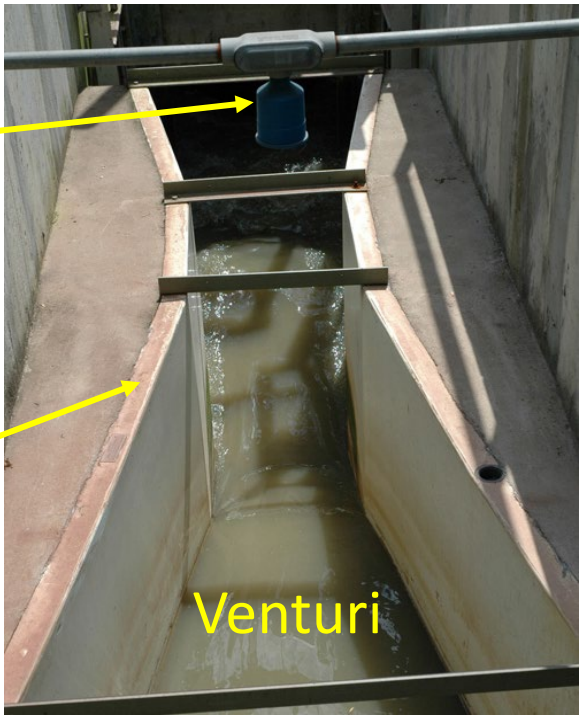


www.2gmetrologie.com

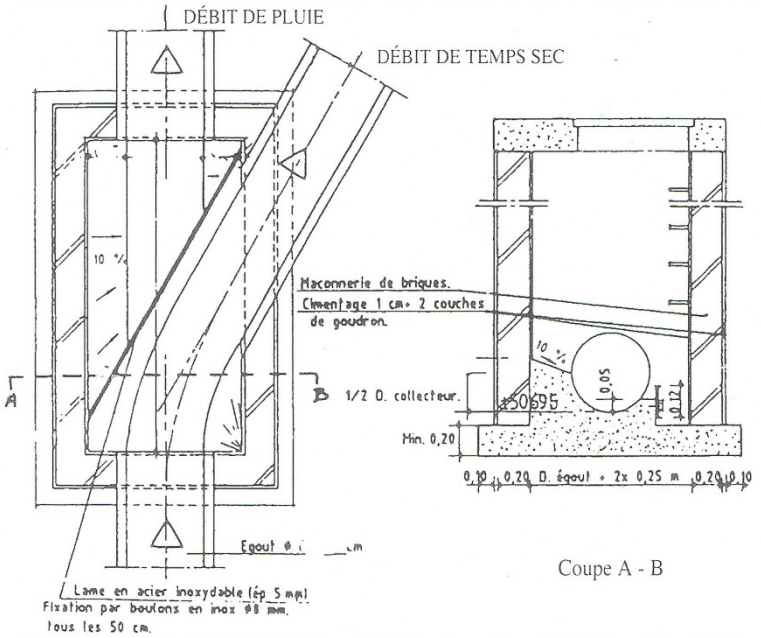
Déversoir

Système de mesure de la hauteur d'eau

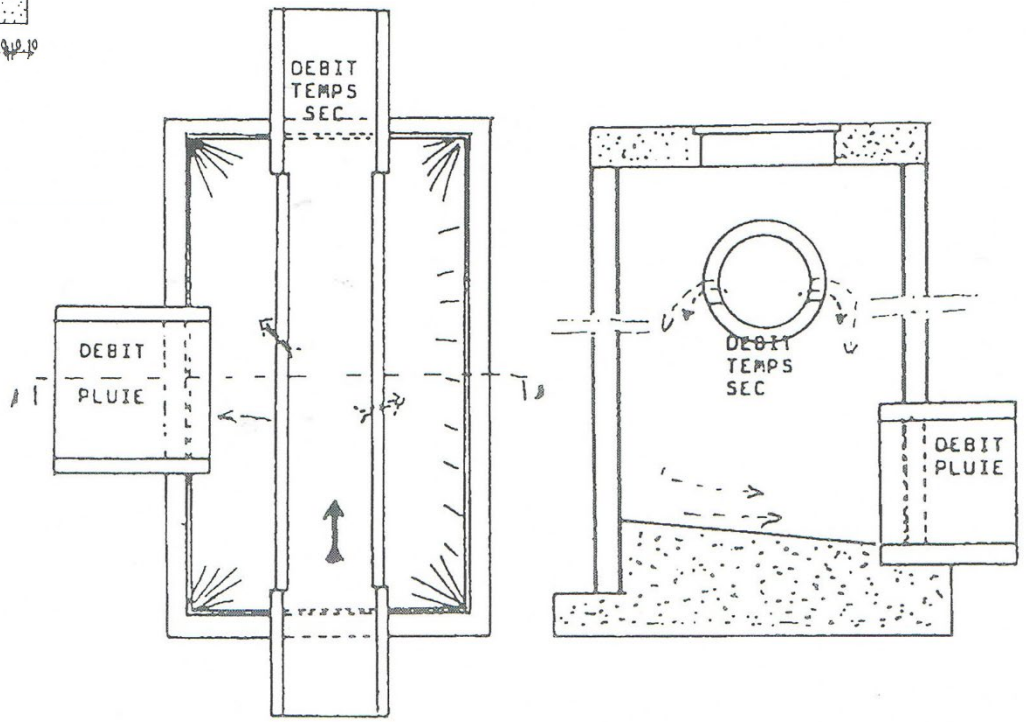
