

# Arsenic dans les eaux destinées à la consommation humaine: actions menées dans les Alpes-Maritimes pour respecter la réglementation

Fabrice DASSONVILLE\*

Agence Régionale de Santé (ARS) Provence-Alpes-Côte d'Azur, délégation territoriale des Alpes-Maritimes, centre administratif départemental, bâtiment Mont des Merveilles, route de Grenoble, CS 23061, Nice, France

\*Auteur de correspondance : [fabrice.dassonville@ars.sante.fr](mailto:fabrice.dassonville@ars.sante.fr)

(Article reçu le 11 octobre 2012 ; accepté le 12 mars 2013)

**Résumé** – L'arsenic présent dans l'eau destinée à la consommation humaine est largement absorbé par le corps et transporté dans les divers organes par le flux sanguin. Il est, en partie, éliminé par les urines. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé l'arsenic comme substance cancérigène pour l'homme (Classe 1). Sur le long terme, l'ingestion d'eau contenant de fortes doses d'arsenic augmente le risque de cancer et de troubles associés.

L'eau de boisson représente l'apport d'arsenic le plus important par voie alimentaire. L'arsenic dans les eaux naturelles est essentiellement sous forme minérale, forme la plus toxique pour l'être humain. Le code de la santé publique fixe une limite de qualité de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  conformément aux recommandations établies par les instances de santé publique internationales (OMS) ou nationales (ANSES).

L'arsenic mesuré dans les eaux destinées à la consommation humaine du département des Alpes-Maritimes est exclusivement d'origine naturelle. Sa présence dans l'eau est due à la dissolution de dépôts minéraux ou de roches de certains secteurs du moyen et du haut pays alpin. 0,4 % de la population départementale est alimentée par une eau non conforme pour le paramètre arsenic. Ce sont 9 communes situées dans le moyen et haut pays alpin, soit 15 réseaux de distribution qui sont concernés par ces dépassements.

L'Agence Régionale de Santé Provence Alpes Côte d'Azur – délégation territoriale des Alpes-Maritimes a mené un programme d'actions pour remédier à cette situation en association avec d'autres partenaires locaux. L'enjeu a été de définir des solutions techniques intégrant à la fois les connaissances scientifiques, les contraintes réglementaires

et les contraintes techniques des réseaux de distribution. Les solutions retenues concernent (i) la réalisation de plusieurs unités de traitement de filtration sur oxyhydroxydes de fer ; (ii) la dilution des ressources en eau incriminées et (iii) le recours à de nouvelles ressources en eau.

**Mots-clés :** Arsenic, eaux destinées à la consommation humaine, Alpes-Maritimes oxyhydroxydes de fer, santé humaine

**Abstract – Arsenic in water intended for human consumption: actions in the Alpes-Maritimes to meet regulatory.** Arsenic present in drinking water is widely adsorbed by the body and transported through the blood stream in various organs. The elimination is done majorly by kidney through urine. The International Center for Research on Cancer (IARC) has classified arsenic as carcinogenic to humans (class 1). In the long term, the ingestion of water containing high doses of arsenic increases the risk of cancer and related disorder.

Drinking water is the most dietary arsenic intake. Arsenic in natural waters is mainly in mineral form, form the most toxic for men. Public Health Law Code sets a limit on quality of  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  in accordance with the recommendations established by the international public health instances (WHO) or national (ANSES).

Arsenic measurement in water intended for human consumption in the department of Alpes-Maritimes is exclusively of natural origin. Its presence in water is due to the dissolution of mineral deposits of certain areas of the medium and high alpine country rocks. 0.4% of the population is powered by non-compliant water for arsenic. These are 9 towns in the medium and high alpine country, 15 distribution networks that are affected by these exceedances in 2012.

Provence-Alpes-Côte d'Azur Regional Agency of Health – territorial delegation of the Alpes-Maritimes led an action plan to remedy this situation in association with other local partners. The challenge has been to identify technical solutions integrating both scientific knowledge, regulatory constraints and the technical constraints of the distribution system. The chosen solutions refer to (i) the achievement of several units of oxyhydroxydes filtration treatment; (ii) the dilution of the water resources incriminated and (iii) the use of new water resources.

**Keywords:** Arsenic, drinking water, Alpes-Maritimes, iron oxyhydroxydes; human health

## 1. INTRODUCTION

L'image des Alpes-Maritimes est indissociable de l'eau, celle de sa frange maritime, mais également l'eau de ses montagnes alpines qui constituent un réservoir exceptionnel pour l'ensemble du département. La qualité de l'eau, et notamment celle délivrée au robinet, est un enjeu majeur de santé publique pour lequel les pouvoirs publics se mobilisent en permanence, afin de préserver cette qualité et de la restaurer lorsqu'elle est dégradée. Pour garantir sa qualité, la réglementation se fonde

sur le code de la santé publique et intègre les exigences de la réglementation européenne (directive 98/83/CE du 3 novembre, 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) et la directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau).

Le Préfet des Alpes-Maritimes est chargé de veiller à la qualité des eaux d'alimentation et peut notamment, à ce titre, en interdire la consommation. Pour le compte du Préfet, l'Agence Régionale de Santé (ARS) réalise le contrôle sanitaire des eaux d'alimentation, en organisant la surveillance analytique des eaux distribuées, en inspectant les installations de captage et de traitement, en réagissant aux situations anormales et aux non-conformités de qualité. Enfin, l'ARS assure l'information des collectivités, des exploitants, des différents partenaires ainsi que des usagers.

Si, plus de 98 % de la population des Alpes-Maritimes dispose d'une eau de qualité satisfaisante sur le plan microbiologique et pour les principaux paramètres physico-chimiques, beaucoup de petites unités de distribution<sup>1</sup> ne desservant qu'une faible partie de la population, et situées dans un contexte montagnard aux contraintes multiples distribuent des eaux présentant des non-conformités bactériologiques et chimiques récurrentes, notamment pour le paramètre arsenic pour lequel le code de la santé publique fixe une limite de qualité de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  au niveau du robinet du consommateur (Dassonville, 2010). Cette limite de qualité a été établie pour prévenir les risques pour la santé humaine associés à la consommation d'une eau contenant de fortes doses d'arsenic.

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé l'arsenic comme substance cancérigène pour l'homme (Classe 1). L'arsenic dans les eaux naturelles est essentiellement sous forme minérale, forme la plus toxique pour l'être humain. Sur le long terme, l'ingestion d'eau contenant de fortes doses d'arsenic augmente le risque de cancer et de troubles associés. L'eau de boisson représente l'apport d'arsenic le plus important par voie alimentaire. Sa présence dans l'eau distribuée dans les communes concernées du moyen et du haut pays alpin des Alpes-Maritimes est due à la dissolution de dépôts minéraux ou de roches. L'Agence Régionale de Santé Provence Alpes Côte d'Azur – délégation territoriale des Alpes-Maritimes a mené un programme d'actions en association avec d'autres partenaires locaux pour remédier à cette situation. L'enjeu a été de définir des solutions techniques intégrant à la fois les connaissances scientifiques, les contraintes réglementaires et les contraintes techniques des réseaux de distribution concernés.

Le but de ce travail est dans un premier temps, après une présentation succincte de l'organisation de l'alimentation des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) dans les Alpes-Maritimes, de préciser l'origine de l'arsenic des EDCH pour les réseaux de distribution concernés dans les Alpes-Maritimes ainsi que ses effets sur la santé humaine. Nous présentons ensuite le cadre réglementaire à respecter qui conditionne le programme d'actions défini pour remédier à cette situation. Nous détaillerons alors les solutions techniques qui peuvent être retenues pour éliminer l'arsenic des eaux distribuées. Lors d'une dernière étape, nous présentons le bilan du programme d'actions mené par l'ARS Provence Alpes Côte d'Azur en collaboration avec les partenaires locaux qui soulève la nécessité d'une approche intégrant les contraintes réglementaires, techniques et économiques pour proposer des solutions durables permettant de préserver la santé des populations.

---

<sup>1</sup> Réseau d'adduction d'eau exploité par la même personne morale, appartenant à la même entité administrative, et où la qualité d'eau est homogène.

## 2. L'ALIMENTATION EN EAUX DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE DANS LES ALPES-MARITIMES

Le département des Alpes-Maritimes compte 163 communes regroupant 1 102 675 habitants desservis par un réseau de distribution publique. Les EDCH sont distribuées par 308 unités de distribution (UDI) qui se caractérisent par (Dassonville, 2012) (fig. 1) :

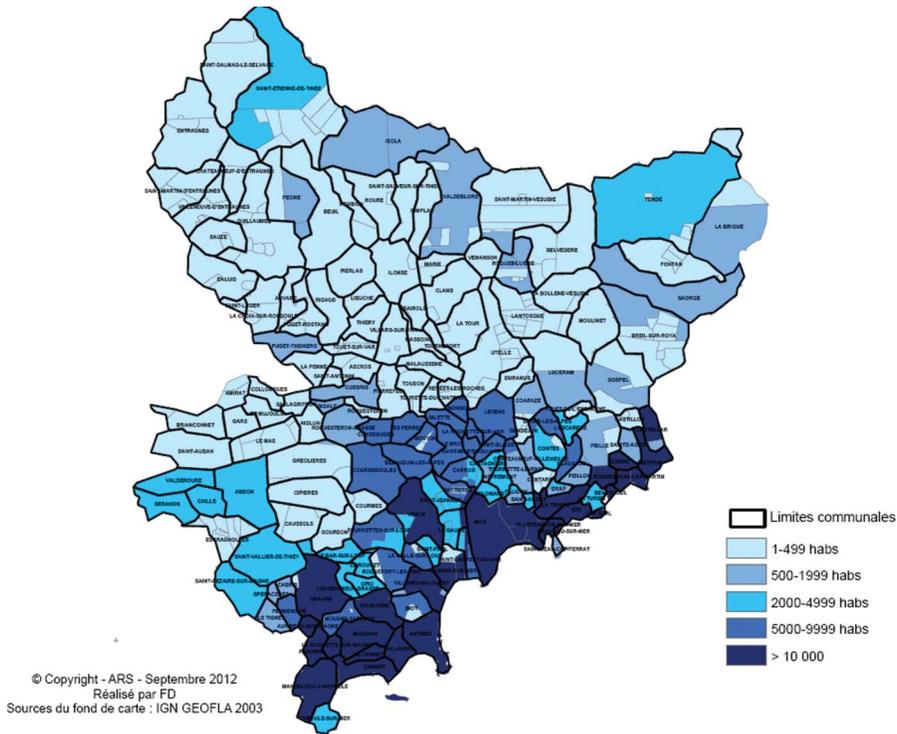
- des UDI de plus de 10 000 habitants qui sont peu nombreuses (16) et qui alimentent plus de 80 % de la population. Ces UDI sont localisées sur la frange littorale du département.
- 75 UDI de taille moyenne (entre 500 et 10 000 habitants) qui desservent près de 18 % de la population. Ces UDI sont plutôt localisées dans le moyen pays du département.
- de multiples petites UDI de moins de 500 habitants (217) qui alimentent seulement 2 % de la population. Ces UDI sont localisées majoritairement dans le moyen et haut pays alpin du département et parmi celles-ci nous retrouvons les réseaux de distribution concernés par les dépassements des exigences réglementaires dont le paramètre arsenic.

