

Département de la Haute-Garonne (31)

Agence de l'Eau ADOUR-GARONNE



CONSULTATION N° 2011-035

-

**ETUDE RELATIVE A LA SUBSTITUTION DU CALCAIRE
MARIN SUR LES STATIONS D'EAU POTABLE
EQUIPEES DE FILTRES DE REMINERALISATION**

**PHASE 4
Guide de Préconisation**

A : TOULOUSE



Siège Social
11 bis, rue Gabriel Péri – CS 90201
54519 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex

Délégation Régionale
8, rue Olivier de Serres
49 070 BEAUCOUZÉ
☎ : 02.41.73.21.11 – Fax : 02.41.73.38.58

Agence Sud-Ouest
197, avenue de Fronton
31200 Toulouse

☎ : 05.34.42.27.70 – Fax : 05.34.42.27.89
M@il : sudouest@irh.fr

FICHE SIGNALÉTIQUE

CLIENT

| | | |
|------------------|---|---|
| ▪ Raison sociale | ⇒ | Agence de l'Eau Adour- Garonne |
| ▪ Coordonnées | ⇒ | 90 rue du Férétra 31400 TOULOUSE Cedex 4 |
| ▪ Téléphone | ⇒ | 05 61 36 36 49 |
| ▪ Télécopie | ⇒ | 05 61 36 37 28 |
| ▪ Mail | ⇒ | agnes.chevrel@eau-adour-garonne.fr |
| ▪ Activité | ⇒ | Etude |
| ▪ Milieu | ⇒ | Eau Potable |



SITE D'INTERVENTION

| | | |
|---------------|---|----------------------|
| ▪ Coordonnées | ⇒ | Bassin Adour-Garonne |
|---------------|---|----------------------|

DOCUMENT

| | | |
|------------------------------|---|------------------|
| ▪ Nature du document | ⇒ | Rapport final |
| ▪ Nomenclature du document | ⇒ | RWEH13PGP38 |
| ▪ Révision | ⇒ | 0 |
| ▪ Nombre d'exemplaires remis | ⇒ | 3 |
| ▪ Pièces jointes | ⇒ | - |
| ▪ Destinataires | ⇒ | Agnès CHEVREL |
| ▪ Numéro de projet | ⇒ | DWEH11CBU180 |
| ▪ Date de remise du document | ⇒ | 08/04/2013 |
| ▪ Nom du chargé d'études | ⇒ | Pauline GIUPPONI |

CONTROLE QUALITE

| | Nom | Fonction | Date | Signature |
|---------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------|--|
| Vérfié | Thierry PICHARD | Chef de projet | 08/04/2013 | po  |
| Validé | Caroline BELAUBRE | Responsable d'agence | 08/04/2013 |  |

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| I - PREAMBULE..... | 7 |
| II - CONTEXTE DANS LE BASSIN ADOUR-GARONNE..... | 8 |
| III - RAPPELS REGLEMENTAIRES ET GENERAUX..... | 11 |
| III.1. PREAMBULE..... | 11 |
| III.2. RAPPELS CONCERNANT LA REGLEMENTATION DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE..... | 12 |
| III.2.1. Cadre réglementaire..... | 12 |
| III.2.2. Les obligations du distributeur d'eau..... | 13 |
| III.2.3. Limites et références de qualité..... | 13 |
| III.2.4. Contrôle sanitaire – autosurveillance..... | 13 |
| III.3. L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE..... | 13 |
| III.3.1. Introduction..... | 13 |
| III.3.2. Les exigences réglementaires..... | 14 |
| III.3.3. Aspects théoriques et pratiques de l'équilibre calco-carbonique..... | 14 |
| III.3.4. Equilibre calco-carbonique et pH d'équilibre..... | 16 |
| III.3.5. Détermination de l'agressivité ou du caractère incrustant par le calcul..... | 17 |
| III.3.6. Couche de Tillmans..... | 18 |
| III.3.7. Facteurs influant sur le caractère agressif ou entartrant..... | 19 |
| III.4. LES TRAITEMENTS CORRECTIFS..... | 20 |
| III.4.1. La lutte contre l'agressivité..... | 20 |
| III.4.2. Neutralisation et reminéralisation..... | 22 |
| III.4.3. Conséquences des dysfonctionnements des traitements correctifs..... | 24 |
| III.5. IMPACT DE L'EAU VIS-A-VIS DES MATERIAUX DES RESEAUX..... | 25 |
| III.5.1. Corrosion par érosion ou par cavitation..... | 25 |
| III.5.2. Corrosion et dissolution des métaux..... | 25 |
| III.5.3. Facteurs d'influence de la corrosion..... | 26 |
| III.5.4. Evaluation de la corrosivité d'une eau..... | 26 |
| III.5.5. Protection contre la corrosion..... | 26 |
| IV - PRESENTATION DE L'ETUDE ET DES RESULTATS..... | 27 |
| IV.1. PROTOCOLE DE L'ETUDE..... | 27 |
| IV.1.1. Phasage de l'étude..... | 27 |
| IV.1.2. Déroulement des tests..... | 27 |
| IV.1.3. Résultats comparatifs des produits de substitution..... | 30 |
| IV.2. ADAPTATIONS NECESSAIRES DANS LE CADRE DE L'ETUDE..... | 33 |
| IV.2.1. Volume des filtres..... | 33 |
| IV.2.2. Améliorations des équipements de lavage..... | 34 |
| IV.2.3. Conditions d'exploitation..... | 35 |
| IV.2.4. Traitement complémentaire : CO ₂ | 35 |
| IV.2.5. Traitement d'affinage : Soude..... | 36 |
| IV.3. BILAN GENERAL DES ESSAIS..... | 37 |
| V - PRECONISATIONS GENERALES..... | 38 |
| V.1. RAPPELS SUR LA FILTRATION SUR CALCAIRE..... | 38 |
| V.2. DONNEES DE BASE..... | 38 |
| V.3. REMINERALISATION ET NEUTRALISATION..... | 39 |
| V.4. PRINCIPES GENERAUX DE CONCEPTION DES FILTRES A CALCAIRE..... | 40 |
| V.5. DIMENSIONNEMENT DU FILTRE A CALCAIRE..... | 42 |
| V.6. LAVAGE..... | 44 |
| V.6.1. Opérations de lavage préventif..... | 44 |
| V.6.2. Opérations de lavage après recharge périodique..... | 45 |
| V.6.3. Opérations de lavage après la première charge complète du filtre..... | 45 |
| V.7. INSTRUMENTATION..... | 46 |
| V.8. AUTRES POINTS A NE PAS OUBLIER..... | 46 |

| | |
|---|-----------|
| V.9. TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES : CO ₂ | 47 |
| V.9.1. Dégazage | 47 |
| V.9.2. Injection de CO ₂ | 47 |
| V.10. TRAITEMENTS D’AFFINAGE : SOUDE | 48 |
| V.11. DESINFECTION DU MATERIAU FILTRANT | 49 |
| V.12. EXPLOITATION..... | 50 |
| V.12.1. Ce qu’il ne faut jamais faire | 50 |
| V.12.2. Recharge périodique | 50 |
| V.12.3. Lavage préventif | 50 |
| V.12.4. Lavage après recharge..... | 50 |
| V.12.5. Désinfection du calcaire | 50 |
| V.12.6. Stockage du calcaire | 50 |
| V.12.7. Les carnets et fichiers de suivi | 51 |
| V.13. ADAPTATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES | 51 |
| V.13.1. Temps de contact dans le filtre..... | 52 |
| V.13.2. Conception du filtre..... | 52 |
| V.13.3. Vidange du calcaire | 55 |
| V.13.4. Lavage..... | 55 |
| V.13.5. Rodage des matériaux de synthèse et des calcaires modifiés..... | 56 |
| VI - EVALUATION DE COUTS | 57 |
| VII - CONCLUSION | 59 |
| VIII - ANNEXES | 60 |
| ANNEXE I : | 61 |
| GLOSSAIRE | 61 |
| ANNEXE II : | 64 |
| RAPPELS CONCERNANT LA REGLEMENTATION DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE | 64 |
| ANNEXE III : | 73 |
| COMPREHENSION DE LA COMPOSITION DES EAUX NATURELLES | 73 |
| ANNEXE IV : | 76 |
| LES CONSTANTES D’EQUILIBRE..... | 76 |
| ANNEXE V : | 78 |
| L’EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE..... | 78 |
| ANNEXE VI : | 82 |
| IMPACT DE L’EAU VIS-A-VIS DES MATERIAUX DES RESEAUX | 82 |
| ANNEXE VII : | 85 |
| EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT DE FILTRE A CALCAIRE | 85 |
| ANNEXE VIII : | 87 |
| FICHES TECHNIQUES DES PRODUITS TESTES..... | 87 |

INDEX DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Répartition géographique des installations de neutralisation sur calcaire du bassin... | 8 |
| figure 2 : Répartition du CO ₂ total dans l'eau..... | 15 |
| Figure 3 : Logigramme décisionnel pour les eaux faiblement minéralisées ou douces..... | 21 |
| Figure 4 : Schéma de fonctionnement d'un filtre à calcaire – mode filtration..... | 40 |
| figure 5 : Logigramme décisionnel de réutilisation, d'adaptation ou de reconstruction d'un filtre à calcaire..... | 54 |
| figure 6 : Démarche à mettre en œuvre en cas de non-conformité..... | 70 |
| figure 7 : Variations de H ₂ CO ₃ , HCO ₃ ⁻ et CO ₃ ²⁻ (en %) en fonction du pH..... | 74 |
| figure 8 : Exemple de représentation graphique selon la méthode de Hallopeau et Dubin..... | 80 |

INDEX DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| tableau 1 : Classes d'eau pour la définition de l'équilibre calco-carbonique..... | 17 |
| tableau 2 : Echelle de dureté de l'eau..... | 20 |
| tableau 3 : Indice de Larson et tendance de l'eau..... | 26 |
| tableau 4: Produits de substitution identifiés lors de l'étude..... | 28 |
| tableau 5: Liste des sites testés..... | 29 |
| tableau 6: Caractéristiques des produits testés..... | 30 |
| tableau 7: Evaluation des performances des produits testés..... | 31 |
| tableau 8 : Reminéralisation et neutralisation..... | 40 |
| tableau 9 : Cycle de lavage – Lavage préventif..... | 44 |
| tableau 10 : Cycle de lavage – Recharge périodique..... | 45 |
| tableau 11 : Cycle de lavage..... | 45 |
| tableau 12 : Influence de la température sur les constantes de dissociation..... | 77 |
| tableau 13 : Variation de l'équilibre calco-carbonique d'une eau en fonction de son pH et de son pHs..... | 78 |
| tableau 14 : Classes d'eau pour la définition de l'équilibre calco-carbonique..... | 78 |
| tableau 15 : Exemple de dimensionnement d'un filtre à calcaire – calcaire de densité 1,3..... | 85 |
| tableau 16 : Exemple de dimensionnement d'un filtre à calcaire – calcaire de densité 1,8..... | 86 |

INDEX DES EQUATIONS

| | |
|--|----|
| équation 1 : Dissociation de l'hydrogénocarbonate de calcium..... | 15 |
| équation 2 : Détermination du pH d'équilibre (Langelier)..... | 16 |
| équation 3 : Indice de Langelier..... | 17 |
| équation 4 : Indice de Larson..... | 26 |
| équation 5 : Réaction d'équilibre gaz carbonique acide carbonique..... | 73 |
| équation 6 : Réactions de dissociation de l'acide carbonique..... | 73 |
| équation 7 : Evolution de H ₂ CO ₃ , HCO ₃ ⁻ et CO ₃ ²⁻ en fonction du pH..... | 74 |
| équation 8 : Equation complète de neutralité électrique..... | 75 |
| équation 9 : Equation simplifiée de neutralité électrique..... | 75 |
| équation 10 : pK..... | 76 |
| équation 11 : Constante de dissociation de l'eau Ke..... | 76 |
| équation 12 : Constantes de dissociation de l'acide carbonique K1 et K2..... | 76 |
| équation 13 : Produit de solubilité du carbonate de calcium..... | 76 |
| équation 14 : Force ionique μ..... | 77 |
| équation 15 : Correction des différentes constantes d'équilibre en fonction de la force ionique..... | 77 |
| équation 16 : Calcul du terme ε..... | 77 |
| équation 17 : Indice de Langelier..... | 78 |
| équation 18 : Constante λ..... | 81 |

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

AEAG : Agence de l'Eau Adour-Garonne

AEP : Alimentation en Eau Potable

ARS : Agence Régionale de Santé (*ex DDASS et DRASS*)

UDI : Unité de distribution

CSP : Code de la Santé Publique

EB : Eau brute

ET : Eau traitée

CM : Calcaire Marin (Neutralite)

CT : Calcaire Terrestre

pH : potentiel Hydrogène

pH_{eq} ou pH_s : pH d'équilibre

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH_{Ca} : Titre Hydrotimétrique Calcique ou dureté calcique

TH_{Mg} : Titre Hydrotimétrique Magnésien ou dureté magnésienne

μS/cm : micro-siemens par centimètre

°F : Degré Français

I - PREAMBULE

Le maërl a été depuis longtemps exploité le long des côtes bretonnes et notamment sur l'archipel des Glénan. Ce calcaire marin était couramment utilisé dans les unités de traitement d'eau potable pour reminéraliser les eaux agressives, sous l'appellation générique de neutralite. Aujourd'hui, le site des Glénan est classé Natura 2000. Compte tenu des différents enjeux écologiques et de l'arrêt des extractions bretonnes, se pose aujourd'hui la question du remplacement de ce matériau de reminéralisation dans les filières de traitement de l'eau.

C'est dans ce contexte que l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a entrepris de mener une étude sur la substitution du maërl dans les unités de traitement présentes sur son territoire. Cette étude a pour objectifs d'établir les préconisations technico-économiques à destination des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, afin de faciliter les choix de reconversion des installations de traitement concernées et de les guider lors de la construction de nouvelles installations.

Le document suivant présente les conclusions de l'étude réalisée durant l'année 2012.

II - CONTEXTE DANS LE BASSIN ADOUR-GARONNE

Les eaux agressives et faiblement minéralisées qui nécessitent une neutralisation et/ou reminéralisation sont caractéristiques des socles granitiques.

Sur le bassin Adour-Garonne, les principaux départements se trouvant sur des zones granitiques sont la Corrèze, la Haute-Vienne, le nord de la Dordogne et le nord du Lot, le Puy de Dôme, le Cantal, l'Aveyron, la Lozère, l'Ariège, les Hautes Pyrénées et les Pyrénées Atlantiques.

Lors de l'étude préalable réalisée en 2010, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG) estimait à environ 140 le nombre de stations de neutralisation sur calcaire présentes sur son territoire.

Le graphique ci-dessous montre que plus de 50% des unités de neutralisation du bassin Adour-Garonne sont situées dans le département de la Corrèze. Le Tarn, le Cantal et la Dordogne constituent les trois autres départements les plus concernés après la Corrèze (21 %). Les Hautes-Pyrénées, l'Ariège, l'Aveyron, le Lot et la Haute-Vienne sont au même niveau et représentent 16 % des unités.

La plupart des autres départements du bassin ne possèdent que quelques stations isolées.

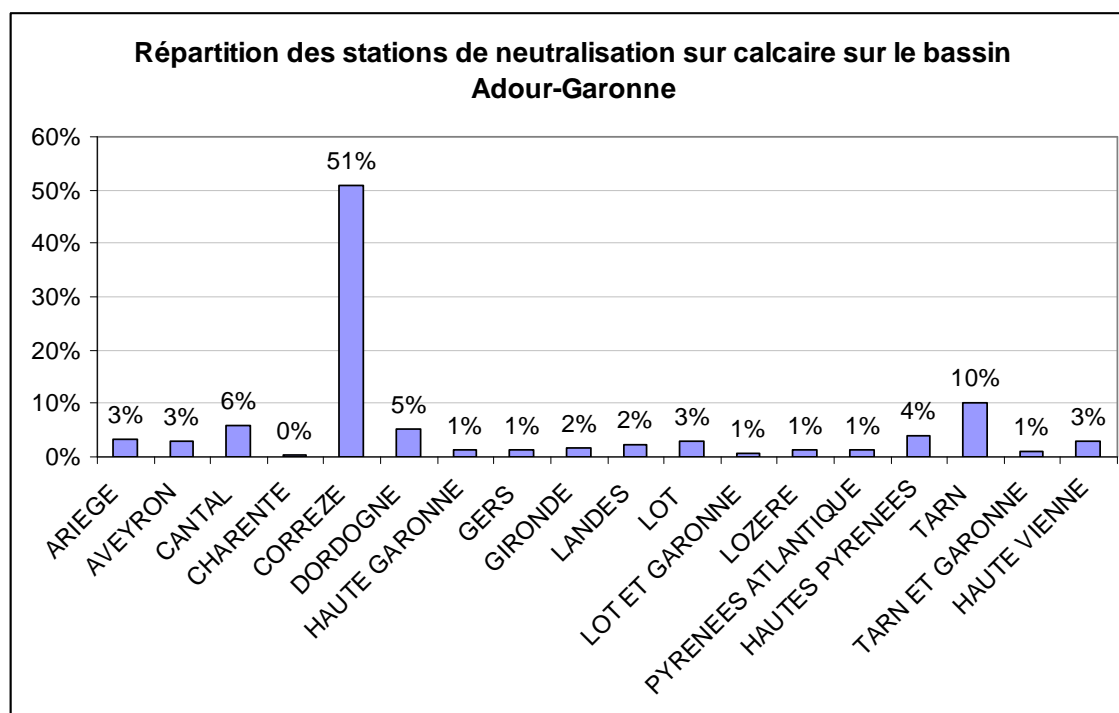


Figure 1 : Répartition géographique des installations de neutralisation sur calcaire du bassin

Des statistiques plus poussées basées sur un échantillon de 59 stations (données année 2010) utilisant un traitement par filtration calcaire ont conclu que :

- ▶ Les installations de reminéralisation sont principalement exploitées en régie (dans plus de 76 % des cas).
- ▶ Le parc d'installations de reminéralisation d'Adour-Garonne se caractérise par plus de 57% d'unités de traitement ayant moins de 10 ans (hors ancien bac à marbre).
- ▶ Plus de 86 % des stations sont alimentées par des eaux de source ou de forage, voire par un mélange des deux. Moins de 12 % des installations de reminéralisation du bassin traitent une eau de surface.
- ▶ Plus de 64 % des stations de reminéralisation du bassin Adour-Garonne sont de « petites » voire « très petites » installations dont le débit nominal est inférieur à 50 m³/h.
- ▶ 64 % des stations du bassin alimentent moins de 1000 abonnés sur leur unité de distribution.
- ▶ 30,5 % des stations de reminéralisation du bassin sont équipées de filtres dont la capacité de traitement est inférieure à 10 m³/h/filtre.

Au niveau de la conception des filtres de neutralisation / reminéralisation :

- ▶ Près de 85 % des stations du bassin ne sont équipées que de 1 à 2 filtres de reminéralisation.
- ▶ Plus de 76 % des stations sont équipées de filtres ouverts.
- ▶ 27 % des filtres ouverts n'ont pas de plancher et sont exclusivement présents sur le département de la Corrèze.
- ▶ D'après les informations des maitres d'ouvrage, 23 % des installations de reminéralisation du bassin ont un temps de contact inférieur à 30 minutes. Cela dit, pour plus de 52 % des stations étudiées, les filtres de reminéralisation semblent être largement dimensionnés car les temps de contact sont supérieurs à 30 minutes, voire à 1h dans plus de 25 % des cas.
- ▶ Près de 80 % des exploitants des stations de reminéralisation étudiées pratiquent des rechargements manuels des filtres.
- ▶ Pour les 59 stations étudiées, la consommation annuelle totale de Neutralite s'élève à près de 630 tonnes. A noter que 66 % des unités de reminéralisation du bassin présentent une consommation annuelle de Neutralite inférieure ou égale à 10 tonnes.
- ▶ Sur les 59 stations étudiées, seules 9 sont équipées d'un système d'injection de CO₂.

En ce qui concerne le lavage des filtres :

- ▶ La répartition est quasiment équitable entre les stations pratiquant des lavages à l'eau brute (41%) ou à l'eau traitée (52%).
- ▶ Près de 56 % des exploitants pratiquent des lavages par injection d'un mélange « air – eau » ; 39% réalise un lavage à l'eau uniquement ; 2 exploitants interrogés sur les 59 ne réalisent aucun lavage.
- ▶ 70 % des stations rejettent directement leurs eaux de lavage au milieu naturel.

Autres informations sur les installations du bassin Adour-Garonne :

- ▶ 95 % des stations du parc d'Adour-Garonne possèdent une alimentation électrique.
- ▶ 91.5 % sont facilement accessibles en véhicule léger tout au long de l'année.
- ▶ Plus de 80 % des stations étudiées sont équipées de grilles de ventilation.
- ▶ Près de 80 % des stations du bassin disposent d'une ou de plusieurs bâches de stockage à proximité du filtre.
- ▶ L'espace disponible à l'extérieur des installations ne semble pas être un facteur limitant dans les possibilités de reconversion mais l'espace intérieur est souvent très limité, voire inexistant.

Une recherche d'informations complémentaires sur la qualité des eaux a été menée sur les stations du département de la Corrèze, département le plus représentatif de la problématique de neutralisation / reminéralisation des eaux.

Ces données fournies par l'ars 19 ont permis de déterminer que :

- ▶ Plus de 71 % des eaux brutes présentent un ph compris entre 5,5 et 6,5.
- ▶ 71 % des eaux brutes des installations du parc corrézien présentent une conductivité à 25 °C inférieure à 100 µs/cm.
- ▶ Près de 50 % des eaux brutes présentent un TH inférieur à 2°F et ce taux s'élève à près de 80 % si nous considérons un TH inférieur à 5°F.
- ▶ Les eaux brutes étudiées présentent à près de 48 % un TAC nul. Ce taux passe à 76 % dès que nous considérons un TAC inférieur à 3°F.
- ▶ 57 % des installations ont un taux de CO₂ libre dans l'eau brute < 50 mg/L et 18% un taux < 30 mg/l.

L'étude préalable menée par l'Agence de l'Eau en 2010 a permis de mettre en évidence qu'outre le caractère agressif et peu minéralisé des eaux brutes, le fonctionnement actuel des installations étudiées ne permet pas, dans plus de 70 % des cas, de satisfaire la réglementation relative au paramètre relatif à l'équilibre calco-carbonique. Une autre caractéristique notable est la faible capacité de production des installations concernées par cette problématique, car 64 % d'entre elles se révèlent d'une capacité de production de moins de 50 m³/h.

A noter que les résultats de cette étude sont basés sur un échantillon de stations représentatives de la moitié du nombre total d'installations de neutralisation et/ou reminéralisation présentes sur le bassin Adour-Garonne. Ces informations sont toutefois cohérentes avec les observations de terrain et les problématiques générales rencontrées sur l'ensemble du bassin Adour-Garonne.

III - RAPPELS REGLEMENTAIRES ET GENERAUX

III.1. PREAMBULE

L'objectif premier de la distribution de l'eau doit être de fournir en permanence à la population une eau en quantité suffisante et de qualité sanitaire compatible avec les usages (boisson, préparation des aliments, soins corporels, lavage du linge ou de la vaisselle...) et de qualité organoleptique acceptable par les consommateurs.

Les principaux risques sanitaires susceptibles d'être engendrés par l'utilisation de l'eau du robinet sont :

- les risques microbiologiques dont les effets néfastes pour la santé peuvent apparaître à court terme,
- les risques chimiques dont les effets néfastes peuvent apparaître à moyen ou long terme, liés à la présence de substances toxiques.

Ces substances toxiques, ainsi que les paramètres pouvant être à l'origine de désagréments organoleptiques, pris en compte dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique, peuvent avoir plusieurs origines : contamination de la ressource, traitement de potabilisation ou dégradation lors du transport de l'eau dans le réseau public de distribution ou dans les réseaux privés intérieurs.

Au-delà de ces aspects sanitaires, les eaux introduites dans les réseaux, quelle que soit leur origine (eaux traitées ou non, provenant de sources, de puits, ou eaux de surface), ont une composition qui résulte de leur parcours naturel (contact avec l'atmosphère, ruissellement sur le sol, infiltration au travers des couches superficielles du sol et des divers horizons géologiques...) et des traitements appliqués pour leur potabilisation. Elles contiennent donc, à l'état dissous ou particulaire, de nombreux éléments (molécules minérales ou organiques, ions minéraux ou organiques, micro-organismes, et quelquefois matières en suspension) pouvant conduire à des réactions au contact des conduites, des réservoirs ou des appareils constituant le système de distribution et/ou des produits désinfectants utilisés pour maintenir la qualité de l'eau au cours de sa distribution.

