

L'optimisation et la réhabilitation des forages par le dispositif de distribution uniforme d'afflux, Eucastream

Jean Luc WATHELET ⁽¹⁾

*Water Wells Optimization and Rehabilitation by Suction Flow Control Device,
Eucastream*



EUFOR INTER

S.P.R.L. EUFOR INTER B.V.B.A.
Eupen - Liège - Antwerpen
Head offices
Am Hertogenwald, 7
B-4700 Eupen
Belgium
Tél. +(32) 87-63.23.00
Fax +(32) 87-63.23.01

L'optimisation et la réhabilitation des forages par le dispositif de distribution uniforme d'afflux, Eucastream

Jean Luc WATHELET ⁽¹⁾

Water Wells Optimization and Rehabilitation by Suction Flow Control Device, Eucastream

Hydrogéologie, n° 4, 1994, pp. 15-24, 11 fig.

Mots-clés : Optimisation, Puits eau, Hydrodynamique captage, Action préventive, Sable, Colmatage, Turbidité.

Key-words: Optimization, Water wells, Catchment hydrodynamics, Preventive measures, Sand, Clogging, Turbidity.

Résumé

Le Dispositif de Distribution Uniforme d'Afflux (DDUA) est destiné à équiper les forages, dont l'exploitation est perturbée par une répartition hétérogène des afflux sur les crépines.

Le DDUA se présente sous la forme d'un tube plein à perforations différenciées calculées sur la base des données hydrauliques, géométriques et géologiques (voir questionnaire technique détaillé) du forage à optimiser, s'il s'agit d'un nouvel ouvrage, ou à régénérer, s'il s'agit d'une opération de réhabilitation. Ce dispositif a pour objectif d'uniformiser les afflux (vitesses constantes, limitées et horizontales) sur la hauteur totale de la crépine grâce à l'exploitation de modèles mathématiques et de programmes informatiques développés dans ce but.

L'optimisation des caractéristiques hydrodynamiques dans le forage permettra d'obtenir des prestations (débits) supérieures dans des conditions d'exploitation souhaitables. Les teneurs en matière en suspension (sable) et en matière en solution (turbidité) seront supprimées ou fortement réduites ; les phénomènes de colmatage des crépines et massifs filtrants par incrustation bactérienne d'origine biologique seront ralentis ; la durée de vie du forage sera

augmentée ; les coûts de maintenance (usure prématurée des pompes) seront minimisés ; les périodes de développement (dessablage) seront écourtées ; les formations pourront être exploitées de manière sélective et, dans des applications ciblées, les rendements spécifiques seront améliorés.

Ces objectifs seront illustrés, ci-après, par la présentation de quelques opérations démonstratives.

Extended abstract

The following paper in French language provides theory and case histories for an important "new" concept in well design and well restoration planning, the Suction Flow Control Device (SFCFD).

The SFCFD (in its current form) will be installed in water wells to equalize the inflows (uniform, low and horizontal velocities) over the total length of the screen.

The SFCFD consists of a pipe with differentiated hole pattern individually calculated on the basis of the requested technical data for each well to be optimized or rehabilitated. The know-how includes mathematical models and sophisticated computer programs.

The improvement of flow conditions in wells enables maximized performances

(water deliveries) with satisfactory conditions of production: Sand and turbidity will be eliminated or strongly reduced; biofouling encrustation will be retarded (slowing down and dispersing the clogging effect); wells working life will be increased; maintenance costs (premature pumps wear) will be minimized; development periods will become shorter; formation may be selectively stimulated if requested; specific pumping performances may also be enhanced in specific cases of applications.

The free surface of screens (slot area) in wells is in most cases so large that its pressure loss can be ignored. There remain, however, two pressure differences, h and H , which are basic parameters for the analysis of flow conditions in wells without SFCFD. They can easily be estimated on the initially idealizing assumption that the flow through the gravel pack is completely radial. The pressure loss h of the gravel pack depends on its thickness and the grain size. The axially directed pressure drop H within the screen depends on its length and diameter. The ratio H/h thus found can serve as first criterion for the amount of the vertical component of flow velocity coming up in the gravel pack.