L'exploitation des réseaux est soit directement réalisée par les collectivités ou des structures intercommunales (régie directe), soit confiée à une tierce structure dans le cadre d'une délégation de service, notamment au titre des contrats d'affermage. Ainsi, 74 UDI (24 % des UDI) desservant 999 752 habitants (91 % de la population) sont exploitées en affermage et 234 UDI desservant 102 923 habitants sont exploitées en régie directe (fig. 2), notamment la majorité des communes concernées par la problématique « arsenic » qui sont majoritairement exploitées en régie directe (Dassonville, 2012).

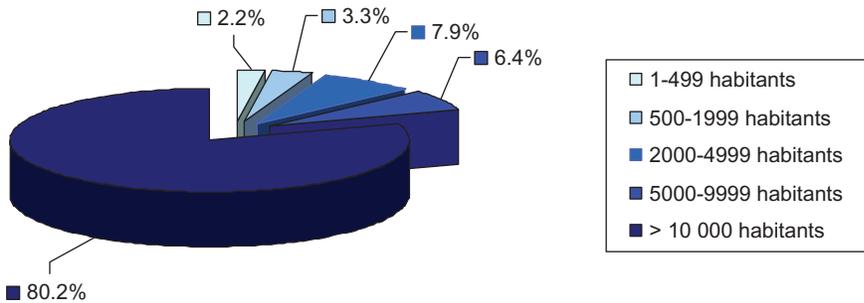
Dans le département des Alpes-Maritimes, sujet à une forte augmentation saisonnière de la population, 63,6 % de la population est alimentée par des eaux mixtes (36 UDI concernées) surtout au niveau du littoral (fig. 3). 258 UDI alimentant 32,5 % de la population s'approvisionnent à partir d'eaux souterraines. Ces UDI sont réparties dans l'ensemble du département, avec une prédominance dans le moyen et haut pays alpin. L'approvisionnement des UDI à partir des eaux superficielles sans mélange reste marginal dans le département. Ainsi, 3,9 % de la population est alimentée par des eaux superficielles (14 UDI concernées). La majorité des communes concernées par la problématique « arsenic » sont alimentées exclusivement par des eaux souterraines (Dassonville, 2012).

## 3. ORIGINE DE L'ARSENIC DANS LES ALPES-MARITIMES

D'une manière générale, des teneurs élevées en arsenic dans les ressources en eau peuvent provenir d'une contamination naturelle ou industrielle. En France, les deux situations sont rencontrées et ont fait l'objet d'investigations par exemple à Ferrette dans le Haut Rhin (contamination naturelle) et dans la région de Salsigne dans l'Aude (contamination liée à l'exploitation d'industries minières et métallurgiques) (Réseau National de Santé Publique, 1996, 1998).



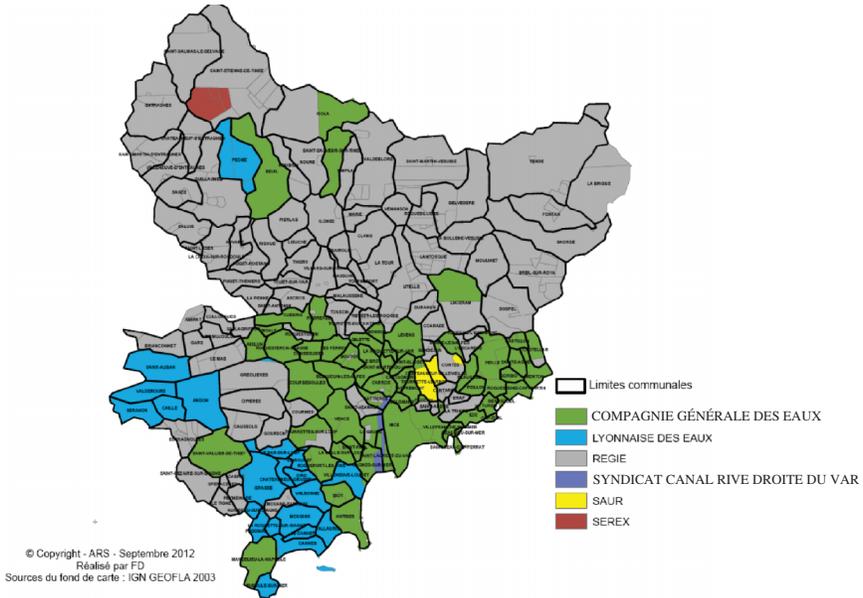
**Taille des unités de distribution**  
 % exprimés par classe de population desservie



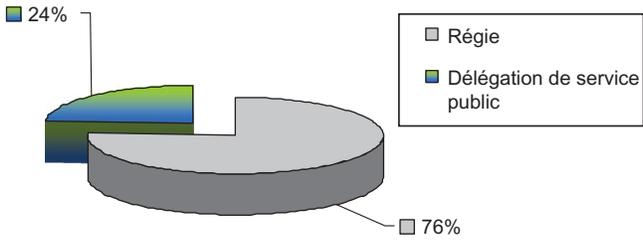
**Fig. 1.** Taille des unités de distribution dans les Alpes-Maritimes par classe de population desservie.

**Fig. 1.** Size of the units of distribution in the Alpes-Maritimes by class of served population (Dassonville, F.).

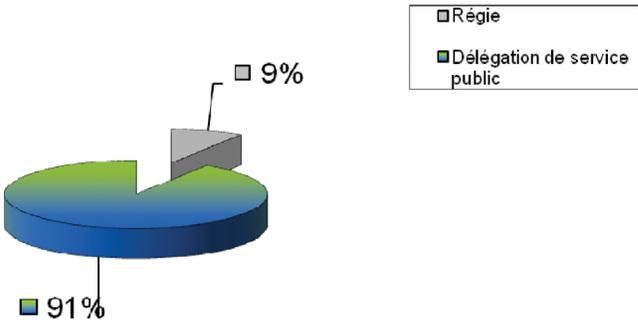
Dans le département des Alpes-Maritimes, l’arsenic mesuré dans les eaux destinées à la consommation humaine est ainsi exclusivement d’origine naturelle. Sa présence dans l’eau est due à la dissolution de dépôts minéraux ou de roches de certains secteurs du moyen et du haut pays alpin, plus particulièrement dans les roches métamorphiques



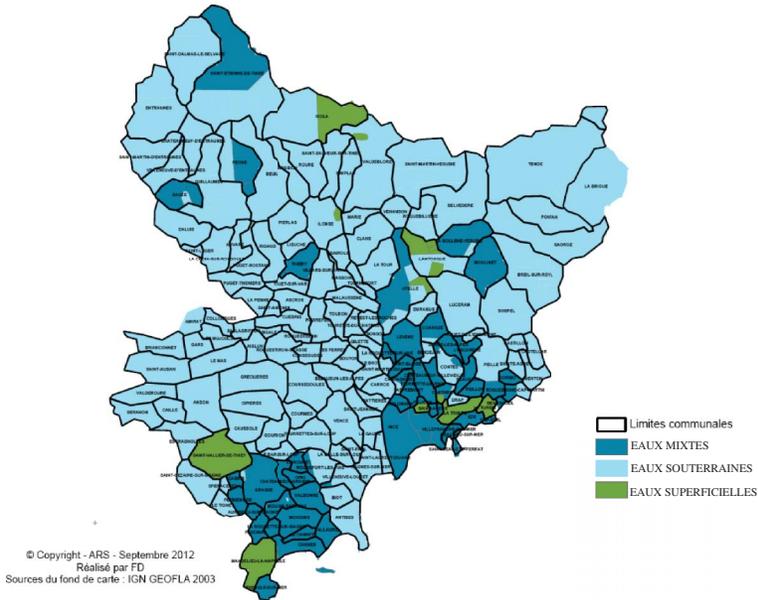
**Mode d'exploitation**  
% exprimés en nombre d'UDI



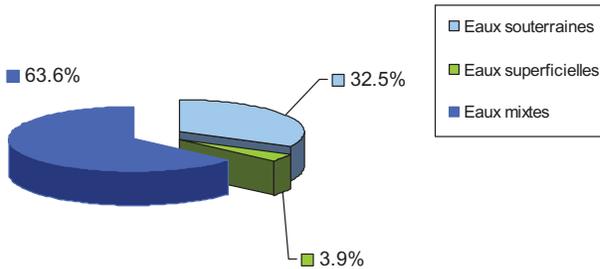
**Mode d'exploitation**  
% exprimés en population desservie



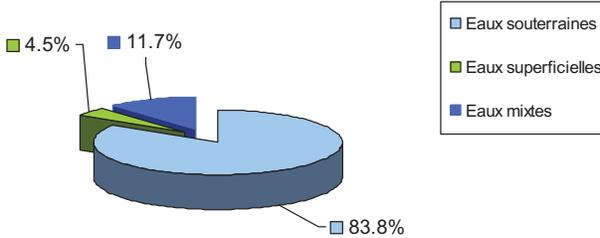
**Fig. 2.** Mode d'exploitation des unités de distribution dans les Alpes-Maritimes.  
**Fig. 2.** Mode of exploitation of the units of distribution in the Alpes-Maritimes (Dassonville, F.).



**Origine des eaux distribuées**  
% exprimés en population desservie



**Origine des eaux distribuées**  
% exprimés en nombre d'UDI



**Fig. 3.** Origine de l'eau distribuée dans les Alpes-Maritimes.  
**Fig. 3.** *Origin of the water distributed in the Alpes-Maritimes (Dassonville, F.).*

Hercyniennes (gneiss, migmatites) et les pélites rouges permienes des hautes vallées de la Tinée et de la Vésubie, dans la vallée de la Roya, ainsi que dans les vallées du Cians et de la Roudoule (fig. 4). S'agissant des roches métamorphiques Hercyniennes du Mercantour, l'arsenic a été apporté par les fluides hydrothermaux de haute température qui ont accompagné la montée du granit de l'Argentera, au cours de la phase finale de la mise en place de la chaîne Hercynienne, il y a environ 300 millions d'années (Féraud, 1974 ; Féraud *et al.*, 1975) (fig. 5).

Ces mêmes roches métamorphiques présentent les teneurs les plus fortes en arsenic mais aussi les plus variables (teneur maximale mesurée, vallon de la Blache – commune de St Étienne-de-Tinée :  $250 \mu\text{g.L}^{-1}$  ; jusqu'à  $88 \text{mg.kg}^{-1}$  dans certaines roches métamorphiques du socle), tandis que les pélites rouges permienes présentent des concentrations homogènes mais plus faibles (fig. 6).