Les éléments constituant le réseau peuvent être de différente nature :

- matériaux à base de ciment : conduites en béton armé, conduites en amiant-ciment, ou conduites en métaux ferreux (fonte ou acier) revêtues de ciment,
- métaux ferreux pour les parties de conduites en fonte ou en acier non revêtues ou pour les conduites ciment dont le revêtement intérieur s'est détérioré,
- métaux non ferreux, tels que les branchements en plomb ou les canalisations en cuivre,
- matériaux organiques constituant les revêtements intérieurs des conduites en métaux ferreux (ex : résines époxy), ou conduites en matière plastique (PVC, PET,...).

Les matériaux organiques utilisés à l'heure actuelle sont relativement inertes vis-à-vis de l'eau distribuée.

Par contre, les matériaux à base de ciment ou de matériaux ferreux ou non ferreux sont susceptibles, selon la composition de l'eau, d'être dégradés par les eaux transportées, conduisant à une détérioration du patrimoine et quelquefois à une altération de la qualité organoleptique ou physico-chimique de l'eau : dissolution de plomb, de cuivre, de nickel, eaux colorées par du fer dissous ou particulaire...

La notion fondamentale permettant de comprendre les équilibres chimiques qui s'établissent à l'interface eau-conduites, déterminant les phénomènes d'incrustation ou d'agressivité de l'eau vis-à-vis des matériaux est « l'équilibre calco-carbonique ».

Une attention particulière sera ensuite accordée aux traitements correctifs qui peuvent être appliqués pour remettre les eaux à l'équilibre calco-carbonique. Cette notion d'équilibre calco-carbonique doit s'étudier en parallèle de la corrosivité de l'eau. Le couple [équilibre calco-carbonique – corrosivité] est indissociable.

III.2. RAPPELS CONCERNANT LA REGLEMENTATION DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE

III.2.1. Cadre réglementaire

La qualité de l'eau potable mise en distribution et délivrée au robinet des consommateurs est régie en France par le Code de la Santé Publique, et plus particulièrement au travers de ses articles R1321-1 à 1321-63 pour la partie réglementaire.

Cette réglementation est issue de la directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, transposée en droit français par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001, puis codifiée dans le code de la santé publique par décret en 2003 (avec abrogation du décret 2001-1220).

Des modifications ont ensuite été apportées au Code de la santé publique le 11 janvier 2007 par le décret n°2007-49 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine et ses deux arrêtés d'application :

- le premier arrêté du 11/01/2007 fixe **les limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine**. L'annexe I de cet arrêté donne les valeurs des paramètres microbiologiques, chimiques et radiologiques des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Les annexes II et III fixent des limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.
- le deuxième arrêté du 11/01/2007, relatif au **programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire**, a défini les types et fréquences d'analyses réglementaires au niveau de la ressource, au point de mise en distribution et au robinet de l'utilisateur. Cet arrêté a ensuite été modifié et ses annexes remplacées par un nouvel arrêté du 21 janvier 2010 qui s'impose.

III.2.2. Les obligations du distributeur d'eau

La personne publique ou privée responsable de la production ou de la distribution de l'eau (PPRDE) doit surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

La personne publique ou privée responsable de la production ou de la distribution de l'eau (PPRDE) est **responsable de la qualité de l'eau délivrée au robinet des consommateurs**.

III.2.3. Limites et références de qualité

► **Les limites de qualité** des eaux destinées à la consommation humaine concernent les paramètres ayant un effet toxique pour l'homme.

► **Les références de qualité** des eaux destinées à la consommation humaine portent sur des paramètres microbiologiques, chimiques et radiologiques à des fins de suivi de l'efficacité des installations de traitement, **et** de maintien de la qualité de l'eau distribuée dans le réseau de distribution publique jusqu'au robinet du consommateur.

III.2.4. Contrôle sanitaire – autosurveillance

► **Le contrôle sanitaire** est du ressort de l'Etat (articles R 1321-15 à R 1321-18 du CSP) qui s'assure que la qualité de l'eau est fiable et maîtrisée.

► **L'autosurveillance** est du ressort de la PPRDE (article R 1321-23 du CSP) et permet de connaître en permanence la qualité de l'eau et de pouvoir la maîtriser. La PPRDE définit :

- le choix des paramètres à suivre,
- la fréquence de suivi fonction des dangers identifiés et de leur occurrence,

L'autosurveillance doit être adaptée au cas par cas.

La personne responsable de la production ou de la distribution de l'eau doit surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, et ce, indépendamment du programme d'analyses du contrôle sanitaire.

Ces rappels font l'objet d'un développement détaillé dans l'annexe II.

III.3. L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE

III.3.1. Introduction

La notion fondamentale permettant de comprendre les équilibres chimiques qui s'établissent à l'interface eau-conduites, déterminant les phénomènes d'incrustation ou, au contraire d'agressivité de l'eau, est « l'équilibre calco-carbonique ».

► **L'agressivité d'une eau est sa capacité à dissoudre du carbonate de calcium.**

Au contraire des eaux agressives, les eaux entartrantes auront une capacité à précipiter du carbonate de calcium.

► **La corrosivité d'une eau est sa capacité à dissoudre les métaux** constitutifs des réseaux (fer de la fonte et de l'acier, cuivre, plomb, zinc de l'acier galvanisé...).

Toute eau agressive a une tendance à être corrosive. Néanmoins, certaines eaux peuvent également être corrosives, tout en étant à l'équilibre calco-carbonique. La corrosivité de l'eau est déterminée à partir de l'indice de Larson (cf. annexe VI).

► **La conductivité représente l'aptitude d'une eau à permettre le passage du courant électrique.** La conductivité, inverse de la résistivité, est proportionnelle à la concentration en minéraux dissous ionisés.

III.3.2. Les exigences réglementaires

Conformément aux dispositions de l'article R 1321-44 du Code de la santé publique, la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau est tenue de prendre toute mesure technique appropriée, pour modifier la nature ou la propriété des eaux avant qu'elles ne soient fournies, afin de réduire le risque de non respect des limites de qualité, après la fourniture.

Conformément aux dispositions du Code de la santé publique, les eaux doivent être à l'équilibre calco-carbonique, voire légèrement incrustantes.

Les phénomènes d'agressivité ou d'entartrage dépendent principalement de 5 facteurs, tous liés par l'équilibre calco-carbonique :

- l'anhydride carbonique libre (CO_2),
- l'alcalinité (principalement les hydrogénocarbonates pour des eaux naturelles),
- la dureté calcique,
- la température,
- le pH.

Pour la corrosivité de l'eau vis-à-vis des métaux, deux valeurs de référence de qualité ont été données pour la conductivité : elles doivent être comprises entre 180 et 1 000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à 20°C ou entre 200 et 1 100 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à 25°C.

III.3.3. Aspects théoriques et pratiques de l'équilibre calco-carbonique

Toutes les études de l'équilibre calco-carbonique reposent sur :

- l'égalité des charges électriques positives et négatives,
- la dissociation de l'eau,
- la dissociation de l'acide carbonique (H_2CO_3),
- le produit de solubilité du carbonate de calcium (CaCO_3).

Les eaux naturelles contiennent des éléments dissous, dont le plus fréquent est l'hydrogénocarbonate de calcium ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), également appelé bicarbonate de calcium. Son équilibre avec le dioxyde de carbone est déterminé au moyen de relations complexes et ses variations peuvent engendrer des réactions chimiques :

- de dissolution de carbonate de calcium (CaCO_3) (ou agressivité) ;
- ou de précipitation de carbonate de calcium (CaCO_3) (ou entartrage).

Ces réactions sont « indépendantes » des réactions électrochimiques de corrosion des métaux.

L'hydrogénocarbonate de calcium existe à l'état instable dans l'eau et tend naturellement à une précipitation du carbonate de calcium et une libération d'acide carbonique suivant la réaction définie par l'équation 1.



équation 1 : Dissociation de l'hydrogénocarbonate de calcium

Pour que l'hydrogénocarbonate de calcium reste dissous dans l'eau, il est nécessaire qu'une quantité de CO_2 libre soit présente. Cette fraction de CO_2 libre est appelée CO_2 équilibrant. Une eau naturelle peut toutefois contenir du CO_2 libre en quantité supérieure à celle du maintien de l'hydrogénocarbonate de calcium en solution. Cet excédent est appelé CO_2 agressif.

Lorsque l'hydrogénocarbonate se dissocie, on peut considérer qu'il existe deux types de CO_2 :

- le CO_2 qui est lié à la chaux et précipite sous forme de carbonate de calcium ($\text{CaCO}_3 = \text{CaO}, \text{CO}_2$), également appelé CO_2 combiné,
- le CO_2 qui est lié à l'eau et qui apparaît sous la forme H_2CO_3 ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), également appelé CO_2 semi-combiné.

La répartition du CO_2 total contenu dans une eau est donnée dans la figure 2.

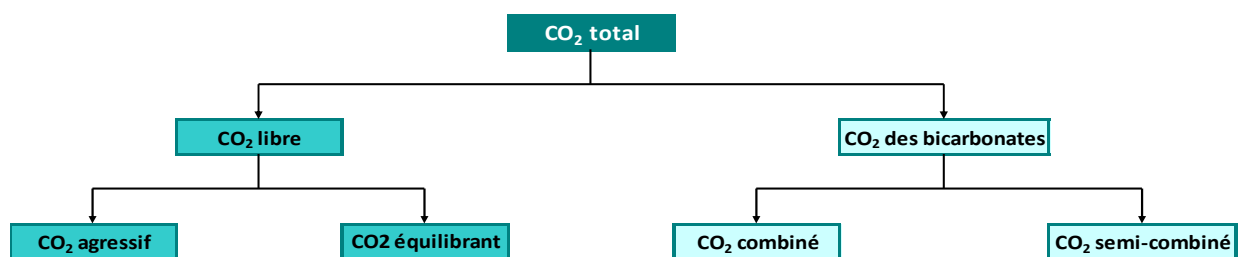


figure 2 : Répartition du CO_2 total dans l'eau

Comme le montre l'ensemble du paragraphe ci-dessus, **la notion d'équilibre calco-carbonique est intimement liée au CO_2 présent dans l'eau brute à traiter**. C'est la concentration en CO_2 total de l'eau à traiter qui servira de base à la définition de la filière de traitement à mettre en œuvre.

La réaction de **neutralisation** par le calcaire consiste à « **neutraliser** » le **CO_2 agressif présent dans l'eau brute** pour le transformer en hydrogénocarbonate de calcium et ainsi **augmenter la conductivité de l'eau traitée**.

Lorsque la **concentration en CO_2 de l'eau brute est insuffisante**, il est nécessaire de procéder à une **reminéralisation par injection de CO_2 dans l'eau brute** avant de procéder à l'étape de neutralisation par le calcaire.

L'essentiel...

Les trois notions fondamentales :

L'agressivité d'une eau est sa capacité à dissoudre du carbonate de calcium.

La corrosivité d'une eau est sa capacité à dissoudre les métaux constitutifs des réseaux (fer de la fonte et de l'acier, cuivre, plomb, zinc de l'acier galvanisé...).

La conductivité représente l'aptitude d'une eau à permettre le passage du courant électrique. La conductivité, inverse de la résistivité, est proportionnelle à la concentration en minéraux dissous ionisés.

III.3.4. Equilibre calco-carbonique et pH d'équilibre

Langelier a défini le pH d'équilibre d'une eau ou pH_s à partir de quatre éléments :

- la concentration en calcium,
- la concentration totale en alcalinité,
- la salinité totale au travers des constantes K'_2 et K'_s (voir annexe IV),
- la température au travers des constantes K'_2 et K'_s (voir annexe IV).

A partir des équations définies en annexe IV, le pH_s est calculé à partir de l'équation 2, les concentrations étant exprimées en mol.L^{-1} .

$$pH_s = pK'_2 - pK'_s - \log[Ca^{2+}] - \log[HCO_3^-]$$

équation 2 : Détermination du pH d'équilibre (Langelier)

Il faut que le pH de l'eau soit égal à son pH d'équilibre (pH_s) pour que l'eau ne réagisse pas avec le carbonate de calcium et par conséquent qu'elle ne dégrade pas les parois des citernes, réservoirs ou canalisations. Le pH_s correspond au pH d'équilibre de l'eau considérée pour des teneurs identiques en hydrogencarbonates et en calcium.

- **Si le pH est inférieur au pH_s** , l'eau a tendance à dissoudre le carbonate de calcium et à attaquer le béton, le ciment, les canalisations. Il y a dans ce cas impossibilité de former la couche carbonatée protectrice sur les canalisations métalliques, dite couche de Tillmans, du fait de la redissolution du carbonate de calcium au fur et à mesure de sa précipitation. Une telle eau est dite **agressive**. La valeur trop basse du pH est due à un excès de gaz carbonique (CO_2) que l'on appelle CO_2 agressif.
- **Si le pH est supérieur au pH_s** , l'eau a tendance à précipiter le carbonate de calcium. Elle est dite **incrustante**.

Nota : le pH d'équilibre ne signifie pas un pH neutre (voisin de 7,0).

III.3.5. Détermination de l'agressivité ou du caractère incrustant par le calcul

La circulaire DGS/SD7A/2007/39 du 23 janvier 2007 définit 5 classes d'eau précisées dans le tableau 1.

| Cas | | Caractéristique de l'eau |
|-------------------------|------------------------------------|---|
| 1 ^{ère} classe | eau à l'équilibre calco-carbonique | $-0,2 \leq \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} \leq 0,2$ |
| 2 ^{ème} classe | eau légèrement agressive | $0,2 < \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} \leq 0,3$ |
| 3 ^{ème} classe | eau agressive | $0,3 < \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}}$ |
| 4 ^{ème} classe | eau légèrement incrustante | $-0,3 \leq \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} < -0,2$ |
| 5 ^{ème} classe | eau incrustante | $\text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} < -0,3$ |

tableau 1 : Classes d'eau pour la définition de l'équilibre calco-carbonique

Il est considéré que la référence de qualité est satisfaite lorsque :

- $-0,2 \leq \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} \leq 0,2$ (eau à l'équilibre calco-carbonique),
- $-0,3 \leq \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} < -0,2$ (eau légèrement incrustante).

avec $\text{pH}_{\text{in situ}}$, le pH mesuré *in situ* (sur site) et pH_{eq} , le pH d'équilibre.

Le pH_{eq} représente le pH d'équilibre (c'est également la même valeur que le pH_s).

Pour la classification d'une eau, c'est la méthode de la DGS (Direction Générale de la Santé) qui doit être privilégiée. Il existe toutefois d'autres méthodes pour déterminer l'agressivité ou le caractère incrustant d'une eau.

⇒ **Méthode de Langelier**

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité est la méthode de Langelier. Langelier a établi un indice I_s , appelé indice de saturation ou indice de Langelier, égal à la différence entre le pH mesuré sur site de l'eau considérée et son pH_s calculé (équation 3).

$$I_s = \text{pH} - \text{pH}_s$$

équation 3 : Indice de Langelier

(Cette méthode est complétée en annexe V).

⇒ **Méthode de Hallopeau et Dubin**

Cette méthode permet de déterminer graphiquement l'agressivité d'une eau vis-à-vis du carbonate de calcium (cf. annexe V).

Cette méthode permet également de déterminer graphiquement les quantités de réactifs de neutralisation à mettre en œuvre à l'aide des courbes figurant sur le graphique.

⇒ Diagrammes de Legrand, Poirier et Leroy

Le logiciel LPLWIN (payant), le plus performant, développé sur ces bases, permet d'effectuer :

- la détermination du caractère agressif ou entartrant d'une eau, suivant la classification de la DGS (à partir de la version 5.13),
- des simulations de traitement.

D'autres logiciels libres sont disponibles sur internet. (Cette méthode est détaillée en annexe V).

III.3.6. Couche de Tillmans

En présence d'oxygène, à un pH de 7 à 8,5, lorsque les eaux sont suffisamment bicarbonatées calciques, il se produit un processus de cristallisation de carbonates de calcium et de fer, et d'hydroxydes de fer, qui forme une couche protectrice naturelle. Cette couche protectrice est encore appelée couche de Tillmans.

Dans la pratique, la formation de ce film nécessite que les conditions suivantes soient réunies :

- l'eau est à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement incrustante (le pH de l'eau doit être supérieur ou égal au pH_s)
- la concentration en oxygène dissous est supérieure à 5 mg O₂.L⁻¹
- le TH calcique et le TAC doivent être supérieurs à 8 °F.

L'essentiel...

Si le pH est inférieur au pH_s, l'eau a tendance à dissoudre le carbonate de calcium et à attaquer le béton, le ciment, les canalisations. Il y a dans ce cas impossibilité de former la couche carbonatée protectrice sur les canalisations métalliques, dite couche de Tillmans, du fait de la redissolution du carbonate de calcium au fur et à mesure de sa précipitation. Une telle eau est dite **agressive**. La valeur trop basse du pH est due à un excès de gaz carbonique (CO₂) que l'on appelle CO₂ agressif.

Si le pH est supérieur au pH_s, l'eau a tendance à précipiter le carbonate de calcium. Elle est dite **incrustante**.

La formation de la couche protectrice des canalisations nécessite que les conditions suivantes soient réunies :

- l'eau est à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement incrustante (le pH de l'eau doit être supérieur ou égal au pH_s)
- la concentration en oxygène dissous est supérieure à 5 mg O₂.L⁻¹
- le TH calcique et le TAC doivent être supérieurs à 8 °F.

Le pH d'équilibre (pH_s ou pH_{eq}) ne peut être déterminé que par le calcul ou par la méthode graphique de Hallopeau et Dubin.

III.3.7. Facteurs influant sur le caractère agressif ou entartrant

La température, le pH, l'alcalinité et la dureté de l'eau ont une influence sur le caractère agressif ou entartrant et la corrosivité.

⇒ **Température**

La température optimale pour se désaltérer se situe entre 12 et 15 °C. L'élévation de la température de quelques degrés dans le réseau de distribution (réservoir / réseau intérieur) a pour conséquences une légère augmentation du caractère entartrant et de la corrosivité, et une réduction de l'agressivité.

⇒ **pH**

Les principaux objectifs de la correction du pH sont la maîtrise des phénomènes :

- de corrosion ou de dissolution des métaux,
- d'incrustation ou de formation de dépôts à l'intérieur des canalisations.

Ces phénomènes résultent des relations complexes entre le pH, le gaz carbonique, la dureté, l'alcalinité et la température.

Des pH acides peuvent provoquer des corrosions des tuyauteries métalliques, pouvant conduire à une augmentation de la concentration de certaines substances toxiques, comme le plomb.

Des pH supérieurs à 8 entraînent une diminution de l'efficacité de la désinfection par le chlore, car ce dernier se trouve alors sous une forme beaucoup moins désinfectante (ion hypochlorite ClO^-). Un pH élevé peut conduire à la formation de dépôts incrustants dans les canalisations.

Une augmentation du pH favorise l'entartrage.

⇒ **Alcalinité, dureté**

Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la somme des ions hydroxyles OH^- , des carbonates CO_3^{2-} , des bicarbonates HCO_3^- , et dans une très faible mesure des ions phosphates PO_4^{3-} et silicates HSiO_3^- . Dans le cas des eaux naturelles, le TAC est le plus souvent représenté par les hydrogénocarbonates (voir l'annexe VII Compréhension de la composition eaux naturelles).

L'alcalinité peut être augmentée par des apports de réactifs lors des traitements de potabilisation.

L'alcalinité peut être déterminée au moyen du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC). La connaissance des ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau, car elles dépendent de l'équilibre calco-carbonique. Le TA mesure les concentrations en ions OH^- et CO_3^{2-} . Le TAC mesure la concentration des ions, OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , HSiO_3^- , ...

Généralement, l'eau doit permettre de favoriser la formation d'une couche de protection sur la surface des canalisations, et ainsi éviter les risques de corrosion. En présence d'une eau

agressive, les canalisations sont dépourvues de cette couche protectrice et la corrosion est facilitée. Ceci peut s'accompagner de la formation de dépôts et/ou de la dissolution de métaux, tels que le plomb, le cuivre, le nickel ou le zinc.

Dureté

La dureté d'une eau correspond à la somme des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} . Elle s'exprime au moyen du titre hydrotimétrique (TH). On distingue /

- le TH total, qui représente la somme des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} ,
- le TH calcique (THCa) qui représente la teneur en ions calcium Ca^{2+} ,
- le TH magnésien (THMg) qui représente la teneur en ions Mg^{2+} .

Dans la majorité des eaux rencontrées, le TH magnésien est faible. En présence de TH magnésien supérieur à 10% du TH, la valeur de TH à prendre en compte est la valeur du TH calcique. La dureté carbonatée représente la somme des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} associés aux bicarbonates et carbonates. Elle est égale au TAC, si le TH est supérieur au TAC. Elle est égale au TH, si le TH est inférieur au TAC.

La dureté non carbonatée ou dureté permanente représente la somme des ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} associés aux chlorures et aux sulfates. Elle est égale à la différence entre le TH total et la dureté carbonatée.

Lorsque la dureté naturelle de l'eau est excessive, un entartrage important des canalisations peut survenir, principalement pour les réservoirs de stockage et les circuits d'eau chaude. Le tableau suivant permet de caractériser la dureté d'une eau en fonction de son TH.

| Valeur de TH | Dureté |
|--------------------|-------------------|
| TH < 8 °F | Eaux douces |
| 8 ≤ TH ≤ 15 °F | Dureté faible |
| 15 °F < TH ≤ 30 °F | Dureté moyenne |
| 30 °F < TH ≤ 40 °F | Dureté forte |
| TH > 40 °F | Dureté très forte |

tableau 2 : Echelle de dureté de l'eau

III.4. LES TRAITEMENTS CORRECTIFS

III.4.1. La lutte contre l'agressivité

L'agressivité peut avoir les conséquences suivantes :

- disparition de la couche de protection en ciment des canalisations en fonte,
- amincissement des canalisations en ciment mettant en péril la résistance mécanique de ces équipements. L'agressivité peut conduire à des fuites.

Pour atteindre l'objectif de distribution d'une eau non agressive voire légèrement entartrante au point de mise en distribution, la personne responsable de la production ou de la distribution sera amenée à envisager la mise en œuvre d'actions correctives, en fonction des caractéristiques des eaux.

Pour les eaux faiblement minéralisées, la circulaire 98/225 du 8 avril 1998 indique les produits et procédés de neutralisation et/ou reminéralisation recommandés. L'objectif est d'amener l'eau à l'équilibre calco-carbonique et obtenir un TH et un TAC de l'ordre de 8° F (avec un rapport TH/TAC voisin de 1) sans augmenter simultanément la teneur en sodium, chlorures ou sulfates de l'eau.

La circulaire du 25 novembre 2004 relative aux mesures correctives à mettre en œuvre pour réduire la dissolution du plomb considère 3 classes d'eau :

- eaux faiblement minéralisées ou douces (TH < 8° F et/ou TAC < 8° F).
- eaux moyennement minéralisées (8° F < TAC < 30° F et 8° F < TH < 0°F).
- eaux fortement minéralisées ou dures (TH > 30° F et/ou TAC > 30° F)

Dans la suite, nous ne nous intéresserons qu'au cas des eaux faiblement minéralisées.

Pour ces eaux faiblement minéralisées ou douces (définies par TH < 8° F et/ou TAC < 8° F), le logigramme de la **figure 3** est à respecter, l'objectif principal est la mise à l'équilibre calco-carbonique de ces eaux.