The technical data of the well described in (1) and (2) lead to a ratio H/h in the order of 1, a relatively small value, which does not allow the arising of

(1) Ingénieur Chef de Service, Eupen Forages, Câbleries d'Eupen SA, 9 rue de Malmedy, 4700 Eupen, Belgique.

appreciable vertical components. The numerical solution (1) supplies nearly vertically running equipotential lines in the gravel pack. As the vector of flow velocity is vertical to these lines, it follows that the flow through the gravel pack is nearly radial. In this case the installation of an SFCD is unnecessary.

The technical data of the well described in (3), however, lead to a H/h in the order of 100, and this really great value causes considerable vertical components in the gravel pack according to the estimation in (3). In this case the installation of an SFCD is advisable.

In a first approach and complementary to the characteristics of the geological environment (lithology, permeability of the different water bearing layers), to the granulometry of the gravel pack and to the nominal delivery, the SFCD will be advisable to be installed in a water well preventively (new well) or after it has been conventionally rehabilitated (existing well) when following criterion will be fulfilled:

- $V_v = f(S.L/D_i) > 30$;
- V_v = vertical components in the gravel pack;
- S = free surface of the screen;
- L = total length of the screen section(s);
- D_i = inner diameter of the section.

In the paper in hand the flow conditions in wells with and without SFCD are qualitatively described, the methods of designing the SFCD-Eucastream are explained and at last practical experiences with these SFCD are reported on.

1 - Introduction

La surface libre des crépines, c'est-à-dire la somme de ses ouvertures (slots) est généralement suffisamment importante, de telle manière que sa perte de charge peut être considérée comme négligeable. Dès lors, nous prendrons en considération deux différences de pression Δh et ΔH , lesquelles sont essentielles pour l'appréciation des conditions d'afflux dans les forages classiques non équipés de DDUA. Ces valeurs sont faciles à évaluer dans l'hypothèse idéalisée, ci-dessous, laquelle porte sur un

afflux exclusivement radial au travers du massif de gravier : la perte de charge h dans ce massif est fonction de son épaisseur et de sa granulométrie, tandis que la chute de pression H dans la crépine est fonction de la hauteur et du diamètre de cette dernière.

Le rapport H/h ainsi obtenu peut être considéré comme un premier critère d'approche des composantes verticales des vitesses d'afflux dans le massif filtrant.

Les paramètres de ce type de forage idéalisé conduisent à des rapports H/h d'un ordre de grandeur proche de l'unité. Dans ces conditions, la solution numérique de l'équation (α) fournit des lignes équipotentielles quasi verticales dans le massif de gravier. Comme la vitesse est perpendiculaire à ces lignes, il en résulte que les afflux seront quasi radiaux au travers de ce massif. Dès lors, les composantes verticales seront insignifiantes et l'utilisation du DDUA ne sera pas préconisée.

Par contre, sur un forage réel ces paramètres peuvent donner lieu à un rapport H/h de l'ordre de 100 et selon les estimations faites, ce rapport est à l'origine des composantes verticales d'afflux dans le massif de gravier. Dans un tel cas, le recours à un Dispositif de Distribution Uniforme d'Afflux (DDUA) sera vivement conseillé.