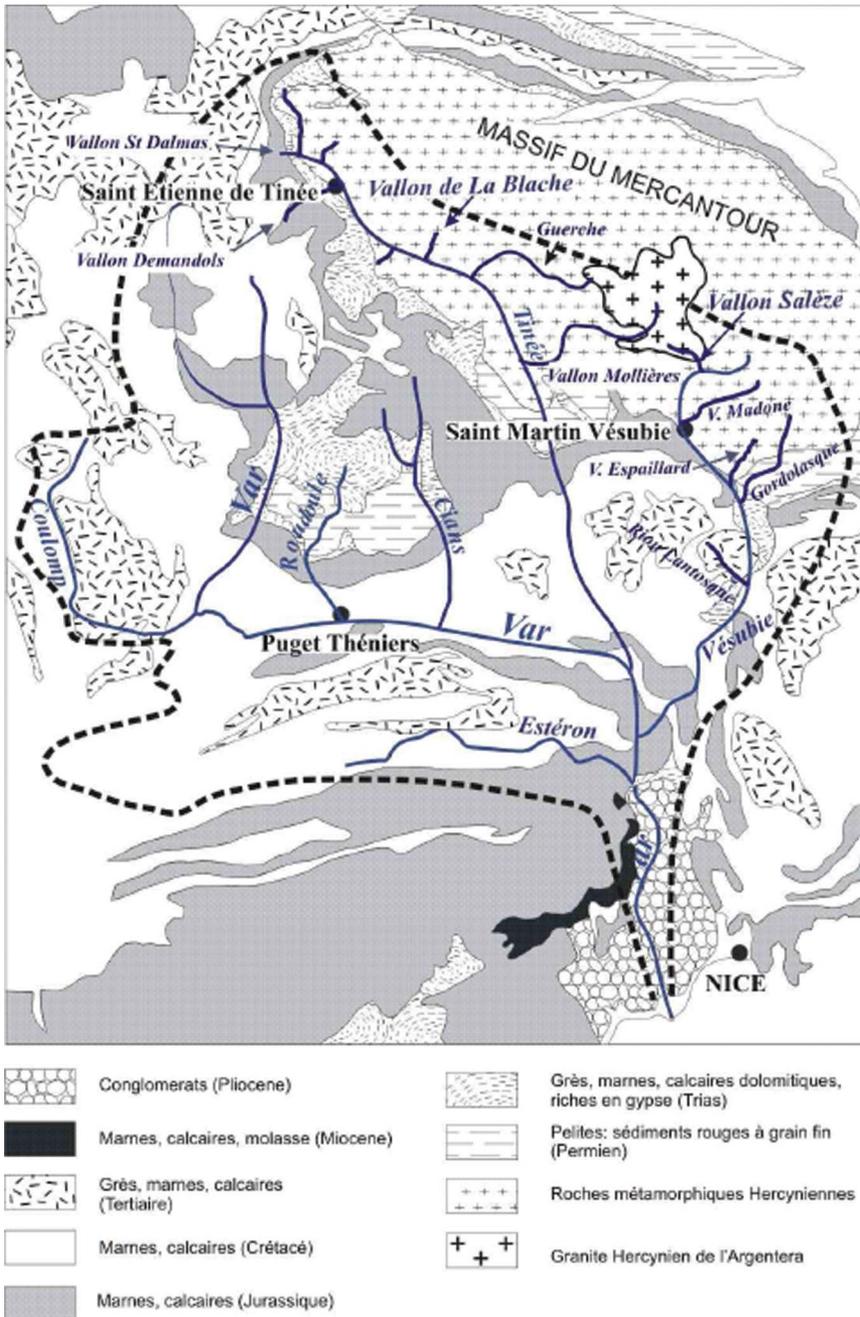
Les concentrations en arsenic dans les eaux montrent une forte variabilité temporelle en relation notamment avec l'alternance des périodes d'étiage et de crue (Pili *et al.*, in press). Les concentrations en arsenic des eaux montrent aussi une forte variabilité spatiale au sein d'une même structure hydrogéologique. Ainsi Féraud *et al.* (2009) ont montré que des eaux naturelles peu arsénées existent souvent dans le massif du Mercantour à proximité de captages d'EDCH pour lesquels la concentration en arsenic dépasse les exigences réglementaires. C'est le cas notamment pour des captages situés dans les roches métamorphiques (fig. 7). L'étude réalisée localement par Féraud *et al.* (2009) montre qu'il serait ainsi possible d'envisager de substituer ou de diluer des ressources contaminées en arsenic par de nouvelles ressources très faiblement contaminées en arsenic.

Les deux formes principales de l'arsenic identifiées dans les eaux naturelles sont l'arséniate As (V) présent sous forme  $\text{H}_2\text{AsO}_4$  (identifié dans toutes les analyses de spéciation) ou  $\text{HAsO}_3$  et l'arsénite As (III), présent sous forme  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  (Smedley and Kinniburgh, 2002). Néanmoins, les expérimentations réalisées par Féraud *et al.* (2009) montrent que seul l'arséniate est présent dans les eaux des captages et des potentielles ressources de substitution de la Vallée de la Tinée et de la Vésubie dans le département des Alpes-Maritimes. L'arséniate étant une des formes de l'arsenic les plus toxiques, des solutions pérennes doivent être envisagées pour permettre aux populations concernées d'être alimentées par une eau conforme à la réglementation.

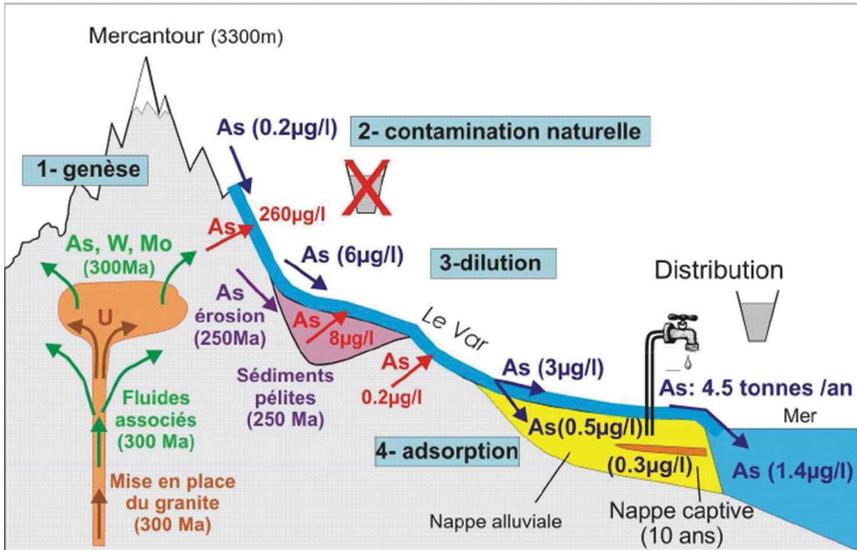
## 4. EFFETS SUR LA SANTÉ

### 4.1. Données d'exposition

Pour la population générale, la principale voie d'exposition à l'arsenic est la voie orale *via* l'eau et les aliments dont les produits de la mer qui sont les aliments les plus riches en arsenic (Ravault *et al.*, 2001). S'agissant de la voie alimentaire (hors eau de boisson), l'exposition totale à l'arsenic varie considérablement en fonction du régime alimentaire. La majorité des données disponibles le sont pour l'arsenic total et ne reflètent pas les possibles variations des doses d'exposition aux formes les plus toxiques d'arsenic qui sont principalement les formes inorganiques (AFSSA, 2004) (tab. I). Les données d'exposition montrent que l'eau de boisson représente l'apport d'arsenic le plus important par voie alimentaire. L'arsenic dans les eaux naturelles est essentiellement sous forme minérale, forme la plus toxique pour l'être humain. L'exposition par l'air est généralement inférieure à  $1 \mu\text{g.L}^{-1}$  (AFSSA, 2004).



**Fig. 4.** Carte géologique schématique du bassin versant du Var (données LRSAE ; ICN ; Université Nice Sophia Antipolis).  
**Fig. 4.** Schematic geologic map of the pond overturning of the Var (LRSAE data, University of Nice Sophia Antipolis).



**Fig. 5.** Formation et transport de l'arsenic dans le bassin versant du Var (Ma = millions d'années). U = uranium relativement concentré dans le granite de l'Argentera. L'arsenic (As), comme le tungstène (W) et le molybdène (Mo) ont été formés pendant la mise en place du granite il y a environ 300 millions d'années (Féraud *et al.*, 2009).

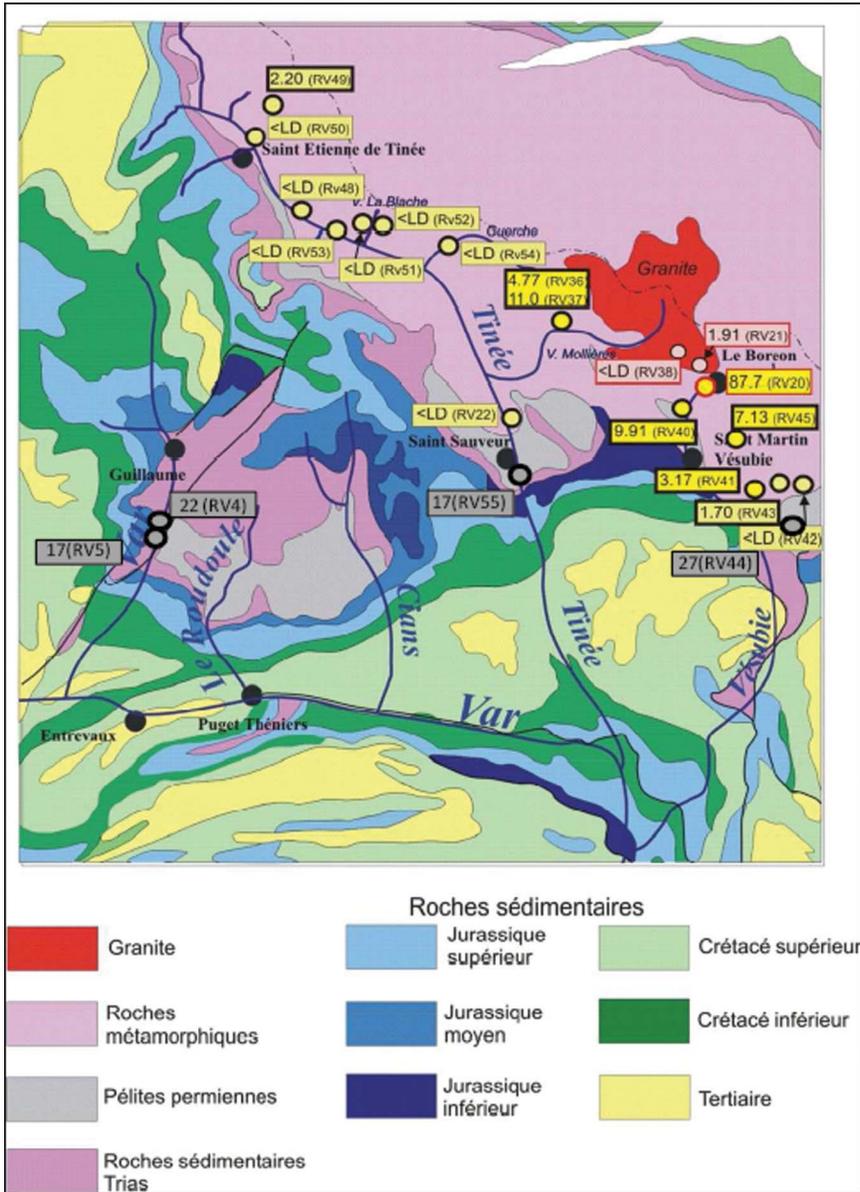
**Fig. 5.** Formation and transport of the arsenic in the pond overturning of the Var (Ma = million years). U = uranium relatively concentrated in the granite of Argentera. The arsenic (As), as the tungsten (W) and the molybdenum (Mb) were formed during the implementation of the granite approximately 300 million years ago (Féraud *et al.*, 2009).