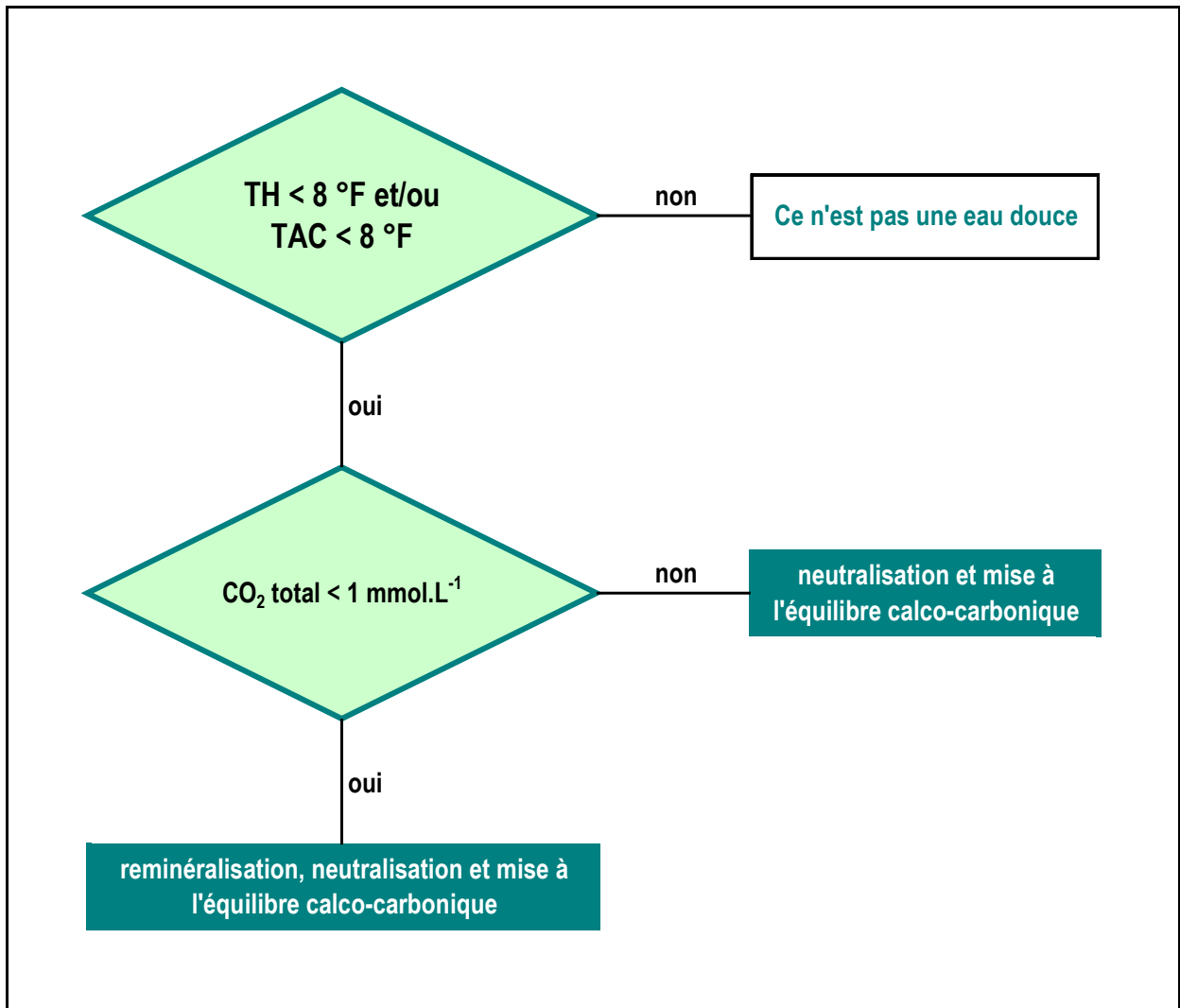


Figure 3 : Logigramme décisionnel pour les eaux faiblement minéralisées ou douces

III.4.2. Neutralisation et reminéralisation

D'une manière générale, nous considérerons que :

- la **neutralisation avec mise à l'équilibre calco-carbonique** peut s'appliquer pour des eaux dont la concentration en CO₂ total est supérieure à 1 mmol/L (44 mg/L).
- la **reminéralisation et la neutralisation avec mise à l'équilibre calco-carbonique** peuvent s'appliquer pour des eaux dont la concentration en CO₂ total est inférieur à 1 mmol/L (44 mg/L).

| | CO ₂ total < 44 mg/L | CO ₂ total > 44 mg/L |
|----------------------------------|---|--|
| Traitement complémentaire | Reminéralisation partielle par ajout de CO ₂ | Reminéralisation partielle par ajout de CO ₂ * ou dégazage * |
| Traitement principal | Neutralisation par filtration sur calcaire | Neutralisation par filtration sur calcaire |
| Affinage | Atteinte de l'équilibre calco-carbonique | Atteinte de l'équilibre calco-carbonique |

- * Au cas par cas, en fonction de la qualité de l'eau brute et de la qualité de l'eau traitée choisie.

⇒ Traitement complémentaire

Reminéralisation partielle par dégazage

La reminéralisation partielle par dégazage consiste à provoquer l'entraînement de gaz dissous dans l'eau, au moyen d'un courant d'air traversant le liquide à contre-courant. Cette solution permet de réduire la quantité de gaz carbonique dissous dans l'eau.

Cette solution ne permet généralement pas seule d'obtenir la mise à l'équilibre calco-carbonique. Elle s'accompagne donc souvent d'une neutralisation pour les eaux douces. Elle nécessite alors la mise en place d'une dérivation sur une partie de l'eau brute pour permettre de garantir une concentration en gaz carbonique la plus constante possible en amont de la neutralisation.

Cette solution nécessite une rupture de charge dans le système de production distribution. Elle est à éviter pour les eaux dures.

Reminéralisation par adjonction de gaz carbonique et de chaux ou de carbonate de calcium

Lorsque l'eau est douce et que la concentration en CO₂ libre est inférieure à 1mmol.L⁻¹ (44 mg.L⁻¹), il y a nécessité de reminéraliser l'eau, puis d'effectuer une neutralisation pour arriver à l'équilibre calco-carbonique.

La solution retenue sera :

- dans le cas des petites installations, adjonction de gaz carbonique et filtration sur carbonate de calcium,
- dans le cas des installations de grande capacité, adjonction de gaz carbonique et de chaux.

Dans le cas des installations de faible capacité, généralement alimentées par des ressources souterraines ne présentant pas d'autres paramètres à traiter, le traitement s'effectue par adjonction de gaz carbonique puis neutralisation sur carbonate de calcium. La dose de gaz carbonique injectée dépend de la concentration en CO₂ agressif initial et de la qualité d'eau finale visée. Un traitement d'affinage s'avère souvent nécessaire pour atteindre l'équilibre calco-carbonique.

Dans les cas des installations alimentées par des ressources de surface et nécessitant la mise en œuvre d'autres étapes de traitement, il est procédé à une reminéralisation en tête d'installation par adjonction de gaz carbonique et de lait de chaux, puis à une neutralisation finale à l'eau de chaux. La dose de chaux injectée dépend de la concentration en CO₂ agressif initial, des réactifs de traitement utilisés dans les autres étapes et de la qualité d'eau finale visée.

⇒ Traitement principal

Neutralisation au carbonate de calcium

La neutralisation au carbonate de calcium (calcaire) consiste à mettre en contact l'eau à traiter avec le matériau neutralisant.

Elle peut s'effectuer soit dans des filtres ouverts (béton/métalliques) ou fermés (métalliques). La neutralisation s'effectue simplement par mise en contact entre l'eau à traiter et le matériau neutralisant pendant une durée suffisante à la mise en œuvre de la réaction. Ce temps de contact dépend de la température de l'eau, du pH, de la concentration en CO₂ agressif et du matériau neutralisant.

Le matériau neutralisant est consommé au fur et à mesure du temps, ce qui implique une recharge périodique du filtre.

Cette solution présente une grande souplesse d'application vis-à-vis de la variabilité de la qualité de l'eau brute, sous réserve que les amplitudes de variation soient faibles et est particulièrement bien adaptée aux petites collectivités.

Un traitement d'affinage s'avère souvent nécessaire pour atteindre l'équilibre calco-carbonique.

Neutralisation à la chaux

La neutralisation à la chaux seule s'effectue par injection d'eau de chaux. L'eau de chaux est une solution saturée de chaux dans l'eau.

Cette technique ne peut s'envisager que pour de très grosses installations, compte tenu de la nécessité de mettre en œuvre une installation de préparation d'eau de chaux (saturateur).

Cette solution nécessite généralement une rupture de charge dans le système de production distribution.

⇒ **Affinage**

Affinage à la soude ou au carbonate de sodium

L'affinage avec un composé sodique (NaOH ou Na_2CO_3) est bien adaptée pour permettre l'atteinte de l'équilibre calco-carbonique à l'aval d'une installation de neutralisation ou reminéralisation et neutralisation. Par contre, avec la soude, ce système génère des contraintes d'exploitation fortes, souvent difficilement compatibles avec l'exploitation de très petites unités.

Elle peut également s'avérer intéressante dans le cas d'eaux faiblement agressives et présentant par ailleurs une dureté moyenne.

Cette solution peut être mise en œuvre en ligne dans le système de production distribution.

L'essentiel...

... du traitement de reminéralisation et neutralisation

Le TH calcique final doit être supérieur ou égal à 8 °F

Le TAC final doit être supérieur ou égal à 8 °F

Le pH doit être voisin de 8,0.

III.4.3. Conséquences des dysfonctionnements des traitements correctifs

Les dispositifs de traitement de correction de l'agressivité ou de l'entartrage doivent être suivis avec soin et régularité. Selon la nature du traitement utilisé, le dérèglement de ces traitements correctifs peut générer des problèmes dans le réseau :

- précipitation de calcaire ou de chaux,
- alcalinisation de l'eau traitée,
- corrosion.

III.5. IMPACT DE L'EAU VIS-A-VIS DES MATERIAUX DES RESEAUX

L'importance de maîtriser l'agressivité de l'eau vis-à-vis des ouvrages du réseau vient d'être décrite dans la partie précédente. Les matériaux ferreux et non-ferreux constituant le réseau sont aussi susceptibles, selon la composition de l'eau, d'être attaqués par ces eaux et conduire à une détérioration du patrimoine et quelquefois à une dégradation de la qualité organoleptique et physico-chimique de l'eau (relargage de plomb, de cuivre, de nickel, eaux colorées par le fer dissous ou particulaire...).

III.5.1. Corrosion par érosion ou par cavitation

Il existe deux modes de dégradation dus à des effets physiques :

- **la corrosion par érosion.** Elle se produit lors du passage à grande vitesse d'eau chargée de particules solides en suspension telles que les sables. Il faut donc avoir une eau véhiculée qui contienne le minimum de sédiments et des vitesses de circulation moyennes. Il faut veiller à ne pas dépasser une vitesse de 2 m.s^{-1} dans les réseaux de distribution publique. Toutefois, même filtrée, l'eau contient toujours un minimum de matières en suspension susceptibles de se déposer dans les zones à faible vitesse de circulation. Cette décantation naturelle peut être gênante (corrosion sous dépôts). Il est donc nécessaire de maintenir une vitesse de circulation minimale de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ pour éviter ces phénomènes.
- **la corrosion par cavitation.** Elle se produit lors de modifications locales de la pression, qui entraîne une vaporisation de l'eau. Les bulles de vapeur ainsi produites créent une onde de choc arrachant le métal à proximité lorsqu'elles se recondensent. Elle peut se produire en particulier dans les pompes et amener une destruction rapide des aubes, ou lors de modifications trop brusques de section d'écoulement.

III.5.2. Corrosion et dissolution des métaux

Il existe deux modes de dégradation dus à des effets physiques :

- **la corrosion par érosion.** Elle se produit lors du passage à grande vitesse d'eau chargée de particules solides en suspension telles que les sables. Il faut donc avoir une eau véhiculée qui contienne le minimum de sédiments et des vitesses de circulation moyennes. Il faut veiller à ne pas dépasser une vitesse de 2 m.s^{-1} dans les réseaux de distribution publique. Toutefois, même filtrée, l'eau contient toujours un minimum de matières en suspension susceptibles de se déposer dans les zones à faible vitesse de circulation. Cette décantation naturelle peut être gênante (corrosion sous dépôts). Il est donc nécessaire de maintenir une vitesse de circulation minimale de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ pour éviter ces phénomènes.
- **la corrosion par cavitation.** Elle se produit lors de modifications locales de la pression, qui entraîne une vaporisation de l'eau. Les bulles de vapeur ainsi produites créent une onde de choc arrachant le métal à proximité lorsqu'elles se recondensent. Elle peut se produire en particulier dans les pompes et amener une destruction rapide des aubes, ou lors de modifications trop brusques de section d'écoulement.

III.5.3. Facteurs d'influence de la corrosion

Ces points sont développés en annexe VI.

III.5.4. Evaluation de la corrosivité d'une eau

Deux indices permettent de déterminer la corrosivité d'une eau :

- **l'indice de Larson,**

L'indice de Larson L_R est une méthode d'évaluation de la tendance à la corrosion d'une eau et peut être calculé au moyen de l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, les concentrations étant exprimées en mol.L⁻¹.

$$L_R = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

équation 4 : Indice de Larson

Le tableau 3 indique la correspondance entre la valeur de l'indice et la tendance de l'eau.

| Indice de Larson | Tendance |
|------------------|---------------------------------|
| < 0,2 | Tendance non corrosive |
| 0,2 à 0,4 | Tendance peu corrosive |
| 0,4 à 0,5 | Légère tendance à la corrosion |
| 0,5 à 1 | Tendance moyenne à la corrosion |
| > 1 | Tendance à la corrosion |

tableau 3 : Indice de Larson et tendance de l'eau

- **l'indice de Leroy.**

L'indice de Leroy est égal au rapport du TAC sur le TH. Il permet de confirmer ou non la tendance à la corrosion d'une eau. Avec des concentrations exprimées en meq.L⁻¹, l'eau est considérée comme non corrosive si l'indice est compris entre 0,7 et 1,3.

Il est à utiliser en complément de l'indice de Larson. Ils permettent, à eux deux, de préciser les tendances d'une eau.

III.5.5. Protection contre la corrosion

Ces points sont développés en annexe VI.

IV - PRESENTATION DE L'ETUDE ET DES RESULTATS

IV.1. PROTOCOLE DE L'ETUDE

IV.1.1. Phasage de l'étude

L'étude menée par l'Agence de l'Eau et réalisée par le Bureau d'étude IRH s'est portée sur les régions du bassin Adour-Garonne où la problématique de neutralisation des eaux est la plus forte, à savoir le Limousin et l'Auvergne.

La mission s'est conduite en quatre phases :

- ◆ **Etude préalable (AEAG, avril à septembre 2010) :** Etude des typologies de station de neutralisation du bassin Adour-Garonne et présélection des sites pour la réalisation d'essais et de suivis de matériaux.
- ◆ **Phase 1 (IRH, 1^{er} trimestre 2012): Complément à l'étude préalable.**
 - Sélection d'un échantillon de dix stations de traitement :
 - 5 stations fonctionnant avec du calcaire marin à reconverter : essais de matériaux de substitution.
 - 5 stations fonctionnant avec du calcaire terrestre : suivis des calcaires terrestres déjà en place
 - Sélection de quatre produits de substitution répondant aux normes NF EN 1018 ou NF EN 1017 : trois calcaires terrestres concassés et un calcaire modifié ultra-poreux.
- ◆ **Phase 2 (IRH, mars 2012) : Préparation des essais et des suivis.**
- ◆ **Phase 3 (IRH, mars à aout 2012) : Réalisation des essais et des suivis.**
 - Travaux et substitution de la neutralite (mars 2012).
 - Essais et suivis des dix stations (treize semaines entre mai et aout 2012).
- ◆ **Phase 4 (IRH-AEAG, septembre 2012) : Elaboration d'un guide technique.**
 - Interprétation des résultats.
 - Rendu final.

IV.1.2. Déroulement des tests

⇒ Choix des sites

Dix unités de traitement ont été sélectionnées pour la réalisation de tests in-situ :

- Cinq unités utilisant du maërl et reconverties au calcaire terrestre durant l'étude,
- Cinq unités fonctionnant déjà avec du calcaire terrestre.

Selon la typologie de chaque usine, un calcaire terrestre différent a été attribué pour le test. Le choix des répartitions s'est basé sur :

- Le nombre de filtres,
- Les installations de traitement complémentaires disponibles,
- Les connaissances et l'implication du personnel exploitant.

⇒ **Choix des produits**

Deux grandes familles de calcaire de substitution ont été identifiées lors de la phase 1 :

- Les carbonates de calcium conformant à la norme NF EN 1018 (appelés couramment calcaires terrestres), **concassés ou modifiés**.
- Les carbonates mixtes de calcium et de magnésium et les magnésies dolomies NF EN 1017 traités thermiquement (appelés couramment calcaires de synthèse).

Les calcaires NF EN 1017 étant des produits très réactifs demandant un suivi attentif et quotidien, il a été décidé de les écarter de l'étude car leur utilisation ne semblait pas adaptée aux conditions d'exploitation des installations de traitement retenues.

Le tableau suivant présente les différents produits identifiés lors de l'étude.

| Origine | Marine | Terrestre | | | |
|-------------------------------------|--|---|---|---|--|
| Nom usuel | Neutralite / Maërl | « Calcaires terrestres » | | « Calcaires de synthèse » | |
| Norme | NF EN 1018 | NF EN 1018 | | NF EN 1017 | |
| Composition | CaCO ₃ > 85 % MgCO ₃ < 10 % | CaCO ₃ > 80 % MgCO ₃ < 10 % | | CaCO ₃ ~70% MgO ~25% | |
| Type de produit | Calcaire marin ultra poreux | Calcaire dense concassé | Calcaire modifié ultra-poreux | Dolomie semi-calcinée | Dolomie semi-calcinée |
| Aspect | Concassé | Concassé | Billes | Concassé | Billes |
| Obtention | Extraction fond marin + concassage | Extraction carrière + concassage | Extraction carrière + traitement thermique + calibrage en bille | Extraction carrière + traitement thermique + concassage | Extraction carrière + traitement thermique + calibrage en billes |
| Réactivité | ++ | + | ++ | +++ | +++ |
| Temps de contact (fournisseur) | 20 min | 30 à 40 min | 20 min | < 20 min | < 20 min |
| Rodage (fournisseur) | non | non | oui | oui | oui |
| Exemple de produits (non exhaustif) | <i>NeutralG,</i> Neutrimar | <i>Filtracarb SB,</i> <i>Filtracarb L-SB,</i> <i>Algafiltre Ca,</i> <i>Akdolit C,</i> Juraperle | <i>Akdolit Hydro</i> <i>Calcit CG</i> | Akdolit Magno-Dol CM, Neutridol | Akdolit CMG |

tableau 4: Produits de substitution identifiés lors de l'étude

En gras : produits testés lors de l'étude

Lors de l'étude, seuls des calcaires conformant à la norme NF EN 1018 ont été testés.

Dans cette catégorie se distinguent deux types de produits :

- **Les calcaires terrestres concassés** : après extraction en carrière, le calcaire est simplement broyé mécaniquement pour obtenir la granulométrie souhaitée. C'est le cas des produits Filtracarb SB et L-SB, Algafiltre Ca., Akdolit C, etc...
- **Les calcaires terrestres modifiés ultra-poreux** : après extraction en carrière, le calcaire est traité thermiquement pour augmenter sa porosité, puis calibré en micro-billes de granulométrie souhaitée. C'est le cas de l'Akdolit Hydro Calcit CG.

Les fiches techniques de ces produits sont données en annexes VIII.

Différents matériaux ont pu être testés, dans différentes conditions d'exploitation et avec des qualités d'eau brute variables

Le tableau suivant présente les dix unités suivies durant l'étude et le matériau associé.

| ID usine étude | Maitre d'Ouvrage | Type de filtre(s) | Matériau suivi | Protocole |
|---|---|---------------------------------|---|---|
| Usines reconverties et suivies | | | | |
| ROSIERS D'EGLETONS | SIAEP Montagnac Rosiers d'Egletons (19) | 1 filtre ouvert sans plancher | Filtracarb L-SB ⁽¹⁾ | 2 phases : Avec et sans CO ₂ |
| LADIGNAC | Commune de Ladignac le Long (87) | 1 filtre ouvert avec plancher | Filtracarb L-SB ⁽¹⁾ | 1 phase |
| ST SYLVAIN | SIAEP des 2 vallées (19) | 2 filtres ouverts avec plancher | Akdolit Hydro Calcit CG ⁽²⁾ | 1 phase |
| ST MAMET | Commune de Saint Mamet la Salvetat (15) | 2 filtres fermés sous pression | Akdolit C (Hydro Karbonat) ⁽¹⁾ | 1 phase |
| MEILHARDS | Commune de Meilhards (19) | 2 filtres ouverts avec plancher | Algafiltre Ca ⁽¹⁾ | 1 phase |
| Usines déjà reconverties suivies | | | | |
| ST PARDOUX | SIAEP de Perpezac le Noir (19) | 2 filtres ouverts avec plancher | Filtracarb L-SB ⁽¹⁾ | 1 phase |
| LAVERT | SIAEP du Maumont (19) | 1 filtre ouvert sans plancher | Filtracarb SB ⁽¹⁾ | 1 phase |
| STE FEREOLE | SIAEP du Maumont (19) | 1 filtre ouvert sans plancher | Filtracarb SB ⁽¹⁾ | 1 phase |
| STE FORTUNADE | Commune de Sainte Fortunade (19) | 1 filtre ouvert avec plancher | Filtracarb L-SB ⁽¹⁾ | 1 phase |
| ST FREJOUX | Commune de Saint Fréjoux (19) | 1 filtre ouvert sans plancher | Filtracarb L-SB ⁽¹⁾ | 2 phases : temps de contact 55 et 65min |

(1) Calcaire terrestre concassé - (2) Calcaire terrestre modifié ultra-poreux

tableau 5: Liste des sites testés

Un suivi sur treize semaines de la qualité des eaux en entrée et sortie de traitement a permis de déterminer l'efficacité des produits testés. En parallèle, un bilan des conditions d'exploitation et de fonctionnement a été réalisé, sur la base des observations de terrain et du retour d'expérience des exploitants.

⇒ Protocole de reconversion

Pour chacune des cinq usines sélectionnées, le volume de calcaire optimal à mettre en place à été évalué. Ce calcul s'est appuyé sur les paramètres suivants (classés hiérarchiquement) :

- Temps de contact minimal défini par le fournisseur (fiches techniques en annexes):
 1. Filtracarb et Algafiltre = 30min

2. Akdolit Hydro Karbonat C = 40 min
 3. Akdolit Hydro Calcit = 20 min
- Consommation de calcaire entre deux recharges (durée fixée à 90 jours) calculée sur la base d'une consommation de 2,5 g de calcaire par g de CO₂ agressif présent dans l'eau brute (valeur donnée par tous les fournisseurs).
 - Hauteur de calcaire minimale de 1m dans le filtre pour garantir une bonne hydraulique.

Aucune modification des installations ou des conditions d'exploitation n'a été faite.

IV.1.3. Résultats comparatifs des produits de substitution

Nota : Les résultats détaillés du suivi qualité sont présentés dans le rapport de phase 3 de « L'Etude relative à la substitution du calcaire marin sur les stations d'eau potable équipées de filtres de reminéralisation – IRH 2012 ». Ce rapport est disponible en ligne sur le site de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Les tableaux ci-dessous récapitulent les conclusions des essais in-situ. **A noter que les conclusions sur les performances de traitement sont dépendantes des conditions de test in situ et des caractéristiques propres à chaque usine (qualité d'eau brute, type de filtre, type de lavage, exploitation, etc.).**

Les caractéristiques propres de chaque produit testé sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

| CARACTERISTIQUES | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Société | | OMYA | ALGAVI | LHOIST | LHOIST |
| Produit | Neutralite | Filtrcarb® L-SB | Algafiltre® Ca | Akdolit® C (Hydro Karbonat) | Akdolit® Hydro Calcit |
| Type | Calcaire marin | Calcaire terrestre concassé | Calcaire terrestre concassé | Calcaire terrestre concassé | Calcaire terrestre modifié |
| Conformité | NF EN 1018 | NF EN 1018 | NF EN 1018 | NF EN 1018 | NF EN 1018 |
| Granulométrie | 2 – 4 mm | 1,5 – 2,5 mm | 1,5 – 2,5 mm | 0,5 – 2 mm | 0,5 – 3,15 mm |
| Teneur minimale en CaCO ₃ | 85 % | 84 % | 98 % | 98 % | 97 % |
| Densité apparente | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,3 |
| Provenance | Bretagne / Islande | Midi-Pyrénées | Lorraine | Rhône-Alpes | Allemagne |
| Coût à la tonne (hors transport) | > 500 € | 100 à 300 € | 100 à 300 € | 100 à 300 € | > 50 € |

tableau 6: Caractéristiques des produits testés

Les produits de type calcaires terrestres concassés **Filtrcarb L-SB et Algafiltre Ca ont des caractéristiques similaires** (même granulométrie, même densité, composition proche, etc.). Le calcaire terrestre concassé **Akdolit C** a également des caractéristiques proches, mais présente une granulométrie légèrement plus faible et une **densité plus importante** que ses concurrents. Enfin, l'**Akdolit Hydro-Calcit**, bien que de composition équivalente, se démarque des autres produits par sa structure modifiée (billes) qui rend le **produit ultra-poreux**.

Ces différences entre produits rendent leurs performances sensiblement différentes, comme le montre le tableau ci-dessous basé sur l'évaluation des résultats de l'étude menée in-situ.

| PERFORMANCES | | | | | |
|--|------------|-----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------|
| Société | | OMYA | ALGAVI | LHOIST | LHOIST |
| Produit | Neutralite | Filtrcarb® L-SB | Algafiltre® Ca | Akdolit® C (Hydro Karbonat) | Akdolit® Hydro Calcit |
| Atteinte de l'équilibre calco-carbonique | Non | Non | Non | Non | Non |
| Neutralisation | ★★ | ★★ | ★★ | ★ | ★★★ |
| Reminéralisation | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★ |
| Mise en œuvre | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★ |
| Lavage | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| Conditions d'exploitations | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ |
| Note globale | 3/3 | 2,5/3 | 2,5/3 | 2/3 | 1,5/3 |

tableau 7: Evaluation des performances des produits testés

- ▶ **Le Filtrcarb L-SB et l'Algafiltre Ca**, qui sont des produits similaires, présentent des performances très comparables et difficilement différenciables, proches de celles de la neutralite.
- ▶ **L'Akdolit C** semble être un produit **un peu moins réactif** que les autres, a cause d'une densité plus importante. Ce constat est à nuancer car le produit n'a pu être testé que sur une seule installation avec une qualité d'eau brute variable.
- ▶ **L'Akdolit Hydro Calcit** présente une forte réactivité qui en fait un produit **performant sur le traitement mais plus délicat à manier** que les calcaires concassés (plus particulièrement lors de sa mise en œuvre).