En conséquence de ce qui précède, les pertes de charges de la crépine et, plus encore, du massif filtrant sont relativement négligeables par rapport à la chute de pression à l'intérieur de la crépine. C'est pourquoi, les lignes d'afflux dans le massif filtrant auront déjà tendance à s'orienter selon le gradient de pression à l'intérieur de la crépine. Considérons les deux situations extrêmes suivantes :

a) diamètre intérieur de crépine relativement élevé (c'est-à-dire faibles vitesses verticales à l'intérieur de la crépine, par conséquent faible augmentation de la quantité de mouvement), massif filtrant relativement épais et de fine granulométrie (c'est-à-dire résistance élevée aux afflux) : les afflux seront quasi horizontaux et uniformément répartis sur toute la hauteur de la crépine et verticaux à l'intérieur de celle-ci. Il s'agit d'une conception idéale.

b) diamètre intérieur de crépine relativement faible (c'est-à-dire vitesses verticales élevées, quantité de mouvement élevée), espace annulaire relativement élevé entre la crépine et la paroi du forage, pas de massif filtrant ou massif filtrant relativement perméable (granulométrie grossière) : les afflux seront verticaux (ascensionnels) dans l'espace annulaire et ils ne traverseront la crépine que sur un faible pourcentage de sa hauteur totale.

En réalité, et selon les compromis technico-économiques d'usage, les cas d'applications pratiques se situeront entre ces deux extrêmes et les composantes verticales des vitesses seront plus ou moins grandes selon qu'on se rapproche de l'une ou de l'autre situation extrême. Ces composantes verticales seront la source principale des phénomènes d'érosion des parois du forage et d'entraînement de particules solides de granulométries diverses conduisant à des problèmes de matière en solution (turbidité due aux particules ultra-fines) et de matière en suspension (sable, par exemple) dans l'eau produite.

Cet article compare en termes d'afflux des forages réels équipés ou non d'un DDUA, décrit les méthodes de dimensionnement et, enfin, les applications pratiques du DDUA.

2 - Rapports d'afflux dans les forages

Pour simplifier, nous avons considéré une nappe aquifère captive homogène et confinée. L est la hauteur de la crépine et du massif filtrant correspondant à l'épaisseur de la couche aquifère. La pompe est localisée dans le tube plein (voir fig. 1 et 2).

2.1 - Forages sans DDUA (fig. 1)

L'augmentation de la quantité de mouvement et la perte de charge par frottement dans la crépine provoquent un gradient de pression selon l'axe x . Par conséquent, la différence de pression radiale, qui imprime un mouvement aux particules d'eau affluant de la paroi de forage à travers le massif de gravier et la crépine, augmente de bas ($x = 0$) en haut ($x = L$). C'est pourquoi la vitesse d'afflux

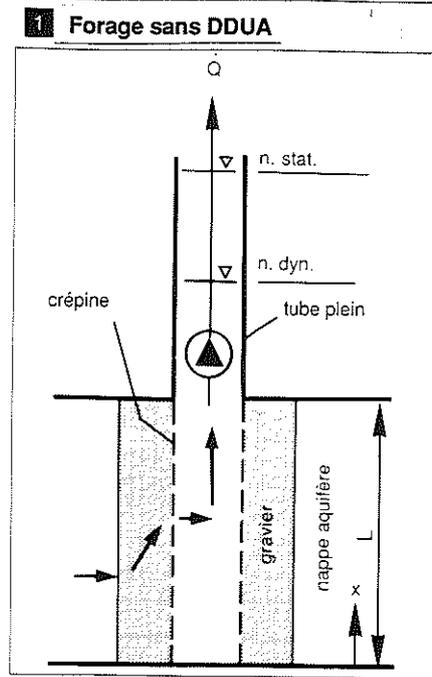
radiale à travers le massif de gravier et la crépine sera plus élevée en haut qu'en bas. Ce phénomène, également reconnu par G. Krems [1] comme un fonctionnement non uniforme des crépines, entraîne inévitablement l'apparition d'une composante verticale, comme on peut le démontrer par les équations.

Selon les conditions particulières supposées à la figure 1, cette composante verticale est égale à zéro là où $x = 0$ et $x = L$ et, d'après l'équation γ , sa valeur est maximale là où $x = (0,5 \text{ à } 0,6) L$. Des données plus précises peuvent être obtenues par calcul sur les équations différentielles d'afflux.