## 4.2. Toxicité

L'arsine ( $\text{AsH}_3$ ) est considérée comme la forme la plus toxique, suivie par les arsénites (As III), les arsénates (As V) puis les composés organiques. L'arsenic présent dans l'EDCH est largement adsorbé par le corps et transporté dans les divers organes par le flux sanguin (AFSSA, 2004). Il est métabolisé dans l'organisme, principalement dans le foie. Les formes métabolisées sont l'acide monométhylarsinique (MMA) et diméthylarsinique (DMA). Ces formes sont excrétées dans les urines. Toutefois des intermédiaires réactifs peuvent être formés. L'As (V) absorbé est rapidement réduit dans le sang sous forme As (III), ce qui implique une augmentation de la toxicité. De plus il est possible que l'antimoine majore les effets toxiques de l'arsenic (Gelbel, 1999).

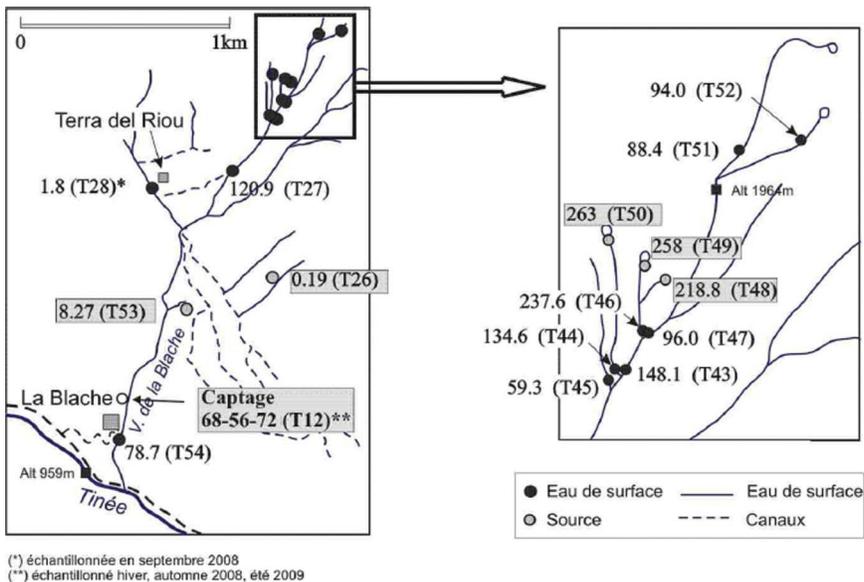
## 4.3. Toxicité chronique et cancérogénicité

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé l'arsenic comme substance cancérigène pour l'homme (Classe 1) sur la base d'indications de



**Fig. 6.** Concentrations en arsenic ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) mesurées dans les roches granitiques, métamorphiques et permiennees (pélites) dans le bassin Versant du Var (campagne de mesures réalisée en 2008 par l'Université de Nice).

**Fig. 6.** Concentrations in arsenic ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) measured in the granitic, metamorphic and permian (pélites) rocks in the pond Overturning of the Var (campaign of measures realized in 2008 by the University of Nice).



**Fig. 7.** Variabilité spatiale de la concentration en arsenic des eaux : concentrations en arsenic dissous (en  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) dans les eaux de surface et souterraines du Vallon de la Blache (commune de Saint Étienne de Tinée) (Féraud et Barats, 2009).

**Fig. 7.** Spatial variability of the concentration in arsenic of waters: concentrations of dissolved arsenic ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) in waters of surface and subterranean of the Valley of "la Blache" (municipality of Saint Etienne de Tinée) (Féraud and Barats, on 2009).

cancérogénicité suffisantes avec un risque accru de cancer de la vessie, du poumon et de la peau chez l'homme.

Les preuves épidémiologiques s'accroissent en faveur de l'implication de l'arsenic hydrique dans la survenue de multiples effets sanitaires, cancérogènes et non cancérogènes. Ces effets dépendent à la fois de la dose et de la durée d'exposition (National Research Council, 1999, 2001). Ainsi, après une exposition prolongée à l'arsenic, par ingestion d'eau contaminée, les symptômes les plus courants sont des lésions dermatiques (période minimale d'exposition de 5 ans) qui ont été décrites dans des pays où les concentrations en arsenic hydrique sont de l'ordre de plusieurs centaines de microgrammes par litre d'eau, comme dans le sud-ouest de Taiwan, au nord du Chili ou au Bangladesh (Ravault *et al.*, 2001). Le cancer de la peau survient plus tardivement après plus de 10 ans d'exposition.

Des études récentes montrent aussi une relation entre exposition à l'arsenic aux faibles concentrations et la survenue du cancer du poumon (Mouly *et al.*, 2011). Des effets sur le système cardiovasculaire ont été constatés chez des enfants qui avaient consommé de l'eau contaminée par l'arsenic (concentration moyenne de  $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$ , durée moyenne 7 ans) (AFSSA, 2004).

Les études d'exposition à l'arsenic ont fait état d'hypertension, de maladies cardiovasculaires, de diabète *mitillus* et de malformations fœtales (AFSSA, 2004). La symptomatologie provoquée par l'arsenic semble être différente selon les individus, les

**Tableau I.** Estimation de la dose d'exposition à l'arsenic pour différents pays (AFSSA, 2004).**Table I.** Estimation of the dose of arsenic exposure for various countries (AFSSA, 2004).

| Pays                                    | Type d'étude                                   | Apport estimé  | Source d'apport    | Référence                          |
|---|--|--|--------------------|------------------------------------|
| France                                  | Analyse du régime total                        | Adultes (> 15 ans)<br>62, 1 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$<br>apport moyen<br>journalier<br>163 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ :<br>exposition au 95 <sup>e</sup><br>percentile<br>Enfants (3 à 14 ans)<br>42,7 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ :<br>apport moyen<br>journalier 103 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$<br>: exposition au<br>95 <sup>e</sup> percentile | Aliments<br>et eau | Leblanc<br><i>et al.</i><br>(2004) |
| France                                  | Repas dupliqué –<br>restauration<br>collective | 147 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ As total<br>15 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ As inorg  | Aliments           | Noël <i>et al.</i><br>(2003)       |
| France                                  | Repas dupliqué –<br>restauration<br>collective | 109 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ As total   | Aliments           | Leblanc<br><i>et al.</i><br>(2000) |
| Canada, Pologne,<br>USA, Royaume<br>Uni | –  | 16,7 à 129 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$<br>(adulte)<br>1,26 à 15,5 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$<br>(enfant)  | Aliments           | Sante<br>Canada<br>(1989)          |
| UK Total Diet<br>Study                  | Analyse du<br>régime total                     | Ensemble de la<br>population :<br>65 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ apport<br>moyen journalier<br>Population adulte :<br>120 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ apport<br>moyen journalier<br>420 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ :<br>exposition au<br>97,5 <sup>e</sup> percentile   | Aliments           | Ysart <i>et al.</i><br>(1999)      |

groupes de population et les zones géographiques. Ainsi, la maladie du « pied noir » a été largement étudiée à Taiwan, mais n'a pas été observée dans d'autres pays.

Actuellement, les études tentent de mieux caractériser d'une part l'impact d'une exposition *in utero* à l'arsenic hydrique et sur le développement du jeune enfant. Une étude récente montre ainsi une association entre l'exposition à l'arsenic hydrique de la mère et la mortalité périnatale au Bangladesh (Rahman *et al.*, 2010). Toutefois, il est difficile de transposer les résultats de ces études à ceux obtenus en France eu

**Tableau II.** Récapitulatif des VTR proposées par les organismes internationaux (AFSSA, 2004).

**Table II.** Summary of the VTR proposed by the international bodies (AFSSA, 2004).

| Source | Date de l'étude | Voie d'expo | Valeur de référence   | Effet critique           |
|--------|-----------------|-------------|---|--------------------------|
| US EPA | 1993            | Orale       | RfD = 0,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$   | « maladie du pied noir » |
| ATSDR  | 2000            | Orale       | MRL = 0.3 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$   | « maladie du pied noir » |
| JECFA  | 1988            | Orale       | DHTP* = 15 $\mu\text{g.kg}^{-1}$  | Cancer cutané            |
| US EPA | 1998            | Orale       | Oral slope factor 1,5 $(\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$<br>Drinking water unit 5.10 <sup>5</sup> $(\mu\text{g.L}^{-1})^{-1}$ | Cancer cutané            |

\* Valeur provisoire

égard aux très fortes concentrations en arsenic ( $>100 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) des eaux distribuées dans certaines régions du Bangladesh.

#### 4.4. Valeurs toxicologiques de référence

Les organismes internationaux proposent différentes valeurs toxicologiques de références (VTR)<sup>2</sup> pour les effets cutanés non cancérogènes, pour les effets cancérogènes cutanés et pour les autres effets cancérogènes (tab. II). Il est important de noter que plusieurs niveaux d'incertitude existent au niveau des évaluations réalisées : extrapolation aux faibles doses des courbes dose-réponse, manque de transparence dans la méthode de construction de certaines VTR ou dans la description de cette méthode, fiabilité de l'élaboration des scénarios d'exposition (apport de l'arsenic dans la nourriture ou la consommation d'eau), utilisation de données anciennes pour l'élaboration des VTR (Doornaert, 2006).

#### 4.5. Valeurs de référence dans l'eau

Sur la base des résultats des études épidémiologiques, plusieurs valeurs de référence ont été proposées par différents organismes (tab. III). Le Ministère de la Santé a retenu pour l'eau de boisson la valeur guide de  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  définie par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

<sup>2</sup>  $\mu\text{g/L}$  Valeur toxicologique de référence (VTR) : valeur prédictive de l'absence d'effet (valeur seuil à ne pas dépasser) ou d'un risque (probabilité d'apparition d'une pathologie). La VTR est proposée pour une substance donnée, une voie et une durée d'exposition données et pour un type d'effet donné (effet à seuil et sans seuil).

**Tableau III.** Valeurs de référence proposées par différents organismes pour la concentration limite en arsenic admise dans l'eau de boisson (AFSSA, 2004).