Les essais ont été réalisés sur des installations en situation de fonctionnement normal, sans modifications des consignes d'exploitation pendant la durée de l'essai. Les installations ont donc continué à être exploitées comme avec la neutralite.

Le tableau ci-dessous récapitule les avantages et inconvénients constatés pour chaque produit dans les conditions de test in situ.

| | Avantages | Inconvénients |
|-------------------------------------|---|--|
| Filtracarb® L-SB | | <ul style="list-style-type: none"> • Temps de contact nécessaire supérieur à la neutralite (volume plus important). • Equipements de lavage plus performants (plus de fines). • Densité supérieure à la neutralite : résistance des planchers à contrôler. |
| Algafiltre® Ca | <ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre et exploitation similaire à la neutralite. • Performances proches de la neutralite. • Prix. | |
| Akdolit® C (Hydro Karbonat) | | <ul style="list-style-type: none"> • Temps de contact nécessaire deux fois supérieur à la neutralite (volume plus important). • Equipements de lavage plus performants (plus de fines). • Densité très supérieure à la neutralite : résistance des planchers à contrôler. |
| Akdolit® Hydro Calcit CG | <ul style="list-style-type: none"> • Temps de contact nécessaire court (volume faible). • Bonne neutralisation. | <ul style="list-style-type: none"> • Période de rodage. • Approvisionnement dépendant de la fabrication (délais parfois longs). • Equipements de lavage plus performants (plus de fines). • Prix. |

Comme vu précédemment, les performances de traitement et les conditions d'exploitation des calcaires terrestres broyés sont similaires. Les Filtracarb (SB ou LSB) et l'Algafiltre Ca ont des comportements très proches, qu'il est difficile de différencier en condition in-situ (interaction de facteurs extérieurs). L'Akdolit C présente également un fonctionnement similaire à la neutralite, mais avec une densité plus importante.

Le calcaire terrestre modifié Akdolit Hydro-Calcit apporte une réactivité intéressante mais qui demande une mise en œuvre plus suivie que celle de la neutralite.

Les conclusions de l'essai ne permettent pas d'écarter a priori un produit. Dans les conditions des essais, aucun matériau concassé ne présente d'avantage particulier par rapport aux autres.

Il est toutefois important de préciser que tous les matériaux calcaires conformes à la norme NF 1018 n'ont pas été testés. Tous les autres matériaux calcaires non testés dans cette étude et conformes à la norme NF 1018 peuvent donc être utilisés.

Les produits conformes à la norme NF 1017 pourront être utilisés sous réserve de la réalisation d'une étude pilote préalable.

Les préconisations du chapitre V - permettront de répondre à la variabilité des caractéristiques des produits disponibles sur le marché, actuellement ou à venir (dans les limites fixées).

IV.2. ADAPTATIONS NECESSAIRES DANS LE CADRE DE L'ETUDE

Le tableau suivant récapitule les préconisations des fournisseurs pour la mise en œuvre et l'exploitation des produits (voir fiches techniques en annexe VIII).

| MISE EN ŒUVRE / EXPLOITATION (données fournisseurs) | | | | | |
|---|-------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Société | | OMYA | ALGAVI | LHOIST | LHOIST |
| Produit | Neutralite | Filtracarb® L-SB | Algafiltre® Ca | Akdolit® C (Hydro Karbonat) | Akdolit® Hydro Calcit |
| Sens de filtration | Descendant | Descendant | Descendant | Descendant | Descendant |
| Temps de contact | 20 min | 30 min | 30 min | 30 à 40 min | 20 min |
| Lavage | air + eau | air + eau | air + eau | air + eau | air + eau |
| Préconisation de lavage (données fournisseurs) : | | | | | |
| <i>Décolmatage</i> | | 1min air à 75-90 m/h | 8-10min air à 30 m/h | 5 min air à 60 m/h | 5 min air à 60 m/h |
| <i>Lavage</i> | | 3 à 10 min air à 75-90 m/h eau à 12-20 m/h | 5 à 10 min air à 50 m/h eau à 20-25 m/h | 10 min air à 60 m/h eau à 8-12 m/h | 10 min air à 60 m/h eau à 8-12 m/h |
| <i>Rinçage</i> | | >5min eau à 15-20 m/h | 5-10min eau à 30 m/h | eau à 20-25m/h jusqu'à eau claire | eau à 20-25m/h jusqu'à eau claire |
| Fréquence des lavages périodiques | Tous les 15 jours | Tous les 15 jours | Tous les 15 jours | Tous les 15 jours | Tous les 15 jours |

Les paragraphes suivants résument les adaptations qui ont été effectuées lors de la reconversion des usines ou qui sont apparues nécessaires suites aux résultats des essais.

Les essais ont été réalisés sur des installations en situation de fonctionnement normal, **sans avoir été modifiées, sans modifications des consignes d'exploitation** pendant la durée de l'essai. Les installations ont donc continué à être exploitées comme avec la neutralite.

Il n'est pas apparu de différences entre les installations préalablement reconverties et celles construites en prévision de l'utilisation de calcaire terrestre. Aucune installation n'a été idéalement conçue pour l'utilisation de calcaire terrestre, au vu des résultats obtenus (principalement pour les lavages...).

IV.2.1. Volume des filtres

⇒ Calcaires terrestres concassés:

Pour un traitement sensiblement équivalent, le calcaire terrestre demande un temps de contact supérieur à la neutralite. A débit de traitement égal, cela se traduit par un volume de produit neutralisant plus important.

En théorie, la mise en place de calcaire terrestre demande donc une augmentation du volume des bacs de filtration.

Cependant, l'étude préliminaire menée par l'Agence de l'Eau sur l'ensemble du bassin Adour-Garonne et les constats de terrain ont montré que les filtres à neutralite existants suivis pendant l'étude étaient globalement largement dimensionnés. Lors de la reconversion des unités de traitement de cette étude, **aucune adaptation de la capacité des filtres (et donc aucun aménagement du génie civil) n'a été nécessaire.**

Néanmoins, pour certaines installations, il s'est quand même avéré nécessaire de mettre en œuvre des volumes de matériaux plus conséquents pour disposer d'une hauteur de matériau suffisante dans les filtres. Cette situation est indépendante de la nature du matériau utilisé. Elle nous permettait de pouvoir mesurer plus précisément la consommation de matériau dans le filtre et surtout de disposer d'une hauteur de matériau satisfaisante pour un fonctionnement hydraulique optimal.

Le suivi des installations a donc été effectué sur des installations fonctionnant à filtration ascendante ou descendante, avec ou sans plancher.

Dans les cas de l'étude, la capacité volumique des bacs de filtration n'était donc pas limitante. Toutefois, **on veillera à maintenir une hauteur de matériau filtrant suffisante pour assurer un écoulement optimal, à savoir une couche d'au minimum 1 mètre de calcaire.**

⇒ **Calcaire terrestre modifié :**

Pour un traitement équivalent, le calcaire modifié demande un temps de contact inférieur à égal à la neutralite. A débit de traitement égal cela se traduit par un volume neutralisant inférieur.

Dans les cas de l'étude, la capacité volumique des bacs de filtration n'était donc pas limitante. Toutefois, **on veillera à maintenir une hauteur de matériau filtrant suffisante pour assurer un écoulement optimal, à savoir une couche d'au minimum 1 mètre de calcaire.**

IV.2.2. Améliorations des équipements de lavage

Pour garantir un lavage efficace du matériau neutralisant (élimination des fines liées à la dissolution du calcaire et à la présence éventuelle de matières en suspension) et la conformité sanitaire de l'eau traitée, une filtration descendante avec mise en place d'un plancher est indispensable.

Une répartition homogène de l'eau pendant la phase de neutralisation, de l'air et de l'eau pendant les phases de lavage ne peut être assurée que par la mise en œuvre d'un plancher à buselures.

Les calcaires terrestres et de synthèse étant plus denses que la neutralite, les équipements de lavage devront être adaptés :

- plancher soufflant : s'assurer de la résistance au nouveau matériau,
- pompe et surpresseur de lavage : adapter la puissance pour permettre de prendre en compte la perte charge générée par un matériau de densité 1,8.

L'absence d'équipements de lavage complets (à savoir pompe d'eau de lavage, surpresseur d'air de lavage, plancher) peut être considérée comme un défaut de conception de l'installation de neutralisation.

IV.2.3. Conditions d'exploitation

⇒ Calcaires terrestres concassés :

Les conditions d'exploitations de la neutralite et des calcaires terrestres sont similaires.

La fréquence des recharges et les conditions de remplissage sont également similaires, la densité des calcaires terrestres utilisés étant relativement proches.

La fréquence des lavages reste la même (minimum tous les 15 jours). Sans modification des équipements de lavage, la durée d'un lavage et le volume d'eau nécessaire au rinçage s'avèrent plus importants que pour la neutralite. Par contre, pour les installations sans planchers, les conditions de lavage sont aléatoires.

⇒ Calcaire terrestre modifié :

Les conditions d'exploitations du calcaire modifié demandent plus d'attention que la neutralite, tout au moins lors du changement de matériau.

Les conditions de mise en œuvre de la première charge sont plus délicates : le produit, plus réactif, demande une période de rodage d'une à plusieurs semaines. Pendant cette durée, des augmentations importantes des valeurs de pH peuvent se produire (pics élevés de courte durée) et l'obtention du pH d'équilibre va nécessiter ensuite quelques semaines (pendant cette période, l'eau peut s'avérer légèrement entartrante). Un contrôle régulier du pH en sortie de traitement est indispensable à la première charge.

Lors des recharges, le volume de matériau mis en œuvre étant limité, les variations de pH seront de plus faible amplitude. Une remise en route suite à un arrêt prolongé de la filtration peut avoir les mêmes conséquences.

La fréquence des lavages reste la même (minimum tous les 15 jours). Les équipements de lavage devront être adaptés aux nouvelles conditions de fonctionnement.

IV.2.4. Traitement complémentaire : CO₂

La neutralisation par filtration sur calcaire est basée sur la réaction entre le CO₂ agressif naturellement présent dans l'eau et le matériau calcaire.

Dans certain cas, il arrive que la concentration en CO₂ agressif de l'eau brute soit trop faible pour permettre l'obtention d'une minéralisation suffisante de l'eau traitée et par voie de conséquence une conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25 °C. Une injection de CO₂ en entrée de traitement sera donc nécessaire. Une régulation de l'injection de CO₂ sera effectuée pour permettre d'obtenir une conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25 °C et un pH d'équilibre voisin de 8,0.

A contrario, dans certain cas, la concentration en CO₂ peut s'avérer trop élevée. Dans ce cas, il existe un risque que la minéralisation de l'eau en sortie de traitement soit trop élevée. Un dégazage de l'eau en entrée de traitement sera alors nécessaire. La quantité de CO₂ à éliminer devra être calculer avec soin et le dispositif de dégazage prévu en conséquence, au cas par cas, pour obtenir une conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25 °C et un pH d'équilibre voisin de 8,0.

Chaque eau ou chaque mélange d'eau à traiter étant unique, il n'existe malheureusement pas de concentration idéale de CO₂ agressif conseillée en entrée de traitement.

IV.2.5. Traitement d'affinage : Soude

Les résultats de l'étude ont montré que, **quelque soit le matériau utilisé** (neutralite, calcaire terrestre), l'**équilibre calco-carbonique** en sortie de traitement n'était **jamais atteint**. La qualité de l'eau traitée ne se situe jamais dans la fourchette de différence de pH qui permettrait de considérer que l'eau est à l'équilibre calco-carbonique.

L'eau est généralement encore corrosive. Cette situation est liée à la cinétique de dissolution du calcaire qui ne permettra d'atteindre l'équilibre calco-carbonique qu'au bout d'un temps de contact infini, ce qui n'est pas possible à respecter dans le cadre des installations de traitement. En conséquence, un **affinage final**, par injection de soude par exemple, peut être mise en œuvre **à l'aval de la filtration**.

IV.3. BILAN GENERAL DES ESSAIS

Bien que présentant des résultats de traitement similaires ou légèrement en retrait par rapport à ceux obtenus avec la neutralite, **les produits de substitution testés (et non testés) ne peuvent pas être mis en place sans un minimum d'adaptation.**

► **Les calcaires terrestres concassés** testés dans le cadre de l'étude, présentent des résultats de traitement similaires à légèrement inférieurs à la neutralite, que ce soit pour la neutralisation ou la reminéralisation de l'eau.

Les différences portent sur la mise en œuvre et l'exploitation :

- temps de contact et donc volume de filtre supérieur à la neutralite.
- densité de matériau plus élevée : une attention sera portée à la résistance des installations (parois des filtres, plancher, pompe et surpresseur de lavage, ...),
- gestion des lavages plus délicate.

► **Les calcaires modifiés** donnent de bons résultats pour la neutralisation mais moins bon que la neutralite pour la reminéralisation. Leur mise en œuvre est plus difficile que pour la neutralite et la période de rodage nécessaire à la mise en route du filtre ne peut se faire que sur une installation possédant deux filtres en parallèle (immobilisation d'un filtre de quelques jours à quelques semaines). Ce produit peut toutefois s'avérer avantageux dans le cas où le volume du filtre est limité : à traitement équivalent, le volume de calcaire modifié nécessaire est moitié moindre que celui de calcaire terrestre. Une fois rodé, le produit se comporte comme les autres calcaires terrestres. L'exploitation demandera toutefois un suivi rigoureux au démarrage et lors des recharges de filtre.

Pour les petites à moyennes installations de traitement, le meilleur compromis technico-économique pour la substitution de la neutralite semble donc être l'utilisation de calcaire terrestre concassé.

Des adaptations seront à apporter aux installations actuelles pour permettre leur reconversion à l'utilisation du calcaire terrestre.

V - PRECONISATIONS GENERALES

V.1. RAPPELS SUR LA FILTRATION SUR CALCAIRE

Le procédé de filtration sur calcaire, marin ou terrestre, repose sur la mise en contact d'un matériau au travers duquel percole l'eau à traiter, à l'intérieur d'un réacteur ouvert ou fermé.

L'eau à traiter, au contact du calcaire, le dissout pour neutraliser le CO₂ agressif de l'eau brute.

Il s'en suit donc une consommation du matériau au fur et à mesure du temps.

Le réacteur de filtration sur calcaire assure ainsi deux fonctions :

- une fonction de réaction de neutralisation du CO₂ agressif.
- une fonction de stockage de matériau neutralisant.

L'efficacité de la filtration sur calcaire repose sur le respect d'un temps de contact minimal entre l'eau à traiter et le calcaire.

Le matériau étant consommé au cours du temps, une recharge périodique s'impose.

V.2. DONNEES DE BASE

La conception des installations de neutralisation, ou de reminéralisation et neutralisation, nécessite de compléter au préalable les analyses de type RS ou RP (souvent peu nombreuses pour les petites unités de distribution) par la réalisation d'analyses spécifiques sur l'eau brute à traiter comprenant l'ensemble des paramètres intervenant dans la détermination de l'équilibre calco-carbonique, à savoir :

- pH et température **mesurés impérativement *in situ***,
- calcium, magnésium,
- fer, manganèse,
- TA, TAC,
- sodium, potassium, ammonium, chlorures, sulfates, nitrites, nitrates, fluorures.

Ces analyses complémentaires permettent de fiabiliser la qualité des données sur les eaux à traiter et surtout de prendre en compte leur variabilité dans le temps. Les analyses devront être effectuées **au moins à deux périodes de l'année** afin de pouvoir prendre en compte l'impact de la variation de température de l'eau brute.

Ces paramètres pourront être utilement complétés par une mesure de conductivité sur site et en tant que de besoin par la détermination de la turbidité et du carbone organique total (COT).

Une importance particulière devra être toutefois apportée à l'étalonnage des pH-mètres de terrain pour obtenir une mesure de qualité.

Chaque usine doit être considérée comme un **cas spécifique** et la conception doit être envisagée, **au cas par cas**, sur la base de la qualité de l'eau brute ou du mélange des eaux brutes à traiter, pour respecter les objectifs de traitement suivants :

- TH supérieur à 8 °F, ou TCa supérieur à 8 °F en présence prépondérante de magnésium dans l'eau brute et TAC supérieur à 8 °F,
- conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25 °C,
- pH voisin de 8,
- tout en vérifiant que l'eau à l'équilibre n'est pas corrosive (indice de Larson, indice de Leroy).

L'essentiel...

Des analyses spécifiques sur l'eau brute en complément des analyses de type RS ou RP

Les objectifs de traitement :

- *TH supérieur à 8 °F, ou TCa supérieur à 8 °F en présence prépondérante de magnésium dans l'eau brute, et TAC supérieur à 8 °F,*
- *conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25 °C,*
- *pH voisin de 8*
- *eau non corrosive*

V.3. REMINERALISATION ET NEUTRALISATION

Lorsque la conductivité de l'eau brute est inférieure à la limite basse de la fourchette de conductivité définie pour la référence de qualité, l'obtention d'une conductivité satisfaisante pour l'eau traitée, à savoir une conductivité supérieure ou égale à 200 µS/cm à 25 °C, s'effectue préférentiellement par une augmentation simultanée de la concentration en calcium (et par voie de conséquence du TH) et en CO₂ des hydrogénocarbonates (et par voie de conséquence du TAC) de l'eau à traiter, soit par neutralisation, soit reminéralisation et neutralisation.

La circulaire 2004-557 DGS/SD 7 A du 25 novembre 2004 classe globalement les eaux très douces en deux catégories en fonction de leur teneur en CO₂ total, en reprenant la valeur pivot de 1 mmol/L (44 mg/L), retenue dans l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France du 9 décembre 2003 complété le 9 novembre 2004. Bien qu'indicative, nous avons également retenu cette valeur qui permet d'avoir une vision simplifiée des choses. Nous ne travaillerons donc que sur deux classes d'eau.

Si le CO₂ total dans l'eau est inférieur à 1 mmol/L (44 mg/L), une reminéralisation par ajout de dioxyde de carbone suivie d'une neutralisation est nécessaire pour atteindre le pH d'équilibre calco-carbonique.

A l'inverse, lorsque le CO₂ total de l'eau est supérieur à 1 mmol/L (44 mg/L), la neutralisation du CO₂ agressif présent dans l'eau permet d'atteindre le pH d'équilibre calco-carbonique.

Dans certains cas particuliers, compte tenu des caractéristiques chimiques des eaux, une reminéralisation par ajout de CO₂ peut quand même être envisagée pour des eaux contenant plus de 1 mmol/L (44 mg/L) de CO₂ total, afin d'obtenir un pH d'équilibre calco-carbonique plus proche de 8 que de 9.

Dans certains cas particuliers, compte tenu des caractéristiques chimiques des eaux, une élimination partielle de CO₂ peut quand même être envisagée pour éviter une minéralisation excessive de l'eau à l'équilibre calco-carbonique.

| | CO ₂ total < 44 mg/L | CO ₂ total > 44 mg/L |
|----------------------------------|---|---|
| Traitement complémentaire | Reminéralisation par ajout de CO ₂ | Reminéralisation par ajout de CO ₂ * ou dégazage* |
| Traitement principal | Neutralisation par filtration sur calcaire | Neutralisation par filtration sur calcaire |
| Affinage | Atteinte de l'équilibre calco-carbonique | Atteinte de l'équilibre calco-carbonique |

tableau 8 : Reminéralisation et neutralisation

(*) Au cas par cas, en fonction de la qualité de l'eau brute et de la qualité de l'eau traitée choisie.

V.4. PRINCIPES GENERAUX DE CONCEPTION DES FILTRES A CALCAIRE

Compte tenu du mode de fonctionnement particulier des filtres, à savoir une dissolution progressive du matériau dans le temps, les filtres de neutralisation doivent être à **filtration descendante** (cf. Figure 4) et équipés pour permettre un **lavage à contre courant d'air et d'eau**.

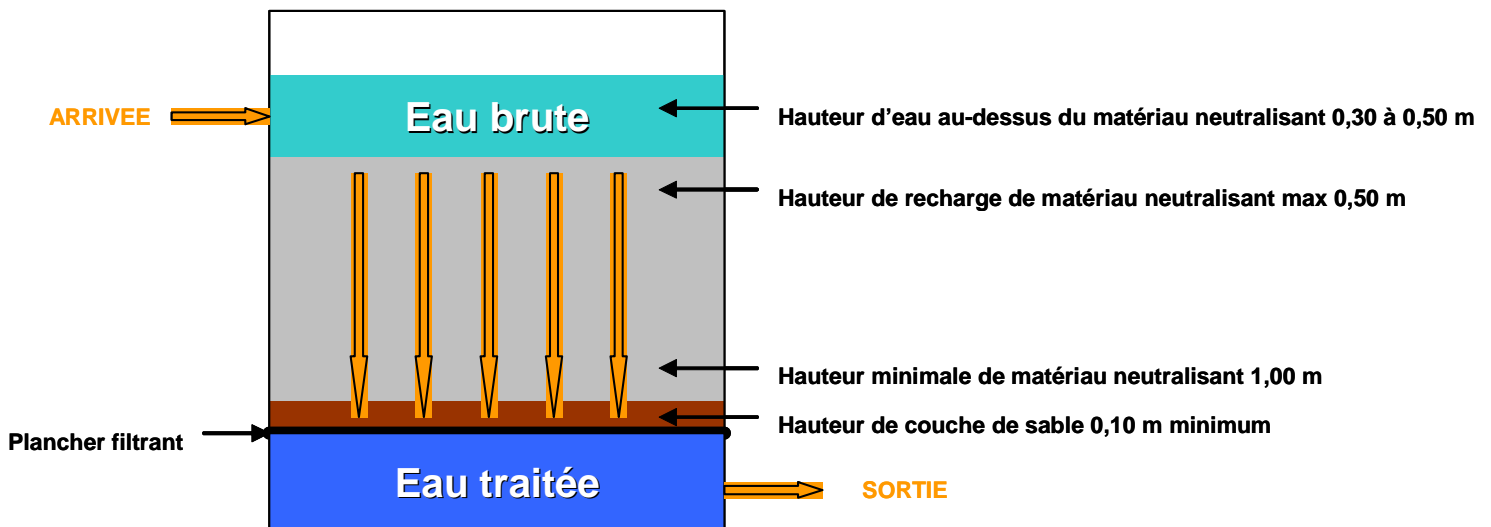


Figure 4 : Schéma de fonctionnement d'un filtre à calcaire – mode filtration

Les filtres à calcaire terrestre doivent être équipés à minima :

- d'un dispositif d'alimentation permettant une répartition homogène de l'eau sur toute la surface du filtre,
- d'un plancher à buselures permettant à la fois une répartition homogène de l'eau sur toute la surface du filtre en fonctionnement normal, et une répartition homogène de l'air et de l'eau sur toute la surface du filtre pendant les opérations de lavage,
- d'une couche de gravier sur le plancher pour protéger les buselures,
- d'un dispositif sous le plancher filtrant permettant d'obtenir une répartition du matelas d'air uniforme pendant les opérations de lavage,
- d'un dispositif de reprise des eaux de lavage sales permettant une reprise homogène de l'eau de lavage sur toute la surface du filtre.

Compte tenu de l'hétérogénéité des calcaires terrestres potentiellement utilisables, à court terme et à long terme, et de l'incertitude pesant sur la pérennité des ressources actuelles à long terme (les carrières d'extraction de matériau possèdent des autorisations d'exploitation à durée de vie limitée et leur renouvellement n'est pas automatique et assuré), les installations doivent donc être conçues pour s'adapter à un ou plusieurs changements de calcaire terrestre au cours de la durée de vie de l'usine. En conséquence, les **filtres à calcaire terrestre** et les **installations de lavage à l'air et à l'eau** doivent être **dimensionnés** pour des **matériaux de densité de 1,8**.

Pour les petites usines, une aire de stockage de calcaire doit être prévue pour permettre des recharges régulières en petites quantités (cf. paragraphe V.5).

Pour les usines de plus grandes capacités où l'approvisionnement peut s'envisager en vrac, un silo de stockage de calcaire permet d'optimiser les conditions économiques d'achat du matériau tout en permettant des recharges régulières des filtres en petites quantités (cf. paragraphe V.8).

L'essentiel...

Une filtration descendante

Un lavage à contre courant à l'air et à l'eau

Des recharges en calcaire terrestre régulières et en petites quantités

Un dimensionnement pour une densité de calcaire de 1,8

Ces principes sont valables, à la fois pour les filtres ouverts et les filtres fermés.



Sauf cas particulier, la ligne hydraulique d'alimentation des filtres à calcaire ne doit pas comporter de chutes d'eau, susceptibles d'entraîner un dégazage de CO₂

V.5. DIMENSIONNEMENT DU FILTRE A CALCAIRE

► Le volume de calcaire à mettre en œuvre sera déterminé sur la base du **débit maximal d'eau brute à traiter** et du **temps de contact minimal** recommandé ci-dessous :

Temps de contact minimal recommandé : 30 minutes

Ce temps de contact doit être calculé en fin de cycle de neutralisation, avant recharge.