Comme il a été démontré lorsque les rapports H/h préalablement définis sont élevés, la composante verticale de la vitesse d'afflux à la sortie de l'aquifère est nettement plus importante que la composante horizontale. Cette composante verticale de forte intensité est problématique car elle est la cause de l'érosion de la paroi du forage et des entraînements de particules de granulométries diverses, comme expliqué au paragraphe 1.

Les considérations, ci-dessus, s'appuient sur l'exposé de C. Truelsen [2]. Ce dernier explique la production de sable dans les forages comme suit : "Malheureusement, l'afflux de l'eau à travers la paroi du filtre texturé installé dans le forage n'est jamais uniforme. Si la bouche d'aspiration de la pompe se situe au-dessus du filtre, la partie supérieure du filtre sera plus sollicitée que la partie inférieure ; si, par contre, l'aspiration est située dans le tube puisard, on obtiendra l'effet inverse. On ne pourrait obtenir un afflux uniforme sur toute la hauteur de filtrage qu'à l'aide d'un tube-d'aspiration placé à l'intérieur du filtre, dont les ouvertures seraient adaptées aux débits sur toute cette hauteur, ..." (suite de la citation au paragraphe 3).

Kirschmer [4] a étudié la manière avec laquelle des crépines entourées d'une couche de gravier filtrant collectent l'eau provenant d'un grand bassin. Si l'on considère une crépine DI (diamètre intérieur) 200 mm avec une surface libre de 9 %, une couche de gravier de 80 mm d'épaisseur dont les granules ont 2 à 3 mm de diamètre, on observe que les

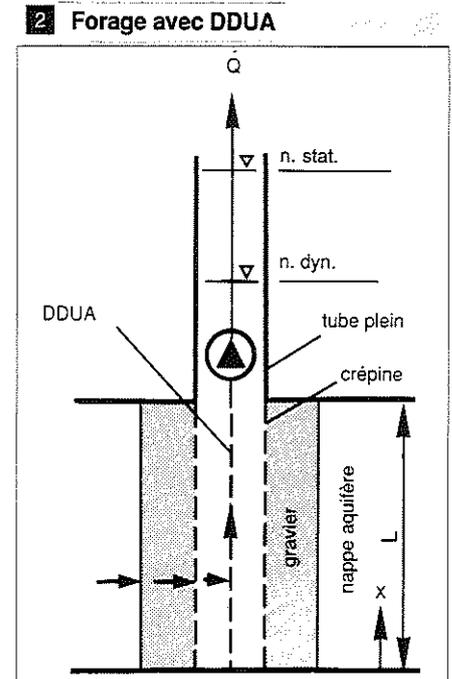


afflux se concentrent dans la partie supérieure, tandis que, dans la partie inférieure, l'eau n'afflue pas. Malgré l'épaisseur relativement importante de la couche de gravier et la finesse des granules, la distribution des afflux sur cette crépine reste donc très mal répartie. En raison des conditions particulières de cette expérience, les résultats de ces mesures ne peuvent cependant être transposés que sur les forages dans une nappe aquifère extrêmement perméable, par exemple dans des aquifères de gros galets avec de larges interstices.

2.2 - Forages avec DDUA (fig. 2)

Dans un forage équipé d'un DDUA le filet fluide se meut de la paroi du forage à travers le massif de gravier et de la crépine suivant une trajectoire strictement horizontale. Ce n'est qu'à l'intérieur du DDUA que ce filet sera dévié en direction verticale. Il n'existe donc pas de composante verticale dans le massif filtrant.