**Table III.** *Reference values proposed by various agencies for the limit concentration in arsenic admitted in drinking water (AFSSA, 2004).*

| Valeur directive<br>98/83/CE<br>Annexe IB | Valeur<br>guide OMS<br>1994 | Valeur guide pro-<br>posée par ICMS<br>2003 | Santé Canada<br>(1989 révisé<br>1992) | US EPA<br>(2001)             |
|---|-----------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------|
| 10 µg.L <sup>-1</sup>                     | 10 µg.L <sup>-1</sup>       | 10 µg.L <sup>-1</sup> (Limite<br>dosage)    | 25 µg.L <sup>-1</sup><br>(provisoire) | 10 µg.L <sup>-1</sup><br>MCL |

#### 4.6. Évaluation du risque sanitaire associé à un dépassement de la limite de qualité

En se basant sur l'unité de risque égale à  $1,5 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ p.c.j}^{-1})^{-1}$  proposée par l'US EPA et reprise par l'OMS, pour les cancers cutanés, le niveau de risque associé à la consommation d'une eau de boisson dont la concentration en arsenic est de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  serait de l'ordre de  $6 \times 10^{-4}$  pour une exposition vie entière (2L, 70 kg, 70 ans). Ainsi, sur une population de 10 000 personnes consommant 2 L d'eau par jour avec une concentration en arsenic de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  pendant une vie entière, on observera en moyenne 6 cas supplémentaires de cancer en relation avec cette exposition.

Cette valeur est supérieure au seuil « acceptable » de risque de  $10^{-5}$  défini par l'OMS, mais elle a été jugée comme étant probablement surestimée compte tenu de la méthode d'élaboration de la VTR.

En se basant sur une autre démarche proposée par l'US EPA qui prend en compte la susceptibilité des enfants et des nouveaux nés :

- le niveau de risque associé à la consommation d'une eau de boisson dont la concentration en arsenic est de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , serait de l'ordre de  $2 \times 10^{-3}$  pour une exposition vie entière
- le tableau IV présente l'excès de risque unitaire (ERU)<sup>3</sup> associé à une exposition pendant une durée déterminée à une concentration supérieure à la limite de qualité ( $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) et une exposition à une concentration égale à la limite de qualité pendant le reste de la vie.

## 5. CADRE RÉGLEMENTAIRE

Le code de la santé publique fixe une limite de qualité de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, 2007a, b) conformément aux recommandations établies par les instances de santé publique internationales (OMS) ou nationales (ANSES).

<sup>3</sup> Excès de risque unitaire (ERU) : excès attendu d'une pathologie donnée, consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 1 unité d'une substance X.

**Tableau IV.** Estimation du risque lié à un dépassement de la limite de qualité de l'arsenic dans l'eau pendant une période donnée (AFSSA, 2004).

**Table IV.** *Estimation of the risk connected to an overtaking of the quality limit of the arsenic in drinking water during a given period (AFSSA, 2004).*

| Temps concentration ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) | 3 ans                | 6 ans                | 9 ans                |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| 15   | $2,4 \times 10^{-3}$ | $2,5 \times 10^{-3}$ | $2,6 \times 10^{-3}$ |
| 20   | $2,8 \times 10^{-3}$ | $3 \times 10^{-3}$   | $3,2 \times 10^{-3}$ |
| 30   | $3,6 \times 10^{-3}$ | $4 \times 10^{-3}$   | $4,4 \times 10^{-3}$ |
| 40   | $4,4 \times 10^{-3}$ | $5 \times 10^{-3}$   | $5,6 \times 10^{-3}$ |
| 50   | $5,1 \times 10^{-3}$ | $6 \times 10^{-3}$   | $6,8 \times 10^{-3}$ |

- ✓ Lorsque les teneurs en arsenic dépassent légèrement et ponctuellement la limite de qualité (teneur maximale en arsenic dans l'eau comprise entre  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  et  $13 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), une dérogation peut être octroyée (Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, 2004). Deux conditions sont exigées pour déclarer recevable une demande de dérogation :
  - l'utilisation de l'eau ne représente pas un danger potentiel pour la santé des personnes ;
  - le demandeur prouve qu'il ne peut, pour maintenir la distribution d'eau, utiliser dans l'immédiat d'autres moyens raisonnables.

De plus, l'octroi de la dérogation est subordonné à la mise en œuvre d'un plan d'actions visant à rétablir la conformité des eaux distribuées. Pendant la période dérogatoire, une teneur maximale en arsenic dans l'eau comprise entre  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$  et  $13 \mu\text{g.L}^{-1}$  peut être admise sans restriction de l'eau pour les usages alimentaires pour l'ensemble de la population. Une telle dérogation ne peut être octroyée que pour la plus courte durée possible correspondant au délai nécessaire à la mise en place des mesures correctives et n'est pas renouvelable. En raison des potentiels effets synergiques de l'arsenic avec l'antimoine, elle ne peut être accordée lorsque l'eau du réseau public contient également plus de  $5 \mu\text{g.L}^{-1}$  d'antimoine.

- ✓ En présence d'arsenic à des teneurs supérieures à  $13 \mu\text{g.L}^{-1}$ , aucune dérogation ne peut être accordée. Dans ce cas et de même qu'en présence simultanée d'arsenic et d'antimoine à des teneurs dépassant les limites de qualité, la population doit être informée de ne pas utiliser l'eau du réseau public pour les usages alimentaires.

Le cadre réglementaire fixé par le Code de la Santé Publique conditionne fortement les plans d'actions pouvant être mis en œuvre par les communes (délais liés aux dérogations (non renouvelables), urgence des situations de restriction sanitaire qui imposent la mise en œuvre rapide de solutions correctives).

## 6. SITUATION DANS LES ALPES-MARITIMES

Le bilan réalisé par l'ARS PACA – DT 06 fait apparaître que 0,4 % de la population départementale (4331 habitants) a été alimentée ces cinq dernières années par une eau non conforme. Ce sont 9 communes du département situées dans le moyen et haut pays alpin, soit 15 UDI qui ont été concernées par ces dépassements de la limite de qualité (fig. 8).

Parmi celles-ci, plusieurs communes peuvent bénéficier d'une période dérogatoire eu égard aux concentrations en arsenic mesurées au niveau des réseaux de distribution (fig. 8):

- ✓ 1 commune a bénéficié d'un arrêté préfectoral de dérogation en juin 2010 pour une durée de 30 mois. Les réseaux en question desservent 2300 personnes.
- ✓ 2 autres communes bénéficient actuellement d'une dérogation pour mettre en œuvre des mesures correctives. Les réseaux en question desservent une population totale de 390 personnes ;
- ✓ 1 autre commune doit encore déposer son dossier de demande de dérogation auprès des services de l'ARS. Le réseau en question dessert 20 personnes.

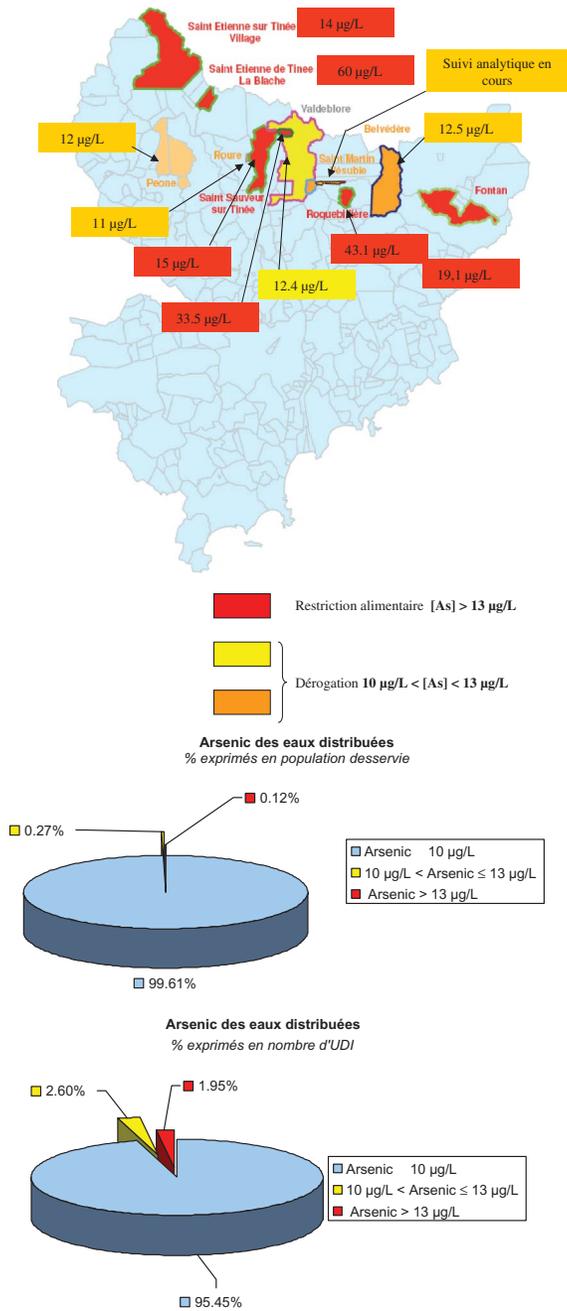
5 communes ont fait l'objet d'un arrêté de restriction des usages de l'eau pour les usages alimentaires en 2010. L'ARS a demandé à ces communes de mettre à disposition de la population une eau de substitution (eau embouteillée, ...) et de mettre en œuvre sans délai des mesures correctives. Les réseaux en question desservent une population totale de 1541 personnes (fig. 8) ;

- 3 communes ont réalisé des unités de traitement de l'arsenic pour les réseaux de distribution concernés ;
- 1 commune a réalisé une dilution avec une autre ressource en eau non contaminée par l'arsenic.
- 1 commune a opté pour une alimentation de substitution par eau embouteillée (population saisonnière).

1 commune fait actuellement l'objet d'un contrôle sanitaire renforcé au niveau de deux réseaux de distribution suite à des dépassements ponctuels de la limite de qualité réglementaire pour l'arsenic. Le réseau de distribution concerné alimente 50 personnes. À l'issue de ce suivi analytique, un bilan permettra de déterminer le cas échéant le cadre réglementaire à appliquer et les mesures correctives à mettre en œuvre.

Si la part de la population départementale concernée par cette problématique est relativement faible, cette problématique concerne exclusivement des petites communes du moyen et du haut pays et des réseaux de distribution de petite taille (<500 habitants). De nombreuses contraintes doivent être prises en compte indépendamment de l'urgence sanitaire associée à cette situation :

- plusieurs communes concernées ne disposent pas de services techniques dédiés à la gestion des réseaux de distribution d'eau destinée à la consommation humaine et doivent proposer des solutions techniques en rapport avec leurs moyens financiers très limités ;
- une évaluation de l'adaptabilité des solutions techniques au regard des contraintes environnementales du haut pays alpin des Alpes-Maritimes doit être



**Fig. 8.** Arsenic dans les eaux destinées à la consommation humaine: situation dans les Alpes Maritimes (Dassonville, 2012).