Un exemple de dimensionnement est fourni dans le tableau 15 et le tableau 16 en annexe VII. Cet exemple permet également de mesurer l'impact de la densité sur le dimensionnement.

En effet, l'ensemble des résultats et des retours d'expériences montrent qu'un temps de contact de 30 minutes s'avère suffisant pour la majorité des produits de substitution à la neutralite. L'augmentation du temps de contact au-delà de cette durée n'a que très peu d'impact sur l'efficacité du calcaire terrestre pour atteindre l'équilibre calco-carbonique et le gain en terme de conductivité est quasiment nul.

► Un volume supplémentaire de calcaire correspondant à la consommation de produit entre deux recharges doit être ajouté au calcul précédent.

► La hauteur minimale de matériau en fin de cycle de neutralisation doit être d'au moins 1,00 m. Cette hauteur constitue la hauteur minimale à maintenir en permanence dans les filtres.

► La hauteur maximale de matériau neutralisant dans les filtres sera inférieure ou égale à 1,50 m.

► Une tranche d'eau de 30 à 50 centimètres sera mise en œuvre au-dessus du niveau maximal de calcaire dans le filtre.

► Les filtres seront équipés de dispositifs permettant de maintenir un niveau d'eau constant dans les filtres à calcaire.

► Pour améliorer les conditions d'exploitation et faciliter les recharges en temps et en heure, une signalétique visuelle **explicite** doit être mise en œuvre à l'intérieur des filtres (dans le cas des filtres ouverts) pour indiquer :

- le niveau de fin de cycle, qui indique qu'il faut procéder à la recharge du filtre,
- le niveau de début de cycle, qui indique que le filtre est rechargé et prêt pour un nouveau cycle de neutralisation.

- ▶ Une couche support de gravier de 0,05 m d'épaisseur permet de protéger les buselures du plancher. Une couche de sable de taille effective normalisée de 0,10 à 0,20 m d'épaisseur permet d'assurer une protection vis-à-vis de la turbidité générée par la dissolution du calcaire.

- ▶ L'autonomie de stockage dans le filtre devra être calculée en prenant en compte :
 - la nécessité de maintenir le niveau minimal de 1,00 m de calcaire dans les filtres,
 - une **hauteur de recharge de l'ordre de 0,10 à 0,15 m**. Cette hauteur est déterminée pour que l'impact de la dissolution du calcaire soit bien visible dans le filtre. En effet, à consommation de calcaire égale, l'augmentation de la densité s'accompagne d'une réduction du volume consommé. Cette hauteur de recharge permet également de pouvoir effectuer les cycles de lavage dans de bonnes conditions.

L'essentiel...

Un temps de contact minimal de 30 minutes

Une hauteur minimale de calcaire en fin de cycle de 1,00 m

Une hauteur maximale de calcaire en début de cycle de 1,50 m

Une tranche d'eau de 0,30 à 0,50 m au-dessus du niveau maximal de calcaire

Un niveau d'eau constant dans les filtres

Une hauteur de recharge de calcaire de 0,10 à 0,15 m

Le processus de dimensionnement est précisé ci-après.

Processus de dimensionnement des filtres à calcaire

- 1) Définir le débit de traitement en m³/h et le volume de production journalier en m³/d
- 2) Prendre un temps de contact de 30 minutes
- 3) Calculer le volume minimal de calcaire à mettre en œuvre en m³
- 4) Calculer la surface de filtration en m²
- 5) Définir le nombre de filtres à mettre en œuvre
- 6) Définir l'autonomie de stockage dans chaque filtre entre deux recharges en mois
- 7) Définir la quantité de CO₂ agressif à neutraliser en entrée de filtre
- 8) Calculer le volume en m³ et la hauteur en m, de renouvellement de calcaire
- 9) Finaliser le dimensionnement en définissant la hauteur d'eau au-dessus du calcaire
- 10) Calculer le débit d'eau de lavage en m³/h
- 11) Calculer le débit d'air de lavage en Nm³/h
- 12) Calculer le volume d'eau de lavage nécessaire par filtre

Ces règles sont valables pour les filtres ouverts et les filtres fermés.

V.6. LAVAGE

Si la conception du filtre à calcaire est importante, la conception du dispositif de lavage est cruciale.

Il peut s'avérer intéressant d'augmenter la fréquence des recharges en calcaire et de procéder à une recharge en calcaire tous les quinze jours, de manière à **combiner les opérations de lavage préventif et les opérations de lavage après recharge** périodique pour limiter la consommation d'eau de lavage.

V.6.1. Opérations de lavage préventif

Afin de lutter contre le tassement du matériau dans le temps et le colmatage entraîné par l'accumulation de fines liées à la dissolution du calcaire, des opérations de lavage préventif doivent être effectuées pour maintenir le filtre en bon état de fonctionnement.

Comme indiqué précédemment, le lavage des filtres s'effectue au moyen d'un **lavage à contre courant d'air et d'eau**.

La périodicité des opérations de lavage doit être d'**un lavage tous les quinze jours**. Cette périodicité constitue un **minimum** à respecter et doit être adaptée aux conditions de fonctionnement de l'installation, au matériau retenu et à la qualité de l'eau brute. Un cycle de lavage préventif se décompose en quatre phases successives détaillées dans le tableau 9.

La remise en service correspond au redémarrage du filtre en mode filtration après un lavage. Il ne s'agit pas à proprement parler d'une phase de lavage, néanmoins ces premières eaux de filtration sont renvoyées vers la bêche d'eaux sales de lavage et doivent de ce fait être comptabilisées avec les eaux de lavage sales pour le dimensionnement de l'ouvrage de décantation. Cette procédure permet également d'éviter des départs de turbidité au démarrage.

| Phase | Durée (minutes) | Conditions |
|--------------------------|-----------------|--|
| Détassage à l'air | 2 – 5 | 55 Nm ³ /h/m ² |
| Lavage | | |
| air | 5 – 15 | 55 Nm ³ /h/m ² |
| eau | 5 – 15 | 8 – 12 m ³ /h/m ² |
| Rinçage à l'eau | 10 – 15 | 25 – 30 m ³ /h/m ² |
| Remise en service | 2 – 5 | débit de filtration |

tableau 9 : Cycle de lavage – Lavage préventif

Les eaux de lavage sales seront envoyées vers l'ouvrage de décantation.

V.6.2. Opérations de lavage après recharge périodique

Après chaque recharge périodique de calcaire, il sera systématiquement procédé à un lavage.

Un cycle de lavage après recharge se décompose en quatre phases successives détaillées dans le tableau 10.

| Phase | Durée (minutes) | Conditions |
|-------------------|-----------------|--|
| Détassage à l'air | 2 – 5 | 55 Nm ³ /h/m ² |
| Lavage | | |
| air | 5 – 15 | 55 Nm ³ /h/m ² |
| eau | 5 – 15 | 8 – 12 m ³ /h/m ² |
| Rinçage à l'eau | 10 – 15 | 25 – 30 m ³ /h/m ² |
| Remise en service | 10 – 15 | débit de filtration |

tableau 10 : Cycle de lavage – Recharge périodique

Les eaux de lavage sales seront envoyées vers l'ouvrage de décantation.

V.6.3. Opérations de lavage après la première charge complète du filtre

Après la première charge complète de calcaire (à la mise en service ou lors du remplacement du matériau), il sera systématiquement procédé à un lavage.

Un cycle de lavage après la première charge complète se décompose en quatre phases successives détaillées dans le tableau 11.

| Phase | Durée (minutes) | Conditions |
|-------------------|-----------------|--|
| Détassage à l'air | 2 – 5 | 55 Nm ³ /h/m ² |
| Lavage | | |
| air | 5 – 15 | 55 Nm ³ /h/m ² |
| eau | 5 – 15 | 8 – 12 m ³ /h/m ² |
| Rinçage à l'eau | 10 – 15 | 25 – 30 m ³ /h/m ² |
| Remise en service | 10 – 15 | débit de filtration |

tableau 11 : Cycle de lavage

Les eaux de lavage sales seront envoyées vers l'ouvrage de décantation.



Lors de la mise en place de la première charge, l'opération de lavage peut devoir être répétée plusieurs fois (généralement 2 à 3) avant que l'eau ne devienne limpide

V.7. INSTRUMENTATION

L'instrumentation spécifique est précisée au cas par cas dans le paragraphe V.9. L'installation doit être équipée à minima :

- d'une sonde de mesure en continu de pH, pour asservissement de l'injection de réactif permettant l'atteinte du pH d'équilibre calco-carbonique,
- d'une sonde de mesure en continu de conductivité, pour asservissement de l'injection de dioxyde de carbone lors de la reminéralisation,
- d'un débitmètre sur l'eau brute,
- d'un débitmètre sur l'eau traitée.

V.8. AUTRES POINTS A NE PAS OUBLIER

Un **dispositif d'eau motrice** et un **hydroéjecteur** doivent être également mis en œuvre pour permettre :

- une alimentation directe des filtres en réduisant la manipulation des sacs (petites unités),
- de conserver l'installation en bon état permanent de propreté et de protéger la santé du personnel d'exploitation en supprimant les envols de poussière lors du rechargement des filtres.

L'hydroéjecteur est un appareil dans lequel soit l'exploitant déverse directement les sacs de calcaire (approvisionnement en sacs), soit le matériau est déversé par une vis doseuse de calcaire (approvisionnement en vrac et stockage en silo). Cet équipement permet via le dispositif d'eau motrice de transférer directement le calcaire dans les filtres sans envols de poussières. Cette solution permet de limiter la manipulation des sacs, le cas échéant.

Les unités de traitement doivent également disposer :

- d'une bache spécifique de stockage d'eau traitée d'un volume minimal permettant de procéder aux opérations de lavage des filtres,
- d'un ouvrage de décantation des eaux de lavage (lagune, bache...) avant rejet du surnageant au milieu naturel,
- d'un système de ventilation du bâtiment d'exploitation,
- d'un déshydrateur d'air pour éviter les phénomènes de condensation à l'intérieur du bâtiment, préjudiciable et augmenter la durée de vie des équipements (réduction au minimum des phénomènes de corrosion).

Le calcul de l'autonomie de stockage de calcaire sur site devra être effectué en prenant en compte :

- la quantité de calcaire nécessaire pour procéder aux recharges périodiques du ou des filtres,
- du délai d'approvisionnement,
- des conditions d'accès au site,
- des contraintes particulières du site (météorologie).

L'installation devra comporter une aire de stockage de calcaire (approvisionnement par palettes) ou un silo de stockage de calcaire (approvisionnement en vrac) sur site permettant de respecter l'autonomie définie ci-avant.

Les sacs doivent être stockés à l'abri de la pluie, de préférence dans un local fermé. Si cela s'avérait impossible ou trop complexe (cas de la reconversion), le calcaire pourrait être stocké en extérieur, sur une dalle en béton permettant ainsi une manipulation et une reprise aisée des sacs, protégée par un auvent.

Par ailleurs, pour des raisons d'hygiène, il est impératif de respecter les consignes suivantes :

- absence de sacs entamés laissés à l'air libre entre deux recharges (toujours vider un nombre de sacs entiers lors de la recharge),
- maintien de l'intégrité de l'emballage pendant la durée de stockage avant utilisation.

Afin d'optimiser le coût d'achat du calcaire terrestre et privilégier l'approvisionnement en vrac, lorsque les consommations annuelles de calcaire sont supérieures à 30 tonnes par an, sans pour autant dégrader la qualité du traitement, un silo de stockage pourra utilement être mis en œuvre sur les installations de capacité. Cette solution permet ensuite d'effectuer des recharges régulières de calcaire terrestre par petites quantités.

V.9. TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES : CO₂

V.9.1. Dégazage

Si la concentration en CO₂ agressif est trop importante et conduit après neutralisation à une minéralisation trop importante (TH et TAC supérieurs à 15 °F), une élimination partielle de CO₂ devra être effectuée préalablement à la neutralisation sur calcaire.

Le dispositif de dégazage à mettre en œuvre devra être calculé et choisi au cas par cas en fonction de l'objectif de réduction de la concentration de CO₂ recherchée.

Les dispositifs pouvant être mis en œuvre sont les suivants :

- **cascade** en amont du filtre, dont la hauteur de chute et le nombre de marches doit être calculé en fonction de la concentration en CO₂ à éliminer,
- **buses de pulvérisation**. Cette solution peut être envisagée uniquement si le dégazage est effectué sur une fraction du débit et que l'eau dégazée est mélangée avec l'eau brute avant d'alimenter le filtre.
- **éliminateurs de CO₂**. Ces appareils ont une conception identique aux tours de lavage de gaz utilisées en désodorisation dans les usines de traitement des eaux usées.

V.9.2. Injection de CO₂

Si la concentration en CO₂ agressif est insuffisante et conduit après neutralisation à une minéralisation trop faible (TH et TAC inférieurs à 8 °F et surtout une conductivité inférieure à 200 µS/cm), un ajout de CO₂ doit être effectué préalablement à la neutralisation.

La méthode la plus courante utilise le CO₂ stocké à l'état liquide dans des réservoirs sous pression calorifugés et réfrigérés ou pour de plus faibles débits en bouteilles.

Le CO₂ liquide soutiré est alors vaporisé puis détendu aux conditions d'utilisation. Il est enfin injecté à l'état gazeux, dans l'eau à traiter par l'intermédiaire de diffuseurs poreux immergés sous quelques mètres d'eau (grosses unités) dans des tours de contact ou injecté au moyen d'un hydrojecteur (principe de fonctionnement identique à l'injection de chlore).

Compte tenu de la taille des installations concernées, il est vraisemblable que le CO₂ soit stocké en bouteilles sous forme liquide à basse pression et injecté au moyen d'un hydrojecteur.

La capacité de stockage de CO₂ devra être calculée sur la base de la quantité de CO₂ à injecter pour la reminéralisation de l'eau, de l'autonomie de stockage souhaitée, du délai d'approvisionnement et des conditions d'accès au site.

V.10. TRAITEMENTS D'AFFINAGE : SOUDE

La reminéralisation et/ou la neutralisation au moyen de calcaire terrestre ne permettent pas d'atteindre l'équilibre calco-carbonique. **L'adjonction d'un réactif complémentaire peut donc s'avérer nécessaire pour respecter la référence de qualité pour ce paramètre.** L'injection de soude, par exemple, asservie à une mesure de pH permet de piloter l'injection du réactif peut permettre d'atteindre l'équilibre calco-carbonique.

Compte tenu de l'hétérogénéité des calcaires terrestres potentiellement utilisables et des fluctuations de la qualité de l'eau brute, le dimensionnement du poste de dosage de réactif d'affinage doit permettre de pouvoir assurer la neutralisation d'environ 1 °F de CO₂ agressif.

Une attention particulière doit être apportée à l'étalonnage et à l'entretien des équipements de mesure (pH mètres, conductimètres, etc.) afin que les valeurs mesurées soient fiables, pour le pilotage des injections de réactifs.

Dans la mesure du possible, il conviendra de privilégier un pH d'équilibre calco-carbonique proche de 8,0, sans toutefois dépasser un TH et/ou TAC de 15 °F, pour rester dans des conditions satisfaisantes pour l'efficacité de la désinfection et éviter une minéralisation excessive de l'eau traitée.

La soude commerciale étant susceptible de cristalliser à basse température, le poste de stockage, de dosage et d'injection de soude devra **a minima** :

- être équipé d'une sonde de température pour l'asservissement d'une épingle de réchauffage dans la cuve de stockage,
- être conçu pour permettre un dépotage de la soude dans une cuve de stockage (pas de conteneur navette nécessitant des manipulations),
- prévoir un coffret pour l'installation des pompes doseuses de soude (mise en sécurité du personnel),
- devra être conçu avec un circuit d'injection de soude calorifugé, doublé d'un cordon chauffant asservi à une sonde de température le cas échéant, en fonction des conditions spécifiques du site,
- devra être équipé d'un dispositif de dilution en ligne de la soude au moyen d'eau préalablement adoucie, pour éviter les phénomènes de carbonatation au point d'injection de la soude,

Le point d'injection de soude devra être particulièrement soigné pour qu'au niveau de ce point, il y ait une zone de forte turbulence favorisant le mélange de la soude diluée et de l'eau à traiter.

Un contrôleur de débit sera installé sur le circuit de dilution à l'eau adoucie pour arrêter les pompes doseuses de soude en l'absence d'eau adoucie.

V.11. DESINFECTION DU MATERIAU FILTRANT

Avant mise en service des filtres, uniquement lors de la première charge du filtre ou lors d'un renouvellement complet de matériau, une désinfection systématique du calcaire à l'eau de javel doit être faite.

Ce protocole de désinfection s'applique **uniquement** lors d'un chargement complet de calcaire :

- abaisser le niveau d'eau à une dizaine de centimètres au dessus du matériau filtrant,
- ajouter de 2 à 4 litres d'eau de javel à 36° par volume de filtre (en m³),
- laisser tremper durant 24 à 48h,
- rincer abondamment le filtre (sens de filtration et envoi vers l'ouvrage de décantation),
- contrôler le pH,
- remettre en distribution.

Il y a lieu de prévoir une dérivation de l'installation permettant la distribution d'eau brute désinfectée.



L'eau de Javel à 36° n'est pas un produit anodin. C'est un produit corrosif et dangereux pour l'environnement qui impose le respect de règles strictes quant à sa manipulation.

Le maître d'ouvrage doit mettre à la disposition du personnel d'exploitation des vêtements de protection, des gants (en polychlorure de vinyle, polychloroprène, caoutchouc nitrile, caoutchouc naturel) et des lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après chaque usage.

Une douche de sécurité et un laveur oculaire doivent être mis en œuvre.

Lors des recharges périodiques, le respect :

- des conditions de stockage du calcaire,
- du protocole de lavage et de la quantité de calcaire à ajouter (10 à 15 cm),
- du maintien d'une concentration en chlore libre de 0,3 mg/L en sortie des réservoirs,

peut permettre de s'affranchir de procéder à une désinfection du massif filtrant, sous réserve de s'être assuré dans le cadre de l'autosurveillance de la bonne qualité bactériologique de l'eau traitée au moins lors des trois premières recharges périodiques.



En cas de désinfection par la seule mise en œuvre de rayonnement UV, l'autosurveillance définit les modalités à mettre en œuvre pour s'assurer de la bonne qualité bactériologique de l'eau après chaque recharge périodique.

V.12. EXPLOITATION

V.12.1. Ce qu'il ne faut jamais faire



En aucun cas, la recharge en calcaire des filtres ne doit intervenir quand le filtre est vide.



Il ne faut jamais marcher dans les filtres lors des recharges périodiques.

En raison des risques sanitaires (contamination bactériologique) liés à l'intervention à l'intérieur des filtres, il ne faut jamais marcher dans les filtres lors des recharges périodiques. Si cette opération s'avérait néanmoins nécessaire, une procédure écrite d'intervention doit être inscrite dans le cahier sanitaire et l'autosurveillance doit également définir par écrit les modalités à mettre en œuvre pour s'assurer de la bonne qualité bactériologique de l'eau après chaque recharge périodique.

V.12.2. Recharge périodique

Le volume de matériau à mettre en œuvre doit respecter les préconisations du paragraphe V.5 relatif au volume de calcaire et du paragraphe V.11 relatif à la désinfection.

V.12.3. Lavage préventif

Les conditions de réalisation du lavage préventif doivent respecter les préconisations du paragraphe V.6.1.

V.12.4. Lavage après recharge

Les conditions de réalisation du lavage après recharge doivent respecter les préconisations du paragraphe V.6.2.

V.12.5. Désinfection du calcaire

Les modalités de désinfection du calcaire doivent respecter les préconisations du paragraphe V.11.

V.12.6. Stockage du calcaire

Les modalités de stockage doivent respecter les préconisations du paragraphe V.8.

Par ailleurs, il est impératif de respecter les consignes suivantes :

- absence de sacs entamés laissés à l'air libre entre deux recharges (toujours vider des sacs entiers lors de la recharge),
- maintien de l'intégrité de l'emballage pendant la durée de stockage avant utilisation.

V.12.7. Les carnets et fichiers de suivi

La personne responsable de la production ou de la distribution d'eau, conformément à l'article R 1321-23 du Code de la santé publique, doit tenir **un fichier sanitaire** de son usine de production d'eau potable. Ce fichier est indispensable pour transmettre les bonnes pratiques des exploitants, assurer l'historique des anomalies et incidents (traçabilité), en déduire les aménagements nécessaires, etc.)

A minima, ce fichier sanitaire doit contenir les informations relatives :

- à la date de chacune des recharges de calcaire et la quantité de calcaire mise en œuvre, ainsi qu'à la qualité du lavage systématique effectué à cette occasion,
- à la date de chaque lavage préventif des filtres,
- au suivi de la qualité de l'eau traitée relevées par l'exploitant à chacune de ces visites sur site (pH, conductivité, chlore libre, etc.),
- au volume d'eau brute et au volume d'eau traitée, relevés par l'exploitant à chacune de ces visites sur site,
- au respect des consignes de traitement,
- aux incidents de fonctionnement, relevés par l'exploitant à chacune de ces visites sur site,
- etc.

Ce fichier sanitaire sera complété par **un fichier d'exploitation et de maintenance** relatif :

- aux constatations visuelles relatives aux parties extérieures des ouvrages (dégradations, intrusions ou tentatives d'intrusions, éclairage déficient, etc.),
- à la maintenance préventive et à la maintenance curative des équipements et la date de leur réalisation,
- aux approvisionnements (date, nature, quantité) des différents réactifs mis en œuvre (dioxyde de carbone, calcaire terrestre, soude, chlore, eau de Javel, etc.),
- etc.

V.13. ADAPTATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES

Dans le cadre du changement de produit neutralisant, les maîtres d'ouvrage doivent prendre conscience que des investissements doivent être réalisés, y compris sur des installations récentes, qui fonctionnent sans problème apparent et dont les équipements sont en parfait état.

Les paragraphes suivants ont pour but de détailler les aménagements permettant d'adapter une installation de neutralisation sur calcaire marin à l'utilisation du calcaire terrestre.

Chaque installation de traitement devra être étudiée au cas par cas pour déterminer la l'impact technico-économique de chacune des adaptations proposées.

V.13.1. Temps de contact dans le filtre

Pour un traitement sensiblement équivalent, le calcaire terrestre (hors produits modifiés et de synthèse) demande un temps de contact supérieur à la neutralite. A débit de traitement égal, cela se traduit par un volume de produit neutralisant plus important. En effet, le temps de contact dans un filtre est directement lié à son volume et au débit d'eau à traiter.

En théorie, la mise en place de calcaire terrestre demande donc une augmentation du volume des bacs de filtration.

Il faudra, dans un premier temps, s'assurer que le temps de contact minimal dans le filtre existant est bien de 30 minutes.

La plupart des stations fonctionnant avec de la neutralite sur le périmètre d'étude a, semble-t-il, été dimensionné selon la formule empirique dite « des Vosges », et présente de ce fait un volume de filtration largement dimensionné.

L'étude préliminaire menée par l'Agence de l'Eau sur l'ensemble du bassin Adour-Garonne a conclu que seule :

- **seules 23 % des installations de reminéralisation du bassin ont un temps de contact inférieur à 30 minutes ;**
- **et que pour plus de 52 % des stations étudiées les filtres de reminéralisation semblent être largement dimensionnés (temps de contact supérieurs à 30 minutes, voire à 1h dans plus de 25 % des cas.).**

Ce constat a été également été observé sur les 10 stations étudiées.

La mise en place de calcaire terrestre ne devrait donc pas poser de difficultés majeures par rapport au respect du temps de contact pour les installations du bassin Adour Garonne.

Néanmoins, **la vérification du temps de contact minimal de 30 minutes doit être systématique.**

Si le volume du filtre s'avère insuffisant, avant de décider de ce qu'il faut entreprendre, il convient de vérifier la conception du filtre (cf. paragraphe V.13.2).

V.13.2. Conception du filtre

Une fois, la vérification du temps de contact effectuée, il y a lieu de s'assurer de la conception du filtre existant :

- **sens de filtration.** La filtration doit se faire en sens descendant. Si tel n'est pas le cas, il faudra réfléchir aux modalités de réfection les plus simples pour inverser le sens de filtration pour aboutir à une filtration descendante. La **filtration ascendante** n'est **absolument pas adaptée au traitement de neutralisation sur calcaire** (quelle que soit son origine, marine ou terrestre).
- **plancher filtrant.** Le plancher est indispensable pour le bon fonctionnement du filtre, tant en mode filtration que pendant les opérations de lavage. L'**absence de plancher filtrant** constitue un **handicap rédhibitoire** pour le passage du calcaire marin au calcaire terrestre. Les conditions de lavage, déjà délicates, avec la neutralite, constitueront un point de défaut de fonctionnement de l'installation. Un plancher filtrant dimensionné pour une densité de matériau de 1,8 devra être prévu. Il conviendra également de s'assurer que la structure du filtre est en mesure de s'adapter à cette variation de densité pour assurer la pérennité de l'ouvrage. L'absence de plancher filtrant nécessite de procéder à un nouveau calcul de temps de contact en intégrant le plancher.