Ce schéma d'afflux, fondamentalement différent de celui d'un forage conventionnel non équipé de DDUA, est dû au fait que la pompe aspire un même volume d'eau ΔQ sur chaque section de crépine Δx via le DDUA, dans la zone $0 < x < L$. L'introduction du DDUA donne également lieu à une augmenta-



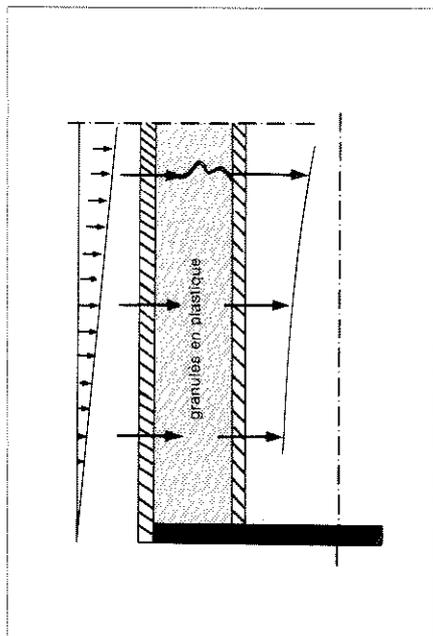
tion de la quantité de mouvement et à une perte de charge par frottement, mais ces phénomènes restent toutefois limités à l'intérieur du DDUA et ne se transmettent pas à l'espace annulaire entre le DDUA et la crépine.

3 - Les Dispositifs de Distribution Uniforme d'Afflux, DDUA

Il existe deux principes permettant de réaliser la répartition uniforme de ΔQ sur L : le principe de la grande résistance d'afflux et celui des surfaces libres adaptées. Les DDUA de la première génération [3] et ceux de la seconde génération [4] sont construits selon ces principes.

Le principe des surfaces libres adaptées avait été décrit comme suit par C. Truelsen [2] (suite de la citation du paragraphe 2) : "... ouvertures dont le nombre et /ou le diamètre augmenteraient proportionnellement de haut en bas. Cet effet étant difficilement réalisable en pratique, le meilleur moyen est d'ajuster la vitesse effective dans le massif de gravier afin de la limiter à la vitesse maximale théoriquement admissible. Dès lors, même si la crépine est sollicitée de manière variable selon la section, l'entraînement de sable dans le forage sera malgré tout évité..."

3 DDUA de la première génération



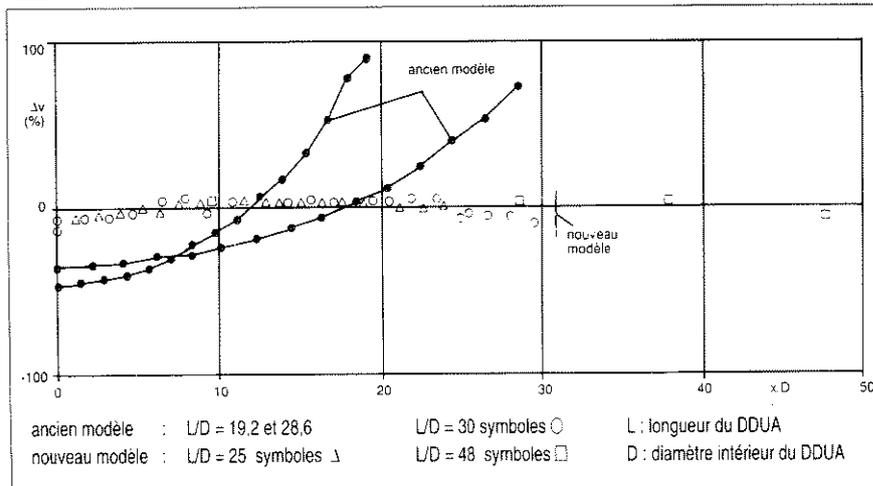
Le doute émis par Truelsen quant à la réalisation pratique d'un tel dispositif est à l'origine du fait que les DDUA n'ont été développés qu'à la fin des années 1970 pour ce qui est du principe de la grande résistance d'afflux (première génération), et au milieu des années 1980 pour ce qui est du principe des ouvertures adaptées (seconde génération).