**Fig. 8.** Arsenic in drinking waters: situation in the Alpes-Maritimes (Dassonville, 2012).

- réalisée pour chaque commune (localisation des réseaux de distribution, alimentation électrique, ...);
- les solutions proposées doivent répondre aux exigences de la Direction Générale de la Santé (agrément ministériel pour les dispositifs de traitement, ...);
  - les restrictions alimentaires imposent la distribution d'eau destinée à la consommation humaine de substitution (eau embouteillée) qui représente un coût élevé pour la collectivité dans l'attente de l'opérationnalité des solutions correctives.

Ces contraintes conditionnent fortement le programme d'actions à mettre en œuvre et les solutions techniques retenues par les différentes communes.

## **7. SOLUTIONS TECHNIQUES MISES EN ŒUVRE DANS LES ALPES-MARITIMES**

### **7.1. Dilution de la ressource en eau contaminée**

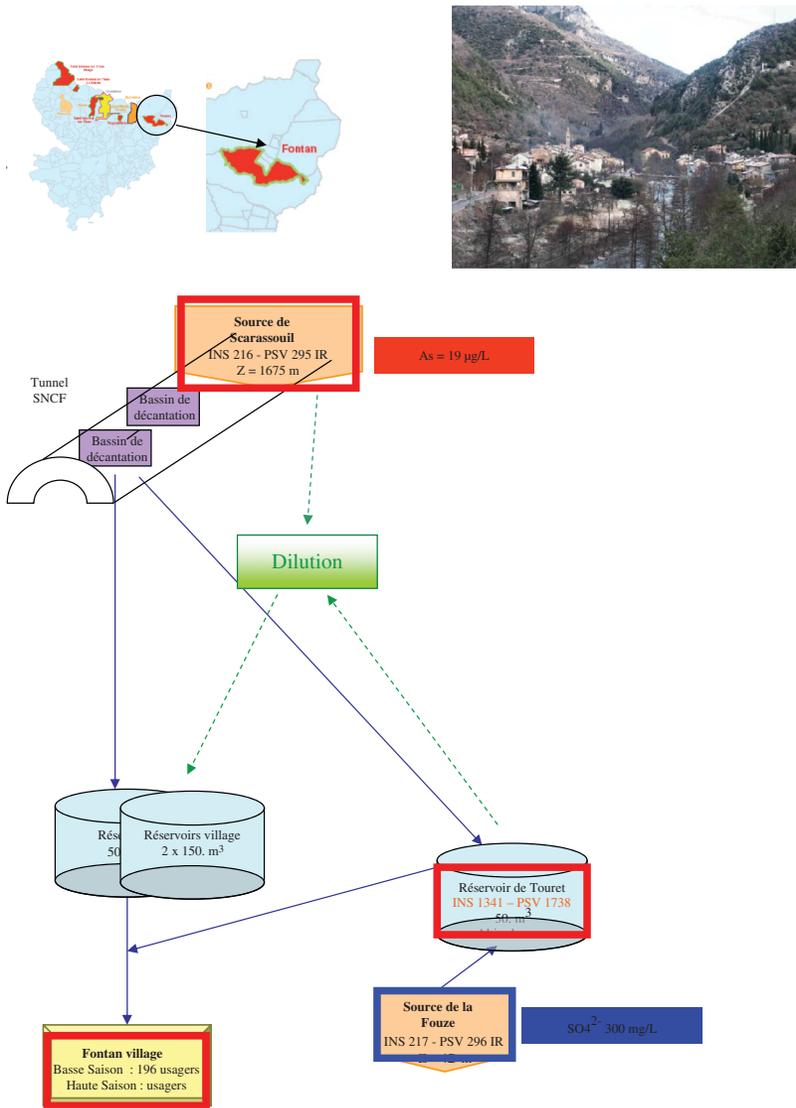
Cette solution est privilégiée en première approche par les communes concernées car elle est souvent considérée comme étant la plus aisée à mettre en œuvre d'un point de vue technique et la moins coûteuse. Néanmoins, cette solution n'est pas applicable dans tous les cas de figure. Outre la nécessité pour la commune de disposer d'une autre ressource en eau exempte d'arsenic, la faisabilité technique de cette opération peut être contrainte dans des environnements difficiles d'accès et le coût de la restructuration du réseau peut constituer dans ces conditions un facteur limitant.

Dans le département des Alpes-Maritimes, bien que cette solution ait été envisagée par la majorité des communes concernées, seulement deux communes se sont orientées finalement vers cette solution (effective en 2012), soit 4 UDI desservant au total 2496 usagers (57,6 % de la population concernée par cette problématique ; 0,2 % de la population départementale). Dans un cas, la dilution effectuée entre deux sources contaminées respectivement par de l'arsenic et les sulfates (référence de qualité :  $250 \text{ mg.L}^{-1}$ ) a permis de rétablir la conformité de l'eau distribuée pour ces deux paramètres (fig. 9).

### **7.2. Traitement**

Plusieurs types de traitement peuvent être envisagés pour éliminer l'arsenic des EDCH. Tous les traitements proposés doivent disposer au préalable d'un agrément du Ministère de la Santé qui permet de vérifier l'innocuité sanitaire du produit ou du support de traitement utilisé (critères de pureté du produit, évaluation des éventuels phénomènes de relargage de substances chimiques du produit dans l'eau, ...) et l'efficacité du procédé de traitement proposé, dans les conditions d'utilisation préconisées (Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, 2006, 2007b).

De plus, ces traitements doivent être adaptés à la problématique départementale (communes aux moyens techniques et financiers limités, mise en œuvre rapide eu égard aux restrictions alimentaires en vigueur pour plusieurs communes). Les méthodes de traitement utilisées peuvent mettre en jeu des procédés non spécifiques



**Fig. 9.** Dilution d’une ressource contaminée en arsenic: cas de la commune de Fontan (restriction) (Dassonville, 2012).

**Fig. 9.** Dilution of a resource contaminated in arsenic: case of the municipality of Fontan (Dassonville, 2012).

de l’élimination de l’arsenic mais qui sont utilisés couramment dans les unités de traitement d’EDCH (liste non exhaustive) :

- Traitement par précipitation : la décarbonatation à la chaux par exemple à un pH de 9 ou supérieur à 9 en présence de magnésium est un traitement permettant

d'éliminer efficacement l'arsenic des eaux distribuées. Néanmoins, ce procédé non spécifique de l'élimination de l'arsenic est très coûteux et nécessite un suivi par un personnel très qualifié. En outre, ce traitement génère un volume de boue très important. Il est plutôt utilisé dans le cas où il est nécessaire d'éliminer d'autres éléments chimiques de l'eau distribuée (ex. : élimination de la dureté carbonatée). Le traitement par coagulation-floculation-séparation peut aussi être envisagé. En présence d'un coagulant à base de fer ferrique, l'arsenic réagit avec le fer ferrique pour donner un arseniate de fer co-précipitable par l'hydroxyde ferrique. Néanmoins, ce traitement non spécifique permet seulement l'élimination de l'arsenic V, une oxydation préalable étant nécessaire pour l'élimination de l'arsenic III. L'efficacité de ce traitement est aussi fortement conditionnée par le pH qui doit être inférieur à 7,5 et par les ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) qui interfèrent et atténuent l'élimination de l'arsenic. Les volumes de boues générés sont importants (AFSSA, 2004).

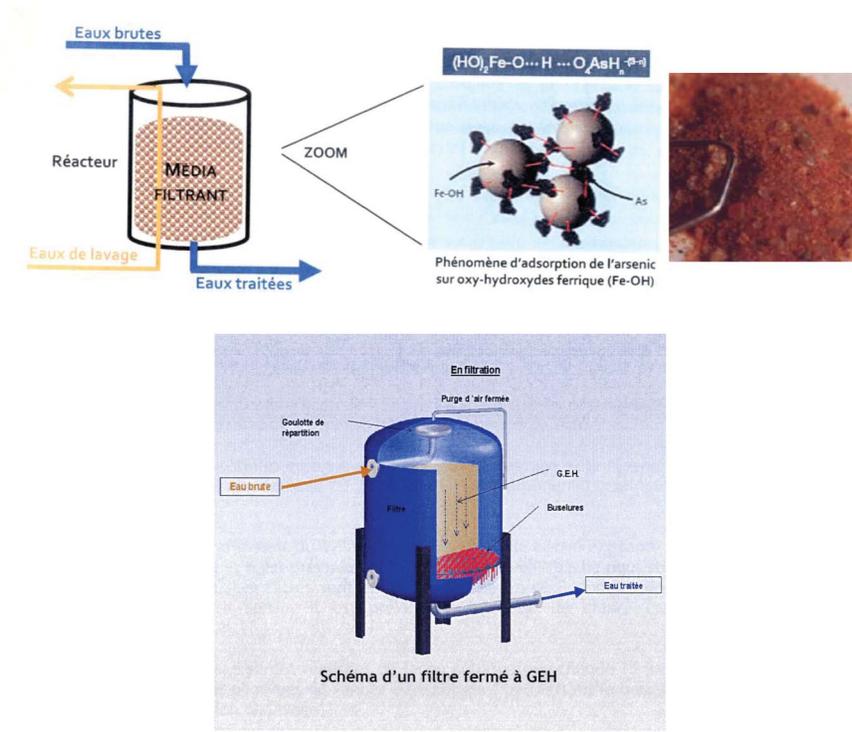
- Traitement par rétention membranaire : ces traitements très coûteux permettent l'élimination de l'arsenic V et de l'arsenic III. Leur mise en œuvre est très complexe et leur emploi nécessite de définir une stratégie appropriée de gestion de rejets (produits de lavage, ...).

Ces traitements non spécifiques ne sont pas envisageables pour les communes des Alpes-Maritimes (coût, technicité, volume des boues et des rejets, ...). D'autres traitements spécifiques de l'arsenic peuvent néanmoins être envisagés, notamment ceux mettant en jeu les phénomènes d'adsorption sélective (i) sur alumine activée (seul l'arsenic V est éliminé, interférence des fluorures, le pH doit être inférieur à 7,5, la régénération du dispositif est lourde et complexe) (ii) sur dioxyde de manganèse (le pH doit être inférieur à 8, les deux valences de l'arsenic sont éliminées) ou encore (iii) sur oxyhydroxydes de fer (fig. 10) (le pH doit être inférieur à 8, les deux valences de l'arsenic sont éliminées (l'arsenic III étant cependant moins retenu).

Ces procédés mettant en jeu un média filtrant ne nécessitent pas le suivi d'un personnel technique très qualifié, et ne génèrent pas de boues. De plus, leur coût est moins élevé (à dimensionnement égal) que celui des autres procédés abordés précédemment. Même si en première approche, ces procédés d'adsorption sélective semblent convenir à la problématique des communes des Alpes-Maritimes, il convient de noter que leur efficacité est très dépendante, entre autres, du pH de l'eau et de la composition chimique de l'eau (espèces interférentes pouvant fortement altérer l'adsorption de l'arsenic sur les médias filtrants).