- **répartition hydraulique.** L'alimentation du filtre doit permettre une répartition homogène de l'eau à traiter sur la totalité de la surface du filtre. Il en est de même pour le lavage qui doit permettre d'obtenir un lavage efficace et identique dans tout le volume du matériau.
- **chute dans le filtre.** Si des chutes existent sur la ligne d'alimentation des filtres, celles-ci devront être supprimées. Le dégazage du dioxyde de carbone est en effet préjudiciable (sauf quelques cas particuliers) à une efficacité optimale de la neutralisation et à l'obtention d'une conductivité satisfaisante.

Une étude de faisabilité devra être effectuée systématiquement pour les filtres actuellement en service, fonctionnant sans plancher et/ou en filtration ascendante. Leur reconversion n'est pas envisageable en l'état.

Une fois la vérification du temps de contact et de la conception effectuée, il y a lieu de prendre des décisions sur la réutilisation ou non des filtres existants. Le logigramme de la figure 5 permet de déterminer la solution à envisager.

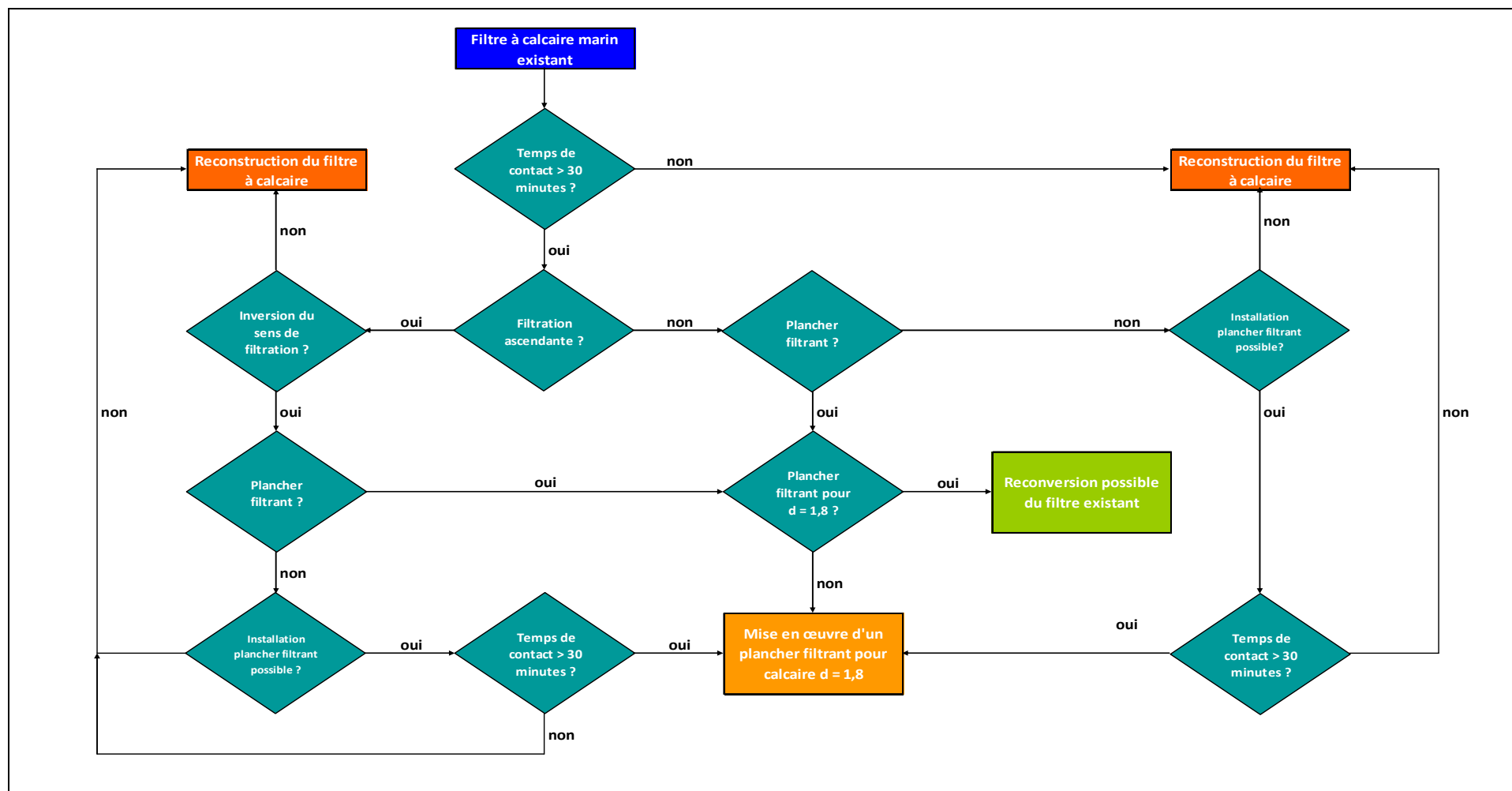


figure 5 : Logigramme décisionnel de réutilisation, d'adaptation ou de reconstruction d'un filtre à calcaire

V.13.3. Vidange du calcaire

Cela est valable lors de la reconversion d'une installation fonctionnant avec du calcaire marin ou lors d'un changement de calcaire terrestre. **Il est souhaitable de ne pas procéder à un mélange des différents calcaires.** Néanmoins, après reconversion au calcaire terrestre, si l'exploitant possède encore un stock de neutralite conservé dans les conditions définies aux paragraphes V.8 et V.12.6, il est possible de procéder aux recharges des filtres avec de la neutralite dans les mêmes conditions que pour le calcaire terrestre (10 à 15 cm), jusqu'à épuisement de ces stocks.

Le matériau existant présent dans les filtres sera de préférence évacué selon une filière agréée.

Pour la vidange du filtre, plusieurs pistes sont envisageables, parmi lesquelles :

- Hydrocureuse ou aspiratrice (pour des grands volumes).
- Vis à grain (idéal pour les petites unités).
- ... etc.

Avant un nouveau remplissage, l'exploitant s'assurera que le filtre est parfaitement vidé et nettoyé.

Un contrôle de l'état général des parois et équipements du filtre sera également réalisé.

Dans le cas d'un passage du calcaire marin au calcaire terrestre, les planchers existants seront systématiquement vérifiés (à minima sur la base des documents d'exécution du constructeur), pour vérifier que leur dimensionnement respecte les conditions définies au paragraphe V.4 (densité de calcaire de 1,8). Le cas échéant, le plancher devra être changé.

V.13.4. Lavage

Le lavage n'est possible qu'en présence de plancher filtrant.

Le lavage des filtres doit s'effectuer à contre-courant d'air et d'eau. Le **lavage à l'eau seule** est **insuffisant** pour obtenir un lavage efficace. En l'absence de surpresseur d'air de lavage, cet équipement doit être mis en œuvre.

Il convient de s'assurer que les conditions de lavage préconisées au paragraphe V.6 sont respectées. Si tel n'est pas le cas, le remplacement des équipements de lavage est indispensable.

La hauteur de la tranche d'eau entre le calcaire et la ou les goulottes de vidange des eaux de lavage sera minimisée pour faciliter le rinçage des filtres et l'évacuation des particules en suspension. Cette hauteur sera maintenue entre 30 à 50 cm.

Il faut s'assurer que le volume de la bêche d'eau de lavage est suffisant pour permettre un lavage dans de bonnes conditions. C'est le lavage après recharge qui constitue le point limitant.

Les eaux de lavage sales sont généralement rejetées au milieu naturel, après transit dans un ouvrage de décantation qu'il y a nécessité de prévoir. Son volume utile sera égal au volume maximal d'eau de lavage nécessaire au lavage des filtres. Le système le plus simple consiste à prévoir un ouvrage de décantation des eaux de lavage, pour permettre la séparation des fines du surnageant qui sera rejeté ultérieurement au milieu naturel.

V.13.5. Rodage des matériaux de synthèse et des calcaires modifiés

Compte tenu de la réactivité importante de certains produits et du mode de fonctionnement des installations de traitement concernées dans le cadre de l'étude, leur utilisation n'est pas conseillée. Néanmoins, si tel devait être le cas, il est important de souligner que certains produits peuvent demander une période de rodage avant la mise en service. C'est le cas, entre autres, de l'**Akdolit® Hydro-Calcit**, calcaire modifié très réactif, et des calcaires de synthèse type dolomie semi-calcinés, non testés dans cette étude.

Les conditions de mise en œuvre de la première charge sont plus délicates : le produit, plus réactif, demande une période de rodage d'une à plusieurs semaines. Pendant cette durée, des augmentations importantes des valeurs de pH peuvent se produire (pics élevés de courte durée) et l'obtention du pH d'équilibre va nécessiter ensuite quelques semaines (pendant cette période, l'eau peut s'avérer légèrement entartrante). Un contrôle régulier du pH en sortie de traitement est indispensable à la première charge.

Lors des recharges, le volume de matériau mis en œuvre étant limité, les variations de pH seront de plus faible amplitude. Une remise en route suite à un arrêt prolongé de la filtration peut avoir les mêmes conséquences.

Un contrôle journalier du pH en sortie de filtre sera effectué. Dès que le pH se stabilise à une valeur inférieure à 9,0 unités pH, la mise en distribution peut reprendre.

Cette solution de traitement reste complexe et nécessite un suivi poussé journalier pour pouvoir exploiter les ressources et distribuer une eau avec un pH conforme.

VI - EVALUATION DE COUTS

| Désignation | unité | prix HT |
|--|-------|------------|
| Fourniture et mise en place d'un débitmètre électromagnétique sur canalisation | unité | 2 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un pH-mètre sur canalisation et raccordement à la télégestion de l'installation | unité | 2 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un conductimètre sur canalisation et raccordement à la télégestion de l'installation | unité | 3 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un analyseur de chlore sur bêche d'eau traitée et asservissement de l'injection | unité | 4 100,00 € |

| Désignation | unité | prix HT |
|--|----------------|-------------|
| Démontage de plancher filtrant y compris évacuation en filière contrôlée (hors amiante) | m ² | 400,00 € |
| Fourniture, mise en place et jontoyage de planchers filtrants amovibles en matériau composite ACS, y compris modification ou création de supports nécessaires à leur installation, y compris buselures à raison de 50 par m ² | m ² | 2 000,00 € |
| Fourniture et mise en place d'une pompe eau de lavage, débit 150 m ³ /h, y compris raccords hydrauliques et électriques | unité | 9 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'une pompe eau de lavage, débit 300 m ³ /h, y compris raccords hydrauliques et électriques | unité | 14 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'une pompe eau de lavage, débit 600 m ³ /h, y compris raccords hydrauliques et électriques | unité | 25 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un surpresseur d'air de lavage, débit 275 Nm ³ /h, y compris raccords hydrauliques et électriques | unité | 8 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un surpresseur d'air de lavage, débit 550 Nm ³ /h, y compris raccords hydrauliques et électriques | unité | 14 000,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un surpresseur d'air de lavage, débit 1 100 Nm ³ /h, y compris raccords hydrauliques et électriques | unité | 23 500,00 € |

| Désignation | unité | prix HT |
|---|-------|-------------|
| Fourniture et mise en place d'un déshydrateur d'air 0,6 kg/h à 20 °C et 60 % HR | unité | 4 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un déshydrateur d'air 2,2 kg/h à 20 °C et 60 % HR | unité | 7 500,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un déshydrateur d'air 4,4 kg/h à 20 °C et 60 % HR | unité | 14 500,00 € |

| Désignation | unité | prix HT |
|--|---------|-------------|
| Fourniture et mise en place d'un dispositif d'injection de CO ₂ : équipements de dosage et de diffusion de CO ₂ gazeux à partir de CO ₂ liquide, capacité 1,0 à 5,0 kg/h, sur la canalisation d'eau brute, asservi au débit d'eau brute et à la conductivité | forfait | 19 000,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un silo de stockage de calcaire d=1,8, volume 15 m ³ en matériau composite, d'un surpresseur, d'un circuit d'eau motrice et d'un hydroéjecteur pour le remplissage des filtres (hors génie civil) | forfait | 35 000,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un silo de stockage de calcaire d=1,8, volume 25 m ³ en matériau composite, d'un surpresseur, d'un circuit d'eau motrice et d'un hydroéjecteur pour le remplissage des filtres (hors génie civil) | forfait | 45 000,00 € |
| Fourniture et mise en place d'un surpresseur, d'un circuit d'eau motrice et d'un hydroéjecteur pour le remplissage des filtres | forfait | 10 000,00 € |
| Fourniture et mise en place d'une unité de stockage (2 000 L) avec épingle de chauffage, d'une unité de dosage de soude (1 pompe 20 L/h + 1 en secours) installée dans coffret, d'un circuit de dilution en ligne de la soude y compris adoucissement de l'eau dilution, d'un circuit de distribution de soude calorifugé tracé avec canne d'injection | forfait | 27 000,00 € |

VII - CONCLUSION

Les calcaires terrestres concassés sont globalement moins réactifs que le calcaire marin.

Comme pour le calcaire marin, la filtration sur calcaire terrestre ne permet pas à elle seule d'obtenir une eau à l'équilibre calco-carbonique. Un ajout de réactif complémentaire d'affinage, comme la soude, peut être effectué pour atteindre l'équilibre calco-carbonique.

Des analyses spécifiques sur l'eau brute doivent être effectuées en complément des analyses de type RS ou RP, au moins à deux périodes de l'année, afin de pouvoir prendre en compte l'impact de la variation de température de l'eau brute.

Les objectifs de traitement à obtenir sont les suivants :

- TH supérieur à 8 °F, ou TCa supérieur à 8 °F en présence prépondérante de magnésium dans l'eau brute, et TAC supérieur à 8 °F,
- conductivité supérieure à 200 µS/cm à 25 °C,
- pH voisin de 8
- eau non corrosive

La conception des filtres à calcaire doit respecter les points suivants :

- une filtration descendante,
- un lavage à contre courant à l'air et à l'eau,
- des recharges en calcaire terrestre régulières et en petites quantités
- un dimensionnement du filtre et des annexes de lavage pour une densité de calcaire de 1,8.

Pour les filtres à calcaire terrestre concassé, le temps de contact minimal recommandé est de 30 minutes.

Dans le cadre du changement de produit neutralisant, des investissements doivent être réalisés pour permettre l'adaptation des installations existantes, y compris sur des installations récentes, qui fonctionnent sans problème apparent et dont les équipements sont en parfait état.

Chaque installation de traitement devra être étudiée **au cas par cas** pour déterminer l'impact technico-économique des adaptations à mettre en œuvre.

VIII - ANNEXES

| | |
|--------------------|--|
| Annexe I | Glossaire |
| Annexe II | Rappels concernant la réglementation des eaux destinées à la consommation humaine |
| Annexe III | Compréhension de la composition des eaux naturelles |
| Annexe IV | Les constantes d'équilibre |
| Annexe V | L'équilibre calco-carbonique |
| Annexe VI | Impact de l'eau vis-à-vis des matériaux des réseaux |
| Annexe VII | Exemple de dimensionnement de filtre à calcaire |
| Annexe VIII | Fiches techniques des produits testés |

ANNEXE I :

GLOSSAIRE

Unités du système international

Ampère : unité de courant électrique. L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newton par mètre de longueur. Son symbole est « A ».

Candela : unité d'intensité lumineuse. La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian. Son symbole est « cd ».

Kelvin : unité de température thermodynamique. Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau. Son symbole est « K ». En raison de la manière dont les échelles de température étaient habituellement définies, il resta d'usage courant d'exprimer la température thermodynamique, symbole T, en fonction de sa différence par rapport à la température de référence $T_0 = 273,15$ K, le point de congélation de l'eau. Cette différence de température est appelée température Celsius, symbole t, et elle est définie par l'équation entre grandeurs :

$$t = T - T_0$$

L'unité de température Celsius est le degré Celsius, symbole « °C », égal à l'unité kelvin par définition. Une différence ou un intervalle de température peut s'exprimer aussi bien en kelvins qu'en degrés Celsius, la valeur numérique de la différence de température étant la même. Cependant, la valeur numérique de la température Celsius exprimée en degrés Celsius est liée à la valeur numérique de la température thermodynamique exprimée en kelvins par la relation :

$$t = T - 273,15$$

Kilogramme : unité de masse. Il est égal à la masse du prototype international du kilogramme. Son symbole est « kg ».

Mètre : unité de longueur. C'est la longueur parcourue dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde. Son symbole est « m ».

Mole : unité de quantité de matière, d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de carbone 12. Son symbole est « mol ».

Seconde : unité de temps. C'est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. Son symbole est « s ».

Le système international définit également les unités dérivées. Pour plus d'informations, on se réfèrera à la 8^{ème} édition du Système international d'unités de 2006 du Bureau International des poids et mesures, et de l'organisation intergouvernementale de la convention du mètre.

Unités en dehors du système international dont l'usage est accepté avec le système international

Le volume peut ainsi être exprimé en litres. Le litre et son symbole « l » (en minuscule) furent adoptés par le Comité international en 1879. Le symbole « L » (en capitale) fut adopté en 1979 comme alternative pour éviter le risque de confusion entre la lettre l et le chiffre un, 1.

Le temps, quant à lui, peut être défini par trois unités de temps accessoires :

- la minute, symbole « min »,
- l'heure, symbole « h »,
- le jour, symbole « d ».

Unités spécifiques au traitement des eaux

Equivalent-gramme (eq)

L'équivalent-gramme est le quotient de la masse molaire d'un corps par le nombre de charges de même signe portées par les ions que libère une molécule de ce corps en solution aqueuse. Une mole d'acide sulfurique H_2SO_4 libère deux charges positives et deux charges négatives. Un équivalent-gramme de H_2SO_4 est égal à la moitié de la masse d'une mole de H_2SO_4 .

Milliéquivalent par litre (meq/L)

C'est la quantité de l'électrolyte considéré, dissoute dans un litre de solution équivalente au millième de l'équivalent-gramme de cet électrolyte.

Degré français (°F)

Il est d'usage, **en France**, d'exprimer les concentrations des principaux ions d'une eau dans cette unité. $1 \text{ meq/L} = 5 \text{ °F}$

Quelques définitions

Concentration (volumique)

Elle représente la masse de corps dissous ou dispersé dans un certain volume d'eau. Elle s'exprime par exemple en mg/L ou en g/m³.

Masse molaire

La masse molaire d'un corps correspond au quotient de la masse de ce corps par la quantité de matière qu'il contient, exprimée en grammes par mole (g/mol).

Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est un sigle signifiant potentiel hydrogène et qui représente la mesure de l'alcalinité en chimie. Le pH mesure la concentration d'une solution aqueuse en protons (H^+) et le degré d'acidité ou de basicité d'une solution.

Salinité

La **salinité totale** d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents, exprimée en mg/L.

Le **résidu sec** obtenu par évaporation est généralement plus faible du fait de la décomposition des hydrogéocarbonates en carbonates et CO_2 .

Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet TAC

Le titre alcalimétrique complet est généralement exprimé en °F

Le titre alcalimétrique (TA) représente la concentration en alcalis libres (OH^-) et la moitié de la concentration en carbonates (CO_3^{2-}).

Le titre alcalimétrique complet (TAC) représente la concentration en alcalis libres (OH^-), en carbonates (CO_3^{2-}) et en hydrogénocarbonates (HCO_3^-).

Titre hydrotimétrique (TH)

Le titre hydrotimétrique représente la concentration en ions alcalinoterreux présents dans l'eau.

On distingue :

- le TH total (TH) : teneur globale d'une eau en ions Ca^{2+} et Mg^{2+}
- le TH calcique (TCa) : teneur en calcium
- le TH magnésien (TMg) : teneur en magnésium

Le titre hydrotimétrique est généralement exprimé en °F

Titre en sels d'acides forts (SAF)

Dans les eaux naturelles, il n'y a pas d'acides forts libres. Ne sont présents que des sels de ces acides, principalement les sulfates, les chlorures et les nitrates. Le SAF exprime la teneur globale en sels de ces acides forts.

Turbidité

C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes.

Unité de distribution (UDI)

Ce terme désigne le réseau ou la partie du réseau physique de distribution qui délivre une eau de qualité réputée homogène (même origine).

Valence

La valence d'un ion en solution correspond au nombre d'électrons que cet ion partage avec un autre ion pour former des composés électriquement neutres. Le fer, par exemple, peut posséder plusieurs valences en fonction de son état d'oxydation (Fe^{++} , Fe^{+++}).

ANNEXE II :

RAPPELS CONCERNANT LA REGLEMENTATION DES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE

Procédures administratives

Les articles R 1321-6 à R 1321-14 du Code de la santé publique définissent les différentes procédures à suivre.

L'article R 1321-6 du Code de la santé publique précise que l'utilisation d'eau prélevée dans le milieu naturel doit être autorisée par arrêté préfectoral pris après avis du Comité Départemental de l'Environnement des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) et dans les cas prévus à l'article R 1321-8 du Code de la santé publique à l'avis de l'Anses.

L'article R 1321-6 du Code de la santé publique prévoit que l'arrêté d'autorisation préfectoral indique les procédés et produits de traitement techniquement appropriés qui peuvent être utilisés.

L'article R 1321-7 du Code de la santé publique précise la composition du dossier de demande d'autorisation à présenter à l'administration (7 rubriques).

L'article R 1321-8 du Code de la santé publique prévoit les délais de réponse de l'administration. **Si aucune réponse n'est apportée dans les délais définis, le silence de l'autorité administrative vaut décision de rejet.**

L'article R 1321-11 du Code de la santé publique indique que tout projet de modification des installations et des conditions d'exploitation est soumis à déclaration auprès du préfet. Il en est de même en cas de changement d'exploitant.

L'article R 1321-27 du Code de la santé publique indique que lorsque la qualité de l'eau distribuée n'est pas conforme, l'exploitant doit prendre le plus rapidement possible les mesures correctives nécessaires pour rétablir la qualité de celle-ci et en faire la déclaration au préfet.

Qualité de l'eau brute

L'article R 1321-37 du Code de la santé publique définit spécifiquement les types d'eaux douces superficielles utilisables pour la production d'eau destinée à la consommation humaine et l'article R 1321-38 du Code de la santé publique définit les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées ou utilisables pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Leur utilisation est subordonnée à des traitements dont la définition est effectuée en fonction du classement de l'eau douce superficielle.

Les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées, fixées pour l'application des dispositions prévues aux articles R 1321-38 à R 1321-41 du Code de la santé publique, sont définies à l'annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et

références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique.

L'article R 1321-39 du Code de la santé publique définit la manière de vérifier la conformité des valeurs par rapport à l'annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique.

L'article R 1321-42 du Code de la santé publique précise que les eaux brutes non conformes à l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique ne peuvent pas être utilisées, sauf dérogation accordée après avis de l'Anses.

Les articles R 1321-40 et R 1321-41 du Code de la santé publique présentent les cas et les paramètres, pour lesquels le préfet peut donner une dérogation, sans attendre l'avis de l'Anses.

Le Code de la santé publique ne possède pas d'article spécifique concernant la qualité des eaux douces souterraines, toutefois les limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux de source conditionnées, fixées pour l'application des dispositions prévues aux articles R 1321-7, R 1321-17 et R 1321-42 du Code de la santé publique, sont définies à l'annexe II de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique.

Pour tout dépassement des limites de qualité des eaux brutes en vue de la consommation humaine, il est nécessaire d'obtenir l'autorisation du Ministère en charge de la santé, après avis de l'Anses.

Périmètres de protection

L'article R 1321-13 du Code de la santé publique définit pour les trois périmètres de protection (immédiat, rapproché et éloigné) les différentes interdictions et activités réglementées qui sont à prendre en compte.

Il est très clairement précisé que les périmètres de protection sont à mettre en place pour tous les prélèvements d'eau destinés à la consommation humaine, quelle que soit leur origine, superficielle ou souterraine.

L'article R 1321-12 du Code de la santé publique précise que les indemnités des hydrogéologues agréés sont à la charge du demandeur.

Suivi de la qualité – Contrôle sanitaire

L'article R 1321-16 du Code de la santé publique précise les adaptations possibles au programme d'analyses, suivant le type d'eaux brutes.

Les articles R 1321-17 et R 1321-18 du Code de la santé publique précisent les cas où le préfet peut faire augmenter la fréquence ou le nombre de paramètres à suivre sur l'eau brute.

L'article R 1321-19 du Code de la santé publique définit les organismes habilités à effectuer les prélèvements pour les analyses de contrôle externe.

L'article R 1321-21 du Code de la santé publique rappelle que les analyses sont réalisées par des laboratoires agréés en France par le Ministère chargé de la santé ou équivalents pour des laboratoires européens. Les méthodes doivent être des méthodes agréées ou équivalentes (équivalence prouvée) après avis de l'Anses.