Dispositif d'égalisation de la vitesse



Débits



Coupe A - B



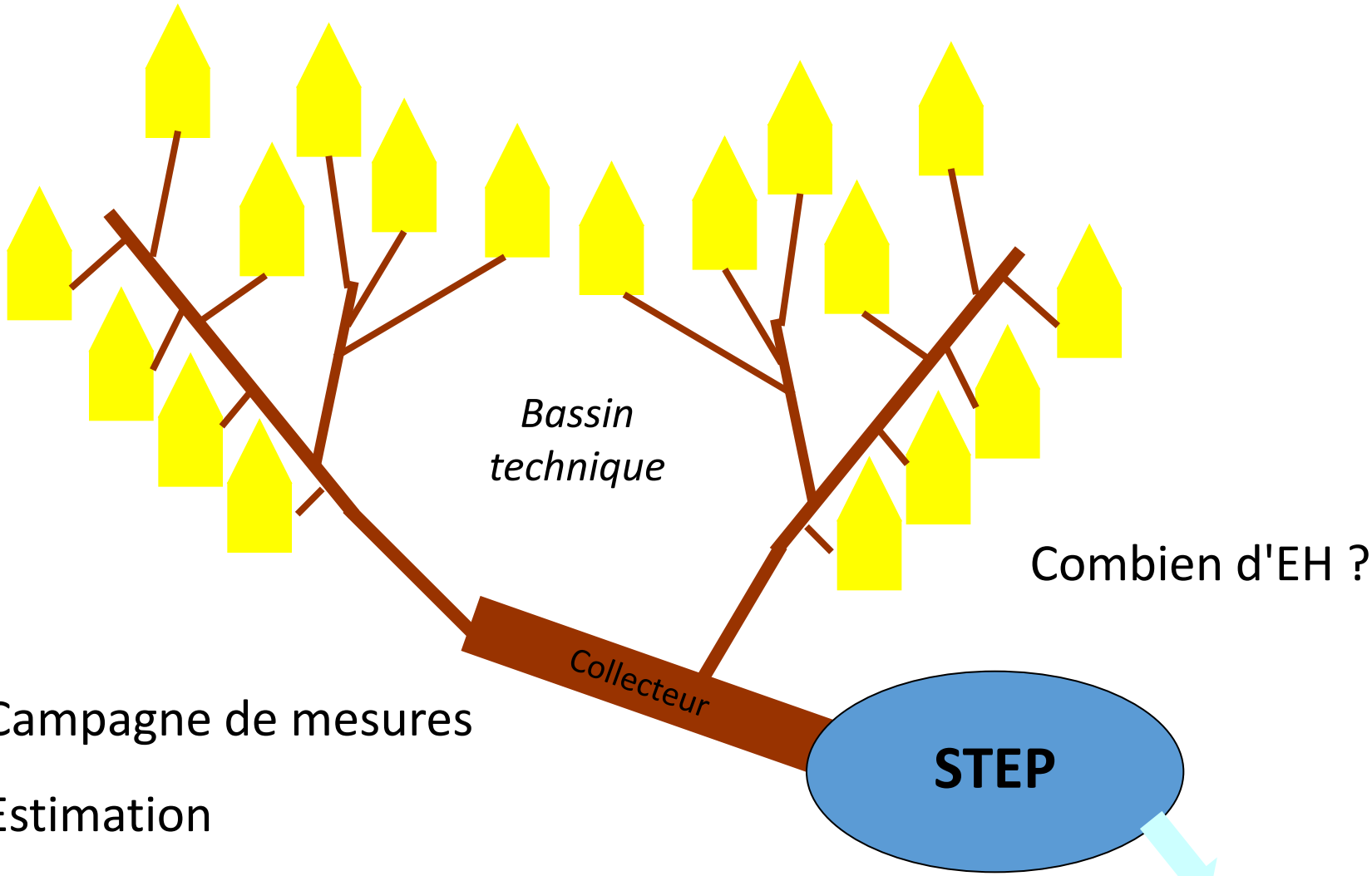
Répartiteurs de débits

Débits



http://step.ouvaton.org

Charge polluante



Combien d'EH ?

- Campagne de mesures
- Estimation