Au niveau national, 44 unités de traitement pour le paramètre arsenic sont actuellement en service (Conseil Général des Alpes-Maritimes *et al.*, 2010). Seuls deux procédés de traitement sont utilisés : l'adsorption sélective (88 % des unités en service) et la coagulation-floculation (12 % des unités recensées) qui est mise en œuvre lorsque plusieurs éléments doivent être éliminés des eaux (Conseil Général des Alpes-Maritimes *et al.*, 2010). Le retour d'expérience au niveau national montre que l'adsorption sélective est la plus utilisée (86 % des unités) : sa simplicité d'exploitation, son adaptabilité à des concentrations variées en arsenic et la durée de vie du média filtrant font qu'il est aujourd'hui le plus adapté, en termes d'exploitation et d'investissement aux petites unités de distribution d'eau destinée à la consommation humaine (fig. 10).

Le dimensionnement de l'unité de traitement reste le facteur prépondérant du coût d'investissement pour ce procédé (Conseil Général des Alpes-Maritimes *et al.*,



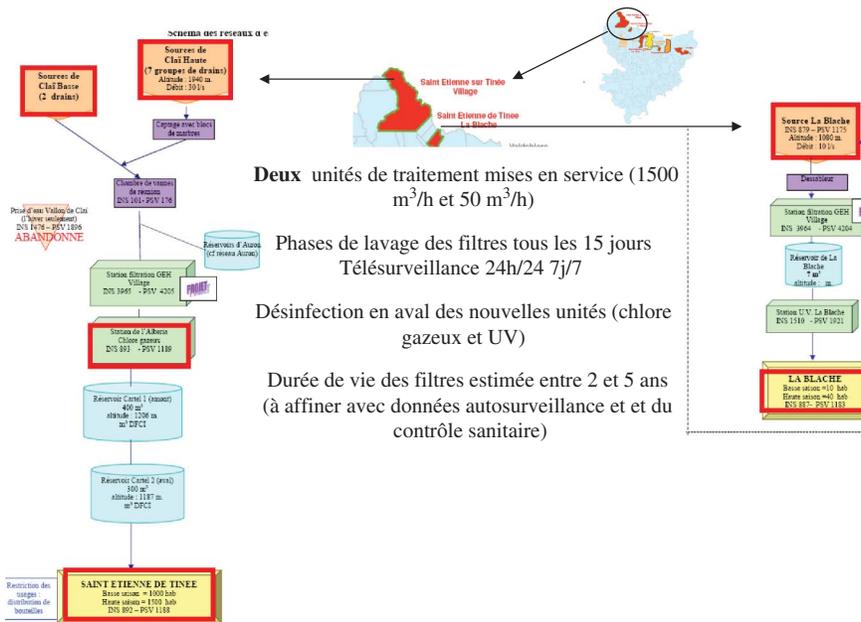
**Fig. 10.** Principe du procédé d'adsorption sélective : cas de l'oxyhydroxyde de fer.

**Fig. 10.** *Principle of the process of selective adsorption: case of the iron oxyhydroxydes (source: Internet).*

2010). 3 communes du département des Alpes-Maritimes concernées par une restriction alimentaire se sont orientées vers la mise en œuvre d'une unité d'adsorption sélective sur oxyhydroxydes de fer, soit 4 UDI desservant 1345 habitants (31 % de la population concernée par cette problématique, 0,12 % de la population départementale). Les résultats récents du contrôle sanitaire réglementaire des EDCH réalisé au niveau des UDI concernées montrent que ces dispositifs de traitement permettent la distribution d'une eau conforme à la réglementation sous réserve qu'un suivi régulier du dispositif soit réalisé (lavage des filtres, changement des filtres saturés, ...) (fig. 11).

### 7.3. Recours à une nouvelle ressource en eau

Le recours à une nouvelle ressource en eau est une solution généralement envisagée en première approche par les communes concernées au même titre que la dilution. Ce constat repose sur le fait que les communes ont parfois recensé des ressources en eau non utilisées sur le territoire communal potentiellement mobilisables pour la distribution d'EDCH. Néanmoins, cette solution ne peut être envisagée



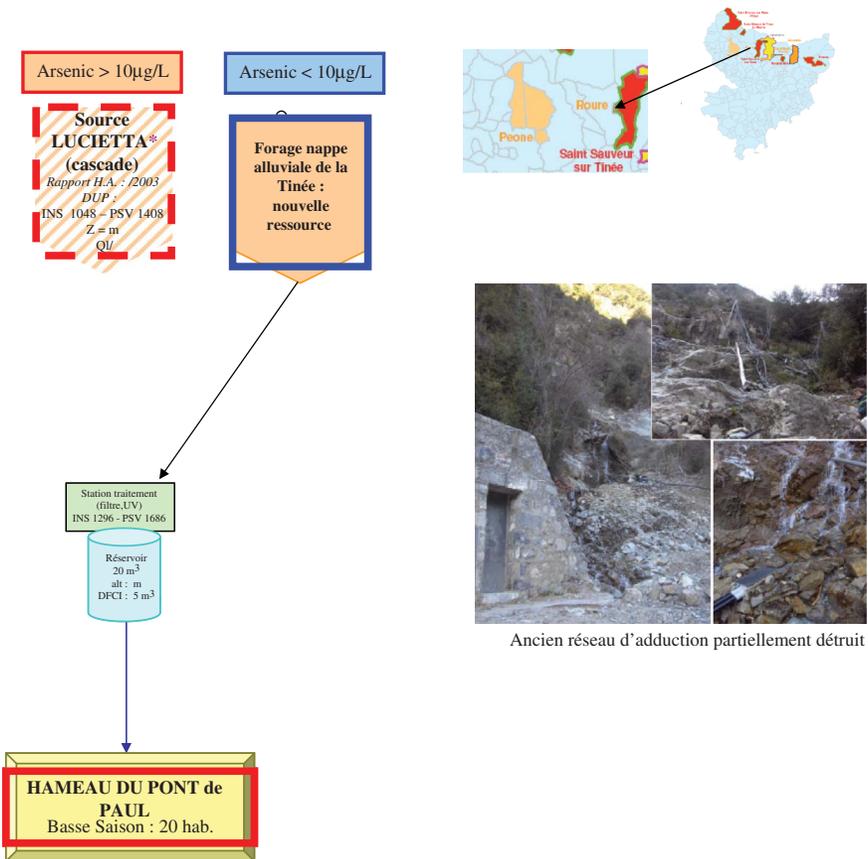
**Fig. 11.** Mise en place d’unités d’adsorption sélective sur oxyhydroxydes de fer : cas de la commune de Saint Étienne de Tinée (Dassonville, 2012).

**Fig. 11.** Implementation of a unity of selective adsorption on iron oxyhydroxydes: case of the municipality of Saint Etienne de Tinée (Dassonville, 2012).

que si les caractéristiques de la ressource sont compatibles avec un usage destinée à l’alimentation humaine (caractéristiques hydrogéologiques, protection de la ressource, qualité de l’eau, aspects quantitatifs).

De plus, cette solution peut imposer des coûts importants relatifs aux travaux de pompage à réaliser (forage, pompages d’essais), à la restructuration éventuelle du réseau d’alimentation en EDCH (raccordement de la nouvelle ressource au réseau existant et/ou création d’un nouveau linéaire de réseau) et à la procédure de régularisation administrative de la nouvelle ressource (déclaration d’utilité publique des périmètres de protection) (Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, 2007d).

Au final, seulement une commune a mis en œuvre cette solution. Dans ce dernier cas, outre la contamination de la ressource utilisée, le réseau d’adduction existant avait été partiellement détruit par un éboulement rocheux (phénomène de « laves torrentielles »). L’étude technico-économique réalisée a démontrée la pertinence de recourir à une nouvelle ressource en eau disponible dans le secteur en comparaison de la réhabilitation du réseau existant et de l’installation d’un dispositif de traitement de l’arsenic. Ainsi, cette nouvelle ressource en eau alimentera 1 UDI desservant 20 usagers (0,46 % de la population concernée par cette problématique; 0,01 % de la population départementale) (fig. 12).



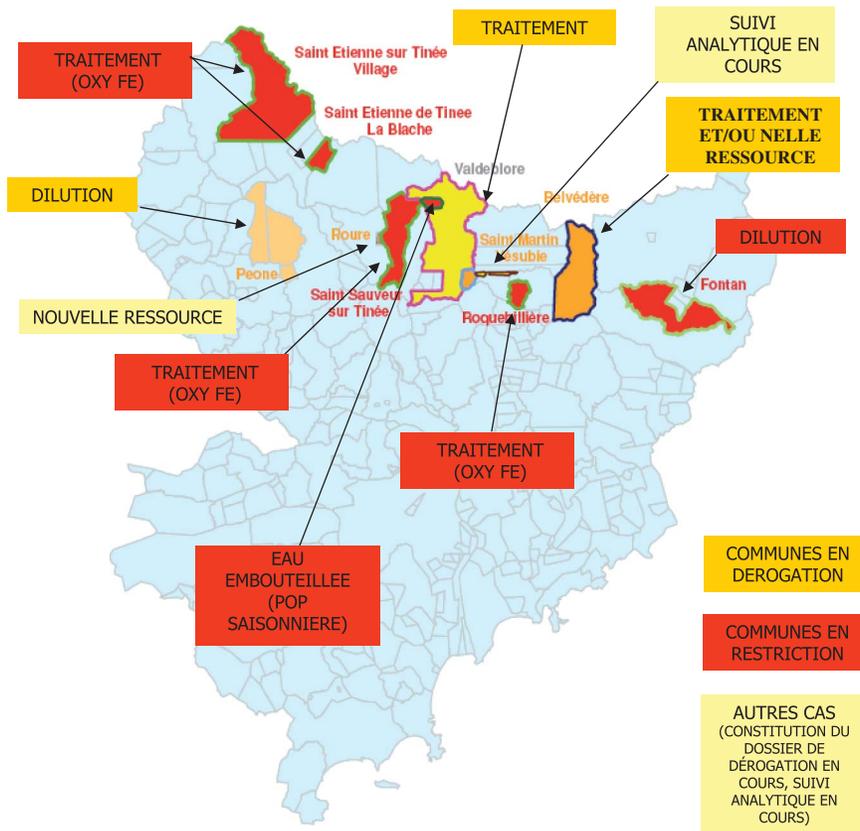
**Fig. 12.** Recours à une nouvelle ressource en eau : cas de la commune de Roure (Dassonville, 2012).

**Fig. 12.** Use of a new resource in water: case of the municipality of Roure (Dassonville, 2012).

## 8. Bilan des actions menées dans les Alpes-Maritimes

Le programme d'actions mené a permis la mise en place effective de mesures correctives pour les communes du département des Alpes-Maritimes concernées par des dépassements récurrents de la limite de qualité réglementaire pour l'arsenic. Au final, les solutions consistant en la mise en place d'une unité de traitement ou d'une dilution ont été privilégiées pour plus de 95 % de la population concernée par cette problématique (67 % des UDI concernées) (fig. 13).