Une grande partie des contrôles officiels est effectuée aux robinets des consommateurs.

L'annexe II de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution, pris en application des articles R 1321-10, R 1321-15 et R 1321-16 du Code de la santé publique, modifié par l'arrêté du 21 janvier 2010, définit les types et les fréquences d'analyses.

Le distributeur d'eau n'a pas autorité pour effectuer des analyses chez les particuliers sauf, par exemple, en cas de demande expresse à l'occasion de plaintes sur la qualité de l'eau.

⇒ Analyses de contrôle sanitaire

L'article R 1321-15 du Code de la santé publique précise par l'intermédiaire de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution, pris en application des articles R 1321-10, R 1321-15 et R 1321-16 du Code de la santé publique :

- le contenu des analyses types à effectuer sur les échantillons d'eau prélevés au niveau de la ressource, au point de mise en distribution et aux robinets normalement utilisés par le consommateur (annexe I tableau 1),
- la fréquence annuelle des prélèvements d'échantillons d'eau et d'analyses à la ressource (annexe II tableau 1) et aux points de mise en distribution et d'utilisation (annexe II tableau 2).

Le tableau 1 de l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution, pris en application des articles R 1321-10, R 1321-15 et R 1321-16 du Code de la santé publique donne le détail des analyses de contrôle à effectuer sur l'eau traitée au point d'entrée dans le réseau de distribution.

Il n'est donc pas prévu de contrôle sanitaire, dans l'usine de traitement et ni même explicitement en sortie d'usine, mais cependant au point de mise en distribution.

Le contrôle sanitaire est effectué par l'**Etat**, qui n'est **pas responsable de la qualité de l'eau distribuée**, mais qui **doit s'assurer que cette qualité est fiable et maîtrisée**. L'impact d'une non-maîtrise de la qualité de l'eau par le producteur d'eau est d'autant plus grand que la population desservie est importante. La fréquence des analyses est donc dépendante du nombre d'habitants desservis.

Comme le contrôle doit vérifier la qualité de l'eau en fonction des obligations de résultats prévues, il est indispensable que les méthodes analytiques soient identiques sur tout le territoire, ce qui impose des méthodes normalisées. Les délais de réponse ne sont pas aussi contraignants que pour l'autosurveillance. Le contrôle est basé sur la confiance que l'autorité sanitaire accorde au producteur d'eau. Il est donc impossible de confondre contrôle sanitaire et autosurveillance.

Le contrôle sanitaire ne peut pas remplacer l'autosurveillance, mais l'autosurveillance peut permettre à l'Etat qui a « confiance » de réduire le contrôle. C'est là tout l'esprit des articles R 1321-23, R 1321-24 et R 1321-25 du Code de la santé publique.

⇒ Autosurveillance de l'exploitant

L'article R 1321-23 du Code de la santé publique précise que la personne responsable de la production ou de la distribution de l'eau doit surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, et ce, indépendamment du programme d'analyses du contrôle sanitaire.

Elle comprend :

- un examen régulier des installations,
- un programme de tests ou d'analyses effectué sur des points déterminés en fonction des risques identifiés que peuvent présenter les installations,
- la tenue d'un fichier sanitaire recueillant l'ensemble des informations collectées à ce titre.

L'article R 1321-24 du Code de la santé publique précise qu'en plus de la mise en place d'une démarche qualité, il est préconisé la mise en place d'un système HACCP.

Dans l'article R 1321-24 du Code de la santé publique, il est également indiqué que les analyses d'autosurveillance de l'eau brute peuvent être substituées aux analyse de contrôle sanitaire lorsque :

- un plan d'assurance qualité est mis en place, basé sur la méthode HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points – Analyse des dangers et maîtrise des points critiques pour la qualité de l'eau),
- les analyses sont effectuées par un laboratoire agréé ou en assurance qualité, reconnue par un organisme de certification défini par arrêté ministériel.

Pour les traitements de désinfection, l'efficacité de cette étape doit être vérifiée et la concentration en sous-produits formés doit être maintenue aussi basse que possible, sans compromettre la désinfection. Cela concerne principalement les paramètres trihalométhanes (THM), bromates et chlorites.

Une très nette distinction doit être faite entre les analyses de contrôle sanitaire et les analyses d'autosurveillance.

L'autosurveillance, de la responsabilité du producteur ou du distributeur d'eau, doit lui permettre de connaître en permanence la qualité de l'eau et de pouvoir la maîtriser. Cela implique un choix de paramètres et une fréquence de suivi qui seront fonction des dangers et de leur occurrence.

Si un élément a une concentration qui varie dans le mois, il sera nécessaire de faire deux analyses par mois. Si la variation est de l'ordre de la journée, il faudra prévoir soit un suivi en continu, soit une étape de traitement dite passive ne nécessitant pas une modification des conditions de traitement en fonction de la concentration en polluant.

L'autosurveillance est donc directement liée aux risques et aux moyens mis en œuvre.

Le temps de réponse de l'analyse doit donc être adapté aux besoins. Des méthodes indirectes sont parfois nécessaires si le suivi direct du paramètre ne satisfait pas aux contraintes temporelles. C'est la raison pour laquelle l'autosurveillance type n'existe pas et doit donc être adaptée au cas par cas.

La personne responsable de la production ou de la distribution de l'eau doit surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, et ce, indépendamment du programme d'analyses du contrôle sanitaire.

Gestion des non conformités

Si la qualité de l'eau brute ne satisfait pas aux limites de qualité A3 de l'annexe III pour les eaux superficielles ou aux limites de qualité de l'annexe II de l'arrêté du 11 janvier 2007 pour les eaux brutes de toutes origines, le préfet peut faire augmenter la fréquence de contrôle de la qualité de l'eau.

L'article R 1321-42 du Code de la santé publique prévoit que si la qualité de l'eau brute ne satisfait pas à l'annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007, la dérogation ne peut être accordée qu'après avis de l'AFSSA. Un plan de gestion de la ressource doit impérativement être associé à cette dérogation.

Les articles R 1321-40 et R 1321-41 du Code de la santé publique précisent les cas où le préfet peut donner une dérogation.

La qualité de l'eau après traitement doit être conforme à l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique.

L'article R 1321-26 du Code de la santé publique précise que si les limites de qualité ne sont pas respectées, le distributeur d'eau est tenu d'en informer immédiatement le maire et le préfet, d'effectuer une enquête afin d'en déterminer les causes et de porter immédiatement les constatations et les conclusions de l'enquête à l'autorité sanitaire.

L'article R 1321-27 du Code de la santé publique précise qu'en cas de non-conformité, imputable au réseau public ou privé, le distributeur doit prendre le plus rapidement possible les mesures correctives pour rétablir la qualité de l'eau. Il en informe le maire et le préfet.

L'article R 1321-28 du Code de la santé publique précise que si le préfet estime que la distribution d'eau présente un risque pour la santé des personnes, il demande de prendre des mesures correctives pour rétablir la qualité de l'eau. Le distributeur informe le maire et le préfet de l'application effective des mesures prises.

L'article R 1321-29 du Code de la santé publique prévoit que le préfet ordonne soit la réduction soit l'arrêt de production d'eau potable lorsque les risques encourus par la population sont inacceptables. Dans le cas où l'utilisation de l'eau ne constitue pas un danger potentiel pour la santé des personnes, et qu'il n'existe pas d'autres moyens raisonnables de maintenir la distribution de l'eau, les articles R 1321-31 à R 1321-36 du Code de la santé publique prévoient que le préfet prononce une dérogation de distribution d'eau non conforme. L'article R 1321-31 du Code de la santé publique précise la composition du dossier à fournir pour obtenir une dérogation.

L'article R 1321-29 précise que, que les limites de qualité soient ou non respectées, si le préfet estime que la distribution d'eau constitue un risque pour la santé des personnes, il demande la restriction voire l'interruption de la distribution (en tenant compte des risques que ferait courir une interruption ou une restriction de la distribution). Le distributeur informe le maire et le préfet de l'application effective des mesures prises.

Les articles R 1321-31 à 1321-36 du Code de la santé publique précise que, si l'utilisation de l'eau ne constitue pas un danger potentiel pour la santé des personnes et s'il n'existe pas d'autres moyens de maintenir la distribution de l'eau, le distributeur peut déposer auprès du préfet une demande de dérogation aux limites de qualité. L'article R 1321-32 du Code de la santé publique définit la composition du dossier de demande de dérogation.

Les articles R 1321-44 à R 1321-46 du Code de la santé publique précisent que, si la non-conformité apparaît après le compteur et si l'origine est imputable à l'eau distribuée, le distributeur est tenu de prendre toute mesure technique appropriée pour modifier la nature ou la propriété des eaux avant qu'elles ne soient fournies. Cette obligation s'impose quelle que soit la nature des locaux ou établissements dans lesquels l'eau est fournie au public.

L'article R 1321-47 du Code de la santé publique précise que lorsqu'il y a risque, le préfet s'assure que les propriétaires des installations sont informés des mesures correctives éventuelles qu'ils pourraient prendre et que les consommateurs sont dûment informés et conseillés.

L'article R 1321-47 du Code de la santé publique précise également que pour les cas où l'eau n'est pas fournie au public et si la non-conformité n'est pas imputable à l'eau distribuée, le distributeur est réputé avoir rempli ses obligations. Le préfet veille néanmoins à la mise en place de mesures appropriées pour réduire ou éliminer ce risque, en s'assurant que les propriétaires sont informés des mesures correctives à prendre et les consommateurs sont informés et consultés.

L'article R 1321-59 du Code de la santé publique précise que l'utilisation des canalisations d'eau pour relier à la terre des appareils électriques est interdite. En cas, exceptionnel, de dérogation, il est nécessaire que la sécurité des usagers et des personnels d'exploitation soit assurée.

Obligations d'informations

L'article R 1321-25 du Code de la santé publique :

- précise que la personne responsable de la production ou de la distribution de l'eau tient à la disposition du préfet les résultats de la surveillance de la qualité de l'eau, ainsi que toutes les informations en relation avec cette qualité ?
- indique que l'exploitant tient à la disposition du préfet les résultats de la qualité de l'eau. Il porte à la connaissance du préfet tout incident pouvant avoir des conséquences pour la santé publique. Chaque année l'exploitant adresse au préfet un bilan de fonctionnement et indique le plan de surveillance défini pour l'année suivante.

Les articles R 1321-26 à R 1321-29 du Code de la santé publique précisent que pour toute non-conformité et mise en place d'actions correctives, l'exploitant doit informer le préfet et le maire.

L'article R 1321-30 du CSP précise qu'en cas de non-conformité, les consommateurs sont informés par le distributeur. Dans cas prévus à l'article R 1321-29 du CSP l'information est immédiate et assortie des conseils nécessaires.

Les articles R 1321-31 à R 1321-36 du CSP gèrent le régime de dérogations en cas de non-conformités.

L'article R 1321-35 du Code de la santé publique prévoit le détail des informations à fournir au préfet après chaque période de dérogation.

L'article R 1321-36 du Code de la santé publique précise les informations à fournir aux consommateurs pour chaque période de dérogation. L'article R 1321-36 du CSP précise également que le préfet s'assure que le distributeur a bien informé la population desservie par l'eau ayant bénéficié d'une dérogation. Il veille à ce que des conseils soient donnés aux groupes de population spécifiques pour lesquels la dérogation pourrait présenter un risque particulier.

L'article R 1321-49 du Code de la santé publique a conduit à la publication de l'arrêté du 04 novembre 2002 relatif aux modalités d'évaluation du potentiel de dissolution du plomb. Cet arrêté précise que l'exploitant transmet au préfet une étude de potentiel de dissolution du plomb dans l'eau au point de mise en distribution. Cette étude doit aussi préciser les mesures prévues pour réduire le risque de dissolution des métaux.

Outre toutes les obligations d'informations déjà citées, les propriétaires sont tenus d'informer les personnes concernées des non-conformités attribuables au réseau intérieur des immeubles.

Le décret 94-841 du 26 septembre 1994 fixait déjà une partie des obligations d'informations, concernant l'affichage en mairie des analyses de contrôle et l'envoi avec la facture d'eau de la synthèse annuelle établie par la DDASS.

Le CSP précise notamment les informations à donner en cas de dérogation sur la qualité de l'eau.

La figure 6 récapitule la démarche à mettre en œuvre en cas de non-conformité.

DEMARCHE

1. Informer le maire et le préfet
2. Rechercher l'origine du phénomène
3. Porter immédiatement les constatations et les conclusions de l'enquête aux autorités mentionnées en 1
4. Prendre les mesures de correction et restriction d'usage
5. Informer le maire et le préfet de l'application effective des mesures prises
6. Demander une dérogation si nécessaire
7. Informer les consommateurs

figure 6 : Démarche à mettre en œuvre en cas de non-conformité

L'article R 1321-47 du CSP précise qu'en cas de non-conformité non imputable à l'eau distribuée, les consommateurs doivent être informés et conseillés.

Règles techniques – Obligations de moyens

L'article R 1321-6 du Code de la santé publique prévoit que l'arrêté d'autorisation de prélèvement est pris après avis du CODERST. Il précise, en plus des conditions de réalisation, d'exploitation et de protection des points de prélèvement d'eau, les produits et procédés de traitement techniquement appropriés auxquels il peut être fait appel.

L'article R 1321-7 du Code de la santé publique spécifie les cas où le dossier doit être soumis à l'avis de l'Anses.

L'article R 1321-11 du Code de la santé publique indique que tout projet de modification des installations et des conditions d'exploitation est soumis à déclaration auprès du préfet. Il en est de même en cas de changement d'exploitant.

L'article R 1321-27 du Code de la santé publique Indique que lorsque la qualité de l'eau distribuée n'est pas conforme, l'exploitant doit prendre le plus rapidement possible les mesures correctives nécessaires pour rétablir la qualité de celle-ci.

L'article R 1321-28 du Code de la santé publique renforce l'article R 1321-27 puisque le préfet peut, dans certaines conditions, demander de prendre des mesures correctives.

Les article R 1321-44 à R 1321-46 du Code de la santé publique précisent que l'exploitant est tenu de prendre toute mesure pour modifier la nature ou la propriété des eaux avant son arrivée au robinet du consommateur, si celles-ci se dégradent lors de la distribution, quel que soit le réseau, public ou privé, surtout si de l'eau est fournie au public.

L'article R 1321-47 du Code de la santé publique prévoit que si la dégradation de la qualité de l'eau est imputable au réseau privé, le préfet veille à ce que :

- les propriétaires soient informés des mesures correctives éventuelles qu'ils pourraient prendre,
- les consommateurs soient dûment informés et conseillés au sujet d'éventuelles mesures correctives supplémentaires qu'ils devront prendre.

L'article R 1321-48 du Code de la santé publique précise que les matériaux utilisés ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, et que les matériaux et objets utilisés dans le système de production d'eau, comme les produits et procédés de traitement sont soumis à autorisation du Ministère en charge de la santé après avis de l'Anses.

Le Code de la santé publique impose certaines règles techniques concernant les réseaux privés à l'intérieur des immeubles. Ces règles techniques sont importantes car la qualité de l'eau se mesure à un robinet normalement utilisé pour la consommation humaine.

L'article R 1321-46 du Code de la santé publique rappelle que les règles d'hygiène doivent être respectées dans les réseaux à l'intérieur des immeubles.

L'article R 1321-49 du Code de la santé publique rappelle que l'usage du plomb est interdit.

L'article R 1321-53 précise que, si un traitement complémentaire de l'eau est effectué dans l'immeuble, il faut que les consommateurs puissent disposer de robinets recevant de l'eau non traitée et que les produits et procédés de traitement soient agréés.

L'article R 1321-57 du Code de la santé publique précise que les réseaux intérieurs ne doivent pas pouvoir perturber le fonctionnement des réseaux auxquels ils sont raccordés (phénomènes de retours d'eau notamment, etc.). Un arrêté précisera les protections à mettre en place.

L'article R 1321-58 du Code de la santé publique précise que la hauteur piézométrique de l'eau distribuée par les réseaux intérieurs doit, en tout point de mise à disposition, être au moins égale à 3 mètres à l'heure de pointe de consommation. Pour les immeubles de plus de six étages, une surpression est nécessaire pour garantir ces obligations.

L'article R 1321-59 du Code de la santé publique précise que l'utilisation des canalisations d'eau pour relier à la terre des appareils électriques est interdite.

L'article R 1321-60 du Code de la santé publique précise que les réservoirs, bâches de stockage, systèmes de protection et de traitement doivent être entretenus et vérifiés. Un arrêté interministériel précisera les modalités de cet entretien et des vérifications.

Limites et références de qualité

Les articles R 1321-2 et R 1321-3 du Code de la santé publique définissent les obligations de résultats à satisfaire pour une eau destinée à la consommation humaine. Ces articles élargissent le champ d'application, car il prend en compte les microorganismes, les parasites et toute autre substance constituant un danger potentiel pour la santé des personnes, **même si elles ne figurent pas explicitement** dans l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R 1321-2, R 1321-3, R 1321-7 et R 1321-38 du Code de la santé publique.

L'article R 1321-5 du Code de la santé publique précise que la qualité de l'eau se mesure à un robinet normalement utilisé pour la consommation humaine. Par contre, l'article R 1321-3 du Code de la santé publique que pour les références de qualité concernant les indicateurs d'efficacité de traitement, certaines valeurs d'indicateurs doivent être respectées en sortie d'usine.

Les limites de qualité concernent les paramètres ayant un effet toxique pour l'homme.

Les références de qualité portent sur des paramètres microbiologiques, chimiques et radiologiques à des fins de suivi de l'efficacité des installations de traitement, **et** de maintien de la qualité de l'eau distribuée dans le réseau de distribution publique jusqu'au robinet du consommateur.

Une des principales différences entre les limites et références de qualité réside dans la gestion des dépassements des valeurs, telle que définie dans les articles R 1321-26 à R 1321-36 du code de la santé.

ANNEXE III :

COMPREHENSION DE LA COMPOSITION DES EAUX NATURELLES

La composition des eaux naturelles

Nous appellerons eaux naturelles, les eaux de ruissellement sur les sols à la suite des précipitations atmosphériques, et qui dans leur parcours aérien et souterrain se chargent d'éléments divers. Les eaux naturelles ne sont donc pas pures et contiennent différents éléments chimiques dissous :

- des gaz,
- des sels de base forte et d'acide fort,
- des sels de base forte et d'acide faible.

LES GAZ

Les gaz proviennent des échanges avec l'atmosphère ou d'actions chimiques ou biologiques spécifiques. Les principaux gaz dissous sont l'azote, l'oxygène et le gaz carbonique. D'autres gaz peuvent également être dissous dans l'eau (hydrogène sulfuré), mais à des concentrations très faibles par rapport aux trois premiers.

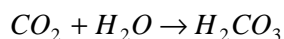
L'azote et l'oxygène

Ces deux gaz se dissolvent dans l'eau sans dissociation. Leur dissolution dans l'eau sera régie par l'échange liquide gaz, au travers de :

- la loi de Henry, en phase liquide, qui, pour une température donnée, donne la relation entre la fraction molaire en phase liquide et la pression partielle de ce gaz,
- la loi de Dalton et la loi des gaz parfaits, en phase gazeuse.

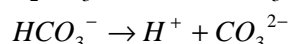
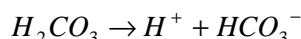
Le gaz carbonique

Le gaz carbonique CO_2 , au contact de l'eau se transforme en acide carbonique H_2CO_3 selon la réaction réversible, définie par l'équation 5.



équation 5 : Réaction d'équilibre gaz carbonique acide carbonique

Cet acide faible peut encore se dissocier selon les réactions réversibles, définies par l'équation 6.



équation 6 : Réactions de dissociation de l'acide carbonique

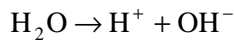
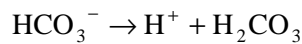
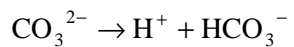
HCO_3^- représente l'ion hydrogénocarbonate (bicarbonate) et CO_3^{2-} l'ion carbonate.

LES SELS DE BASE FORTE ET D'ACIDE FORT

Ces sels, tel le sulfate de calcium, sont généralement totalement dissociés en anions et cations.

LES SELS DE BASE FORTE ET D'ACIDE FAIBLE

Ces sels sont généralement totalement dissociés en cations et anions, l'acide faible étant soit l'acide carbonique, soit un acide humique. Compte tenu des éléments figurant dans les eaux naturelles, les sels d'acides humiques sont présents en très faible concentration, et nous les négligerons par la suite. Les sels de l'acide carbonique sont donc les seuls à considérer. Les ions carbonates CO_3^{2-} s'associent aux ions H^+ présents dans l'eau pour former des ions hydrogénocarbonates et de l'acide carbonique selon les réactions, définies par l'équation 7. Ce processus est l'inverse de celui exposé pour la dissolution du gaz carbonique.



équation 7 : Evolution de H_2CO_3 , HCO_3^- et CO_3^{2-} en fonction du pH

La figure 7 montre l'évolution des différentes formes du CO2 dissocié dans l'eau en fonction du pH.

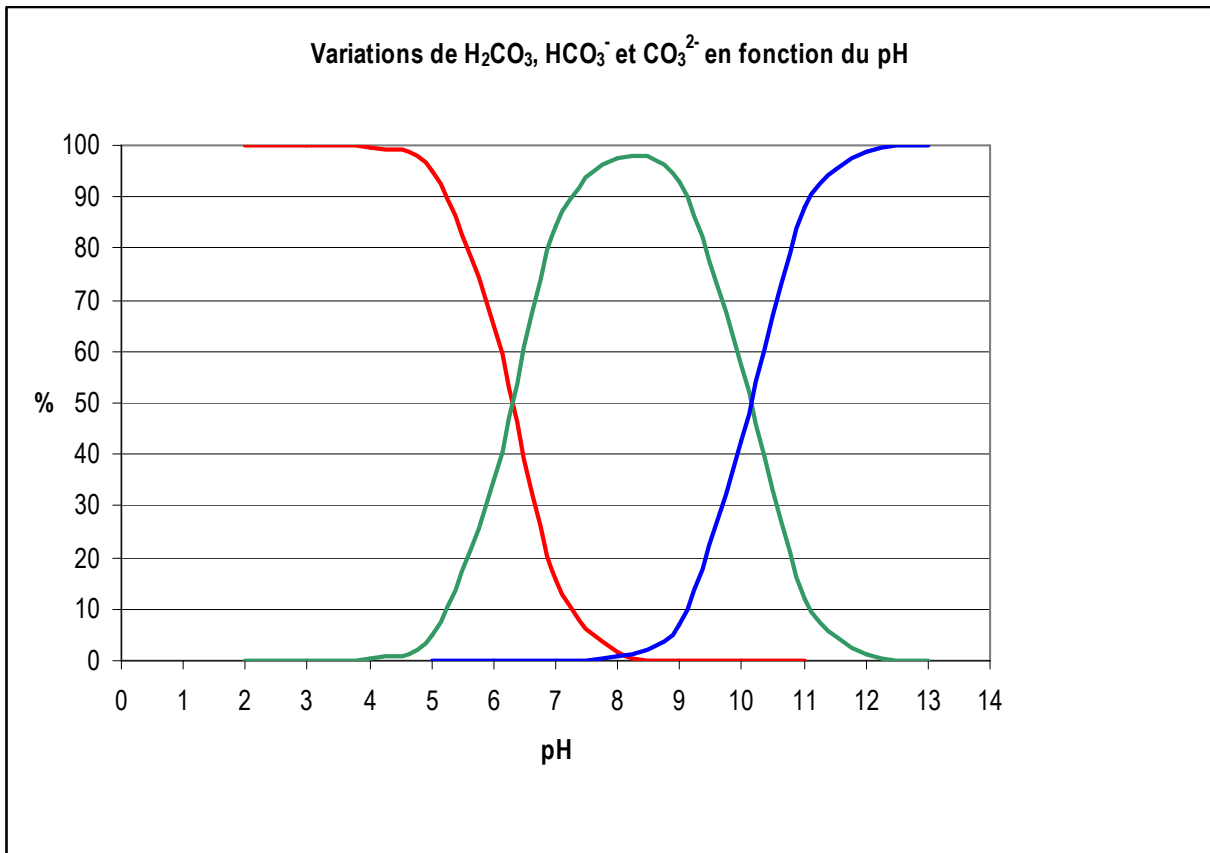


figure 7 : Variations de H_2CO_3 , HCO_3^- et CO_3^{2-} (en %) en fonction du pH

Pour des valeurs de pH < 4, tout le CO2 est sous forme d'acide carbonique. Pour 4 < pH < 8, la concentration en carbonate est négligeable et nous sommes dans le domaine de l'équilibre

acide carbonique hydrogénocarbonate. Pour $8 < \text{pH} < 12$, la concentration en acide carbonique est négligeable et nous sommes dans le domaine de l'équilibre hydrogénocarbonate carbonate.

Pour $6 < \text{pH} < 8,5$, nous sommes dans le domaine des eaux naturelles.