Le dispositif de traitement utilisé est exclusivement l'adsorption sélective sur oxyhydroxydes de fer qui paraît la mieux adaptée aux UDI de petite taille (<500 habitants). Le recours à une nouvelle ressource, bien qu'envisagé en première approche par les communes n'a pu être opérationnel que dans une seule commune (0,5 % de la population concernée, 7 % des UDI concernées) (fig. 13).

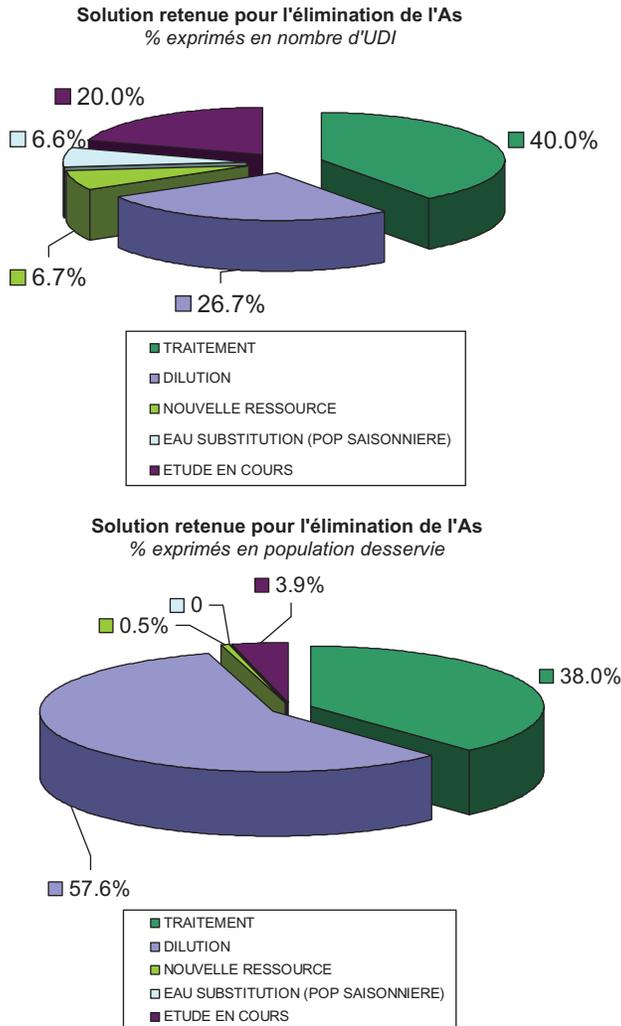


**Fig. 13.** Synthèse des solutions retenues dans les Alpes-Maritimes (Dassonville, 2012).  
**Fig. 13.** Synthesis of the solutions held in the Alpes-Maritimes (Dassonville, 2012).

Dans le cas où la population concernée est saisonnière, une alimentation de substitution par eau embouteillée a été privilégiée. Des études sont encore en cours pour déterminer les solutions les plus appropriées pour 20 % des UDI concernées (4 % de la population concernée) (fig. 13).

De multiples contraintes ont dû être prises en compte pour définir les solutions les plus appropriées pour chaque réseau de distribution tout tenant compte de la pression populationnelle (organisation de réunions publiques) et des aspects médiatiques. Au final, il convient de considérer qu'il n'existe pas une solution unique prédéfinie pour éliminer l'arsenic des EDCH mais des solutions « potentielles » (traitement, dilution, recours à une nouvelle ressource en eau, ...) qui doivent être étudiées au cas par cas et adaptées au contexte local. Elles doivent permettre de concilier les exigences :

- réglementaires : prise en compte de la réglementation par rapport à la solution technique envisagée (agrément du ministère de la santé en cas de recours à un dispositif de traitement ; procédure administrative de déclaration d'utilité



**Fig. 13.** (Continued).

- publique des périmètres de protection en cas de recours à une nouvelle ressource en eau, ...)
- **techniques** : choix d'une solution technique adaptable à des petites communes (capacité de mise en œuvre et de suivi de la solution technique retenue ; adaptabilité aux contraintes de l'environnement (milieu montagnard, ...)) ;
  - **de délai** : respect des délais imposés par l'ARS (durée de dérogation, ...) et des contraintes de délai liée aux situations d'urgence sanitaire (cas des restrictions alimentaires, ...) ;
  - **de coût** : coût adaptable au budget de petites collectivités.

La prise en compte de ces exigences doit permettre d'apporter rapidement une solution adaptée aux attentes des différents interlocuteurs en respectant les exigences réglementaires afin de protéger la santé des populations.

Afin de garantir de manière pérenne la distribution d'une eau conforme aux exigences sanitaires, il est utile de rappeler qu'une démarche associant à la fois les mesures curatives (dispositifs de traitement, ...) et les mesures préventives (protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine) doit être menée par les collectivités. La prise en compte de cette démarche permettra d'assurer durablement la sécurité sanitaire des eaux distribuées.

*Remerciements:* L'auteur tient à remercier l'ARS PACA pour avoir financé sa participation au colloque « Contaminants minéraux des eaux destinées à la consommation humaine » organisé par l'ASEES à Limoges les 8 et 9 juin 2012.

L'auteur remercie le Dr. REFAIT Denis, Délégué territorial de l'Agence Régionale de Santé Provence-Alpes-Côte-d'Azur – délégation territoriale des Alpes-Maritimes et Mr FONTES Gilbert, Ingénieur Général du Génie Sanitaire, pour la relecture attentive de cet article, ainsi que les relecteurs de la revue pour leurs critiques constructives.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA), 2004. Évaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de qualité de l'arsenic dans les eaux destinées à la consommation humaine. Publication de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments.
- Conseil Général des Alpes-Maritimes, Service Eau et Milieu Marin, Direction de l'Écologie et du Développement Durable, 2010. État des connaissances des traitements de l'arsenic appliqués aux eaux destinées à la consommation humaine en 2010. Analyse comparative menée à l'échelle nationale (France métropolitaine), 30 p.
- Dassonville F., 2010. Qualité des eaux distribuées dans les Alpes-Maritimes. Publication de l'Agence Régionale de Santé Provence-Alpes-Côte d'Azur.
- Dassonville F., 2012. La qualité des eaux distribuées en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Fiches de synthèse relatives au département des Alpes-Maritimes, sous presse.
- Doornaert B., 2006. Choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR). Arsenic. Rapport d'Étude de l'INERIS, programme EAT-DRC-26, 39 p.
- Féraud G. et Barats A., 2009. Cartographie de l'arsenic dans les eaux de surface et souterraines dans le département des Alpes-Maritimes : compréhension du système eaux/roches. Publication de l'Institut de Chimie de Nice.
- Féraud G., Potot C., Fabretti J.-F., Guglielmi Y., Fiquet M., Barci V. et Maria P.-C., 2009. Trace elements as geochemical markers for surface waters and groundwaters of the Var River catchment. *C.R. Chimie*, 12(8), 922–932.
- Féraud G. *et al.*, 1975. Sur la découverte de scheelite, cassiterite, bismuthinite et molybdénite dans les gîtes à arsénopyrite du massif de l'argentera. Conséquences métallogénétiques et pétrogénétiques. *CR. Acad. Sc., Paris*, 280, 2179–2182.
- Féraud J., 1974. Les gisements de sulfures d'arsenic du sud-est de la France, minéralisations liées aux strates et gîtes filoniens. Thèse, Université de Paris VI, 152 p.
- Gelbel T., 1999. Metalle/Antimon. In: W.-S.-F. Umweltmedizinisches Handbuch (eds.), 17. Ergänzungslieferung (11/99), ecomed, Landsberg.
- Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2004. Circulaire N° DGS/SD7A/2004/602 du 15 décembre 2004 relative à la gestion du risque sanitaire en

- cas de dépassement des limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine pour les paramètres antimoine, arsenic, fluor, plomb et sélénium en application des articles R. 1321–26 à R. 1321–36 du code de la santé publique.
- Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2006. Circulaire DGS/7A/2006/127 du 16 mars 2006 relative aux procédés de traitement d'eau destinée à la consommation humaine, à l'exclusion d'eau minérale naturelle et d'eau de source, mettant en œuvre des supports de filtration recouverts d'oxydes métalliques.
- Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2007a. Décret n° 2007–49 du 11 janvier 2007 relatif à la sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.
- Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2007b. 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.
- Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2007c. Arrêté du 17 août 2007 relatif à la constitution du dossier de demande de mise sur le marché d'un produit ou d'un procédé de traitement d'eau destinée à la consommation humaine mentionné à l'article R. 1321-50-IV du code de la santé publique.
- Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, Direction Générale de la Santé, 2007d. Arrêté du 20 juin 2007 relatif à la constitution du dossier de la demande d'autorisation d'utilisation d'eau destinée à la consommation humaine mentionnée aux articles R. 1321–6 à R. 1321–12 et R. 1321–42 du code de la santé publique.
- Mouly D., Jusot J.F., Bérat B., Gorla S., Stempfelet M. et Beaudeau P., 2011. Étude de la relation entre l'exposition chronique à l'arsenic hydrique d'origine naturelle et la survenue de cancers en Auvergne. Rapport d'Étude. Saint-Maurice : Institut de Veille Sanitaire, 75 p.
- National Research Council, 1999. Arsenic in drinking water. National Academy Press, Washington DC.
- National Research Council, 2001. Arsenic in drinking water: update. National Academy Press, Washington DC.
- Pili E., Tisserand D. et Bureau S., 2012. Origin, mobility and temporal evolution of arsenic from a low-contamination catchment in Alpine crystalline rocks. *J. Hazard. Mat.*, in press.
- Rahman A., Persson L.A., Nermell B., El Arifeen S., Ekström E.C., Smith A.H. et Vahter M., 2010. Arsenic exposure and risk of spontaneous abortion, stillbirth, and infant mortality. *Epidemiology*, 21, 797–804.
- Ravault C., Fabres B. et Ledrans M., 2001. Exposition chronique à l'arsenic hydrique et risque pour la santé. Bilan des données épidémiologiques. Évaluation quantitative des risques sanitaires en Auvergne. Rapport de l'Institut de Veille Sanitaire, 107 p.
- Réseau National de Santé Publique, 1996. Évaluation des risques sanitaires liés à la pollution industrielle de la région de Salsigne (Aude) : étude de mortalité et d'exposition. RNSP, Saint-Maurice.
- Réseau National de Santé Publique, 1998. Contamination des eaux de consommation par l'arsenic. Approche du risque sanitaire en France. RNSP, Saint-Maurice.
- Smedley P.L. et Kinniburgh A., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.*, 17, 517–568.
- Union Européenne. 1998. Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Journal officiel (de l'Union Européenne) L 330 du 5 décembre 1999, 32–54.
- Union Européenne. 2000. Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel (de l'Union Européenne) L 327 du 22 décembre 2000, 1–73.