Eléments fondamentaux et éléments caractéristiques

Eléments fondamentaux

Le gaz carbonique étant présent dans l'atmosphère, les eaux naturelles contiennent toujours des molécules d'acide carbonique. Compte tenu de son processus de dissociation détaillé précédemment, les eaux naturelles contiennent toujours des ions H^+ , OH^- , HCO_3^- et CO_3^{2-} . L'élément calcium étant très répandu dans la nature, l'ion calcium est également présent dans toutes les eaux naturelles. Les éléments fondamentaux sont donc constitués par les ions H^+ , OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} et Ca^{2+} . Ils existent dans tous les types d'eaux, même à l'état de traces.

Eléments caractéristiques

Ce sont les autres ions présents dans les eaux naturelles, autres que ceux décrits précédemment. Ils sont constitués des cations Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , ... et des anions SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_2 , ... Toutes les eaux n'en contiennent pas. Ces éléments confèrent à l'eau son « caractère » : on parle couramment d'eaux sulfatées, d'eaux chlorurées, d'eaux magnésiennes, d'eau bicarbonatées, d'eaux calciques, etc. Lorsqu'on réalise un traitement, on modifie :

- les éléments fondamentaux,
- les éléments caractéristiques,
- ou les deux à la fois.

Equation de neutralité électrique

L'ensemble des cations et des anions présents dans une eau naturelle est électriquement neutre. Les concentrations des éléments étant exprimées en milliéquivalents par litre, l'équation de neutralité électrique s'écrit au moyen de l'équation ci-dessous.

$$[\text{H}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + \dots = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-] + \dots$$

équation 8 : Equation complète de neutralité électrique

En posant P la somme des cations caractéristiques, avec $P = [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+] + \dots$

et N la somme des anions caractéristiques, avec $N = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{SiO}_2] + \dots$,

les concentrations des éléments étant exprimées en milliéquivalents par litre, la formule de neutralité électrique est donnée par l'équation simplifiée ci-dessous.

$$[\text{H}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + P = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + N$$

équation 9 : Equation simplifiée de neutralité électrique

P peut être supérieur, égal ou inférieur à N, en fonction des caractéristiques des eaux naturelles.

ANNEXE IV :

LES CONSTANTES D'EQUILIBRE

Les relations entre les éléments fondamentaux sont régies par diverses constantes :

- la constante de dissociation de l'eau K_e ,
- les constantes de dissociation de l'acide carbonique K_1 et K_2 ,
- le produit de solubilité du carbonate de calcium K_s .

K représente la valeur de la constante considérée à force ionique nulle, c'est à dire pour une eau pure ne contenant que les ions $[H^+]$ et $[OH^-]$, et pour une température donnée, et K' la valeur de la constante considérée pour la force ionique de l'eau considérée et pour une température donnée. Les constantes étant exprimées par des puissances négatives de 10, par souci de simplification, on utilise leur cologarithme, que l'on note pK et pK' , comme indiqué dans l'équation 10.

$$pK = -\log[K]$$

équation 10 : pK

Constante de dissociation de l'eau K_e

La constante de dissociation de l'eau K_e est donnée par l'équation 11.

$$[H^+][OH^-] = K_e$$

équation 11 : Constante de dissociation de l'eau K_e

Constantes de dissociation de l'acide carbonique K_1 et K_2

Les constantes d'équilibre de dissociation de l'acide carbonique K_1 et K_2 sont données par l'équation 12.

$$\frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = K_1$$

$$\frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = K_2$$

équation 12 : Constantes de dissociation de l'acide carbonique K_1 et K_2

Produit de solubilité du carbonate de calcium K_s

Le produit de solubilité du $CaCO_3$ K_s est donné par l'équation 13.

$$[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = K_s$$

équation 13 : Produit de solubilité du carbonate de calcium

Influence de la température sur les constantes d'équilibre

La température influe sur la valeur des constantes de dissociation. Les valeurs des pK_e , pK_1 , pK_2 et pK_s , corrigées en fonction de la température, sont données dans le tableau 12.

| Température (°C) | pK_e | pK_1 | pK_2 | pK_s |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 14,940 | 6,583 | 10,627 | 8,022 |
| 10 | 14,526 | 6,476 | 10,490 | 8,151 |
| 18 | 14,239 | 6,410 | 10,400 | 8,260 |
| 20 | 14,167 | 6,393 | 10,377 | 8,280 |
| 25 | 14,000 | 6,366 | 10,329 | 8,342 |
| 30 | 13,836 | 6,345 | 10,290 | 8,395 |
| 40 | 13,537 | 6,314 | 10,220 | 8,514 |
| 50 | 13,263 | 6,297 | 10,172 | 8,625 |
| 60 | 13,016 | 6,294 | 10,143 | 8,738 |
| 70 | 12,700 | 6,301 | 10,124 | 8,860 |
| 80 | | 6,315 | 10,122 | 8,975 |

tableau 12 : Influence de la température sur les constantes de dissociation

Influence de la force ionique

Les eaux naturelles ne peuvent pas être considérées comme des solutions pures, leur force ionique n'est donc pas nulle. La force ionique μ de l'eau considérée (exprimée en moles par litre) est définie par l'équation 19 (Lewis et Randall, 1921):

$$\mu = \frac{1}{2} \sum c_n v_n^2$$

équation 14 : Force ionique μ

c_n et v_n représentent respectivement la concentration et la valence de l'ion n présent dans l'eau, la concentration étant exprimée en moles par litre.

Les valeurs des différents pK corrigés sont données par les équation 15.

$$pK'_e = pK_e - \varepsilon$$

$$pK'_1 = pK_1 - \varepsilon$$

$$pK'_2 = pK_2 - 2\varepsilon$$

$$pK'_s = pK_s - 4\varepsilon$$

équation 15 : Correction des différentes constantes d'équilibre en fonction de la force ionique

Le terme ε peut être calculé à partir de la force ionique μ de l'eau considérée à partir de l'équation 16.

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\mu}}{1 + 1,4\sqrt{\mu}}$$

équation 16 : Calcul du terme ε

ANNEXE V :

L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE

Détermination de l'agressivité ou du caractère incrustant par le calcul

⇒ Indice de Langelier

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité est la méthode de Langelier. Langelier a établi un indice I_s , appelé indice de saturation ou indice de Langelier, égal à la différence entre le pH mesuré sur site de l'eau considérée et son pH_s calculé.

$$I_s = pH - pH_s$$

équation 17 : Indice de Langelier

Le tableau 13 résume les différentes possibilités pour l'équilibre d'une eau.

| Cas | | Caractéristique de l'eau |
|-----------|-------------|------------------------------------|
| $I_s < 0$ | $pH < pH_s$ | Eau agressive |
| $I_s = 0$ | $pH = pH_s$ | Eau à l'équilibre calco-carbonique |
| $I_s > 0$ | $pH > pH_s$ | Eau incrustante |

tableau 13 : Variation de l'équilibre calco-carbonique d'une eau en fonction de son pH et de son pH_s

La circulaire DGS/SD7A/2007/39 du 23 janvier 2007 complète cette notion d'agressivité par la définition de 5 classes d'eau définies dans le tableau 1.

| Cas | | Caractéristique de l'eau |
|-------------------------|------------------------------------|--|
| 1 ^{ère} classe | eau à l'équilibre calco-carbonique | $-0,2 \leq pH_{eq} - pH_{in\ situ} \leq 0,2$ |
| 2 ^{ème} classe | eau légèrement agressive | $0,2 < pH_{eq} - pH_{in\ situ} \leq 0,3$ |
| 3 ^{ème} classe | eau agressive | $0,3 < pH_{eq} - pH_{in\ situ}$ |
| 4 ^{ème} classe | eau légèrement incrustante | $-0,3 \leq pH_{eq} - pH_{in\ situ} < -0,2$ |
| 5 ^{ème} classe | eau incrustante | $pH_{eq} - pH_{in\ situ} < -0,3$ |

tableau 14 : Classes d'eau pour la définition de l'équilibre calco-carbonique

Il est considéré que la référence de qualité est satisfaite lorsque :

- $-0,2 \leq \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} \leq 0,2$ (eau à l'équilibre calco-carbonique),
- $-0,3 \leq \text{pH}_{\text{eq}} - \text{pH}_{\text{in situ}} < -0,2$ (eau légèrement incrustante).

avec $\text{pH}_{\text{in situ}}$, le pH mesuré *in situ* (sur site) et pH_{eq} , le pH d'équilibre.

Le pH_s et le pH_{eq} représentent le pH d'équilibre, respectivement dans la méthode de Langelier et la classification de la DGS. Il est important de faire attention au sens de calcul de la différence de pH entre le pH d'équilibre et le pH mesuré sur site, Langelier et la DGS n'effectuant pas leur calcul de la même manière (une différence de pH de $-0,3$ correspond à une eau agressive pour Langelier et à une eau entartrante pour la DGS).

Pour la classification d'une eau, c'est la méthode de la DGS qui doit être privilégiée.

⇒ **Méthode de Hallopeau et Dubin**

Cette méthode permet de déterminer graphiquement l'agressivité d'une eau vis-à-vis du carbonate de calcium.

GRAPHIQUE CARBONIQUE

Méthode J. Hallopeau & Ch. Dubin

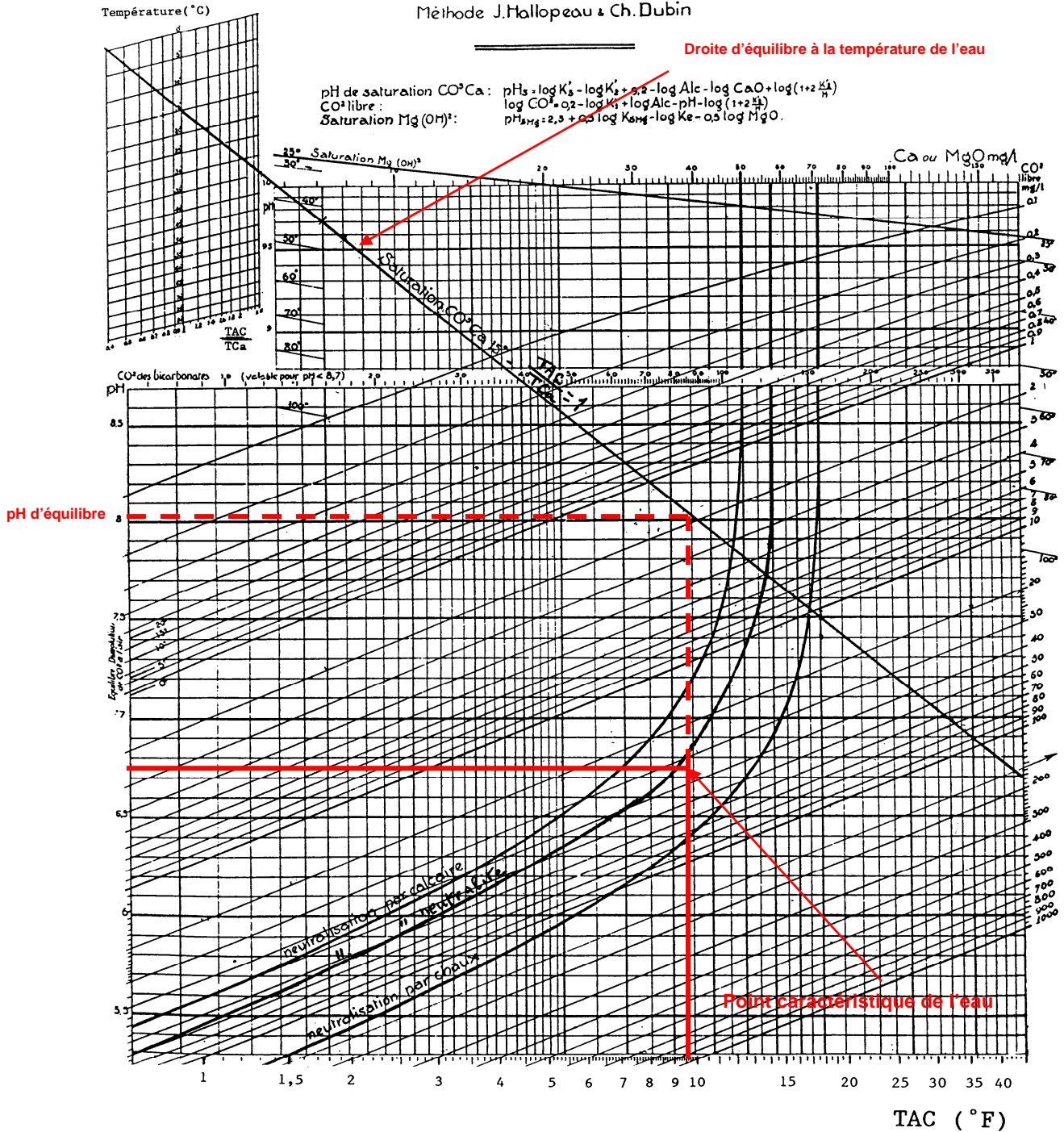


figure 8 : Exemple de représentation graphique selon la méthode de Hallopeau et Dubin

Le graphique d'Hallopeau et Dubin comporte en abscisse l'alcalinité (échelle logarithmique) et en ordonnée le pH. Le CO₂ libre et le pH de saturation du carbonate de calcium sont représentés sous forme de deux ensembles de droites parallèles. Cette méthode ne fait intervenir que les éléments fondamentaux.

Connaissant le pH et l'alcalinité d'une eau, on peut déterminer le CO₂ libre de cette eau. Le graphique permet de déterminer le point caractéristique de l'eau, à une température donnée, et de définir si l'eau est agressive ou incrustante, à cette température.

Le pH de saturation se lit immédiatement sur le graphique. C'est le pH du point d'intersection de la droite de saturation de l'eau considérée avec l'ordonnée de l'alcalinité de cette eau.

Cette méthode permet également de déterminer graphiquement les quantités de réactifs de neutralisation à mettre en œuvre à l'aide des courbes figurant sur le graphique.

⇒ Diagrammes de Legrand, Poirier et Leroy

Ces auteurs travaillent sur un système graphique dans lequel sont portés en abscisse la concentration en Ca²⁺ et en ordonnée la concentration en CO₂ total ou carbone minéral total (CMT), les concentrations étant exprimées en mmol.L⁻¹. Le CMT est un paramètre qui reste constant, tant que l'eau est en système fermé et qu'il n'y a pas de précipitation de carbonates ou d'évasion de CO₂.

Ce système graphique permet pour une eau dont on connaît les éléments caractéristiques d'indiquer la valeur du TAC, du TA et du CO₂ qui correspondent à l'équilibre.

En posant P la somme des éléments caractéristiques cationiques et N la somme des éléments caractéristiques anioniques, exprimés en mmol.L⁻¹, on détermine le paramètre λ, constante caractéristique de l'eau considérée, au moyen de l'équation 18.

$$\lambda = \frac{N - P}{2}$$

équation 18 : Constante λ

Ce système graphique permet de suivre les évolutions de l'eau dans de très nombreuses configurations (élévation de température, ajout de réactifs de conditionnement, etc.).

La mise en œuvre d'un traitement peut également être visualisée sur le graphique par un déplacement du point figuratif de l'eau ou un déplacement de la courbe d'équilibre ou les deux à la fois. La méthode développée par les auteurs est la plus complète. Elle permet d'effectuer des calculs précis, mais elle nécessite la mise en œuvre de calculs complexes.

Le développement des outils informatiques permet de simplifier son application.

Le logiciel LPLWIN (payant), le plus performant, permet d'effectuer :

- la détermination du caractère agressif ou entartrant d'une eau, suivant la classification de la DGS (à partir de la version 5.13),
- des simulations de traitement.

D'autres logiciels libres sont disponibles sur internet.

ANNEXE VI :

IMPACT DE L'EAU VIS-A-VIS DES MATERIAUX DES RESEAUX

L'importance de maîtriser l'agressivité de l'eau vis-à-vis des ouvrages du réseau vient d'être décrite dans la partie précédente. Les matériaux ferreux et non-ferreux constituant le réseau sont aussi susceptibles, selon la composition de l'eau, d'être attaqués par ces eaux et conduire à une détérioration du patrimoine et quelquefois à une dégradation de la qualité organoleptique et physico-chimique de l'eau (relargage de plomb, de cuivre, de nickel, eaux colorées par le fer dissous ou particulaire...).

Facteurs d'influence de la corrosion

⇒ Influence de la minéralisation

La minéralisation de l'eau induit deux actions sur le processus de corrosion :

- **par la conductivité induite** : une eau très minéralisée est très conductrice et favorise les échanges d'ions, permettant une dissolution plus facile des métaux,
- **par la présence d'ions remarquables** : sulfates, chlorures, ammonium, etc. Les ions chlorures ont la particularité d'être très mobiles. Ils peuvent se concentrer dans les microfissures à la surface du métal. Ils induisent localement une baisse du pH qui s'accompagne d'une corrosion acide. Par ailleurs, ils s'adsorbent facilement à la surface des métaux et rendent les dépôts poreux. Les ions sulfates rendent également les dépôts poreux. Ils participent au cycle des bactéries sulfito-réductrices, responsables de corrosions bactériennes. Les ions ammoniums ont un effet corrosif sur le cuivre et ses alliages.

En revanche, une eau insuffisamment minéralisée est tout aussi gênante, car elle possède insuffisamment d'ions susceptibles de former une couche protectrice avec le métal.

La référence de qualité pour la conductivité d'une eau fournie par un réseau de distribution est comprise entre 180 et 1 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 20°C ou entre 200 et 1 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 25°C.

⇒ Influence de la température

La température joue sur :

- la vitesse des réactions chimiques
- la viscosité de l'eau, et donc sur les possibilités de diffusion de l'oxygène.

L'élévation de température favorise le dégazage de l'eau. Ces gaz, s'ils ne sont pas évacués, vont former des poches en point haut qui deviendront des zones cathodiques. Il est donc nécessaire de créer des points de purge efficace en points hauts pour lutter contre la corrosion.

L'élévation de température déplace l'équilibre calco-carbonique de l'eau vers une précipitation de carbonates insolubles. Ces dépôts carbonatés qui peuvent être protecteurs à basse température, se déposent dès 50 à 60 °C sous formes de dépôts poreux, qui aggravent alors les processus de corrosion.

⇒ Influence de la teneur en oxydant

La corrosion croît linéairement en fonction de la concentration en oxygène, pour des concentrations en oxygène de 1 à 5 mg.L⁻¹. Au-delà, la passivation naturelle (couche de Tillmans) peut intervenir dans les conditions déjà formulées.

D'autres oxydants, utilisés en particulier en désinfection comme le chlore, l'acide hypochloreux ou l'hypochlorite de sodium, peuvent jouer dans le processus de corrosion. Ce sont les points d'injection qui sont particulièrement sensibles à la corrosion.

⇒ Influence des micro-organismes

Lorsque les conditions de température, de substrat, d'agitation, de présence ou d'absence d'oxygène sont réunies, un écosystème peut se développer, dans lequel les différents règnes animal, bactérien et végétal peuvent coexister. En complément de l'impact sanitaire, les conséquences sont :

- la présence de colonies adhérentes (biofilm) aux parois des équipements pouvant induire des corrosions par aération différentielle,
- l'accélération des réactions d'anode ou de cathode, où certaines bactéries puisent leur énergie,
- la corrosion par les produits du métabolisme.

Protection contre la corrosion

⇒ Élimination des agents de corrosion

Le principal agent de corrosion, dans un réseau de distribution, est la présence de corps étrangers, pouvant provenir :

- de la fabrication des tubes,
- du stockage des équipements sur les chantiers, avec introduction de sables, boues, ciments, feuilles, insectes, etc.,
- de l'assemblage des équipements (laitiers de soudure, copeaux et limailles, ...).

Un nettoyage du réseau avant sa mise en service définitive est indispensable.

Les boues doivent pouvoir être purgées efficacement, par la mise en place de purges en points bas des réseaux, équipés de robinets de chasse à ouverture rapide, d'un diamètre minimum de 40 mm.

De même, les gaz doivent pouvoir être éliminés efficacement, par l'intermédiaire de ventouses placées en points hauts des réseaux.

⇒ Protection par isolation physique

L'objectif est de créer une barrière étanche entre l'eau et la surface des équipements. Les produits déposés peuvent l'être avant la mise en service des équipements (polyéthylène, ciment) ou pendant le service (produits filmogènes). Néanmoins, aucun revêtement n'est parfait et des microfissures peuvent être le siège de corrosions perforantes.

⇒ Passivation naturelle

Une eau incrustante, à la température ambiante, verra son carbonate de calcium précipiter avec l'hydroxyde ferrique formé, si la concentration en oxygène est suffisante. On parle également de « syncristallisation » de l'hydroxyde ferrique avec le carbonate de calcium. Ce dépôt, appelé couche de Tillmans (voir chapitre), est non poreux et assure la protection des réseaux de distribution d'eau froide.

⇒ Utilisation d'inhibiteurs de corrosion

Un inhibiteur ou passivant est un produit dont la formulation permet de constituer :

- soit une couche protectrice isolant le métal sous-jacent de l'eau,
- soit la constitution d'un film hydrophobe qui joue le rôle d'isolation physique.

Le choix et le dosage d'un inhibiteur doit être effectué avec le plus grand soin car :

- ils peuvent rendre une eau impropre à la consommation humaine s'ils sont surdosés : cas des silicates et produits phosphatés autorisés par le Ministère de la Santé, sous certaines conditions de dosage,
- ils peuvent être efficaces pour un type de réseau et dangereux dans d'autres cas : les phosphates sont des nutriments pour les bactéries dans les réseaux.

ANNEXE VII :

EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT DE FILTRE A CALCAIRE

SIAEP DES ODOUSSES

Usine de neutralisation

DONNEES DE BASE

| | |
|---|------------------------------------|
| Débit de traitement | 10 m ³ /h |
| Volume de traitement journalier | 200 m ³ /jour |
| Temps de contact minimal | 30 min |
| Hauteur de matériau en fin de cycle | 1,00 m |
| Hauteur maximale de rechargement | 0,15 m |
| Concentration en CO ₂ agressif | 50 g/m ³ |
| Consommation de calcaire | 2,5 g / g CO ₂ agressif |
| Densité du matériau | 1,3 |

DIMENSIONNEMENT DU FILTRE A CALCAIRE

Le temps de contact minimal correspond au temps de contact en fin de cycle de neutralisation

Le temps de contact est défini par rapport au volume de matériau à mettre en œuvre dans le filtre

| | |
|--|---------------------|
| Volume minimal de calcaire en fin de cycle de neutralisation | 5,00 m ³ |
| Hauteur de calcaire en fin de cycle de neutralisation | 1,00 m |
| Surface du filtre à calcaire | 5,00 m ² |

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| Volume de calcaire à recharger | 0,75 m ³ |
| Tonnage de calcaire à recharger | 975 kg |
| Autonomie entre deux recharges | 39,0 jours |

| | |
|--|---------------------|
| Volume minimal de calcaire en fin de cycle de neutralisation | 5,00 m ³ |
| Temps de contact en fin de cycle de neutralisation | 30,00 min |
| Volume de calcaire en début de cycle de neutralisation | 5,75 m ³ |
| Temps de contact en début de cycle de neutralisation | 34,50 min |

tableau 15 : Exemple de dimensionnement d'un filtre à calcaire – calcaire de densité 1,3

SIAEP DES ODOUSSES

Usine de neutralisation

DONNEES DE BASE

| | |
|---|------------------------------------|
| Débit de traitement | 10 m ³ /h |
| Volume de traitement journalier | 200 m ³ /jour |
| Temps de contact minimal | 30 min |
| Hauteur de matériau en fin de cycle | 1,00 m |
| Hauteur maximale de rechargement | 0,15 m |
| Concentration en CO ₂ agressif | 50 g/m ³ |
| Consommation de calcaire | 2,5 g / g CO ₂ agressif |
| Densité du matériau | 1,8 |

DIMENSIONNEMENT DU FILTRE A CALCAIRE

Le temps de contact minimal correspond au temps de contact en fin de cycle de neutralisation

Le temps de contact est défini par rapport au volume de matériau à mettre en œuvre dans le filtre

| | |
|--|---------------------|
| Volume minimal de calcaire en fin de cycle de neutralisation | 5,00 m ³ |
| Hauteur de calcaire en fin de cycle de neutralisation | 1,00 m |
| Surface du filtre à calcaire | 5,00 m ² |

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| Volume de calcaire à recharger | 0,75 m ³ |
| Tonnage de calcaire à recharger | 1350 kg |
| Autonomie entre deux recharges | 54,0 jours |

| | |
|--|---------------------|
| Volume minimal de calcaire en fin de cycle de neutralisation | 5,00 m ³ |
| Temps de contact en fin de cycle de neutralisation | 30,00 min |
| Volume de calcaire en début de cycle de neutralisation | 5,75 m ³ |
| Temps de contact en début de cycle de neutralisation | 34,50 min |

tableau 16 : Exemple de dimensionnement d'un filtre à calcaire – calcaire de densité 1,8

ANNEXE VIII :

FICHES TECHNIQUES DES PRODUITS TESTES