3.1 - DDUA I, première génération (fig. 3)

Ce DDUA consiste en 2 tubes concentriques à parois épaisses fermés à leur base et uniformément fendillés ; l'espace annulaire formé par ces tubes est rempli de granules. La distribution des afflux n'est uniforme sur toute leur hauteur que lorsque leurs surfaces libres deviennent infiniment petites et/ou que le coefficient de résistance d'afflux du massif de granules tend vers l'infini. Ces deux conditions sont contraires à toute logique.

Les courbes "ancien modèle" (fig. 4) illustrent le comportement de ce DDUA. On remarque que la distribution des afflux n'est pas régulière. En effet, là où $x = 0$, l'afflux est inférieur d'environ 90 % par rapport à la valeur moyenne et optimale (ligne zéro).

4 Déviation Δv de la ligne-zéro en fonction de x/D pour les DDUA des 1ère et 2e génération



Néanmoins, ce DDUA a donné des résultats relativement satisfaisants dans des applications ponctuelles grâce à un certain effet uniformisant sur les crépines (1977-1986).

Les inconvénients majeurs du DDUA de première génération, abandonné dès 1986 au profit du DDUA de seconde génération, étaient les suivants : uniformisation insuffisante des afflux, risque de colmatage et donc d'implosion, perte de charge relativement importante, coûts et poids élevés de par sa construction.

3.2 - DDUA II, seconde génération (fig. 5)

Ce DDUA consiste en un tube unique fermé à sa base, dont la surface libre relative $A(x)$ est fonction de la position axiale x et diminue de bas ($x = L$) en haut ($x = 0$) à mesure que la vitesse $v(x)$ dans les ouvertures de ce tube (surfaces libres) augmente de bas en haut (voir fig. 5).

Ainsi, le volume d'eau ΔQ aspiré par section Δx sera constant, c'est-à-dire indépendant de x . Par conséquent toutes les particules d'eau auront la même vitesse, laquelle sera perpendiculaire à la paroi de ce tube.

La surface libre relative $A(x)$ à chaque position axiale x s'obtient par la résolution des équations unidimensionnelles basées sur les principes de conservation pour un afflux incompressible.

Selon les désignations reprises à la figure 6, les équations de référence sont les suivantes :

- \square the equation of continuity
$$dQ = v D \pi dx = v_f \beta D \pi dx = D^2 \frac{\pi}{4} du, \quad (1)$$
- \square the theorem of momentum
$$dp + \rho g dx + \rho u du + \lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{u^2}{2} = 0 \quad (2)$$
- \square and the law of conservation of energy
$$p_0 = p + \rho g x + \frac{1}{\phi^2} \cdot \rho \frac{v_f^2}{2} \quad (3)$$

Partant de la condition $v = \text{constante}$, on peut calculer la surface libre relative par section à l'aide des équations (α) à (γ). Celle-ci comprend des paramètres expérimentaux tels que le coefficient de frottement à l'intérieur du DDUA et le coefficient de vitesse de ses ouvertures. Ces coefficients ont tout d'abord été approchés et par la suite, des essais sur un modèle construit grâce à ces valeurs approchées ont permis d'obtenir des coefficients nettement plus affinés.

Après une nouvelle itération, on a mesuré la courbe "nouveau modèle" illustrée à la fig. 4 : la déviation Δv de la valeur moyenne v est pratiquement nulle.

Par la suite, un programme informatique a été développé pour compenser les déviations Δv , déjà très faibles (fig. 4), à l'aide d'une fonction de correction empirique. Ce programme permet également la construction individuelle du DDUA adapté aux données techniques d'un forage.

Par rapport au DDUA I, le DDUA II présente les avantages suivants : risque de colmatage pratiquement exclu, perte de charge négligeable – généralement moins de 0,1 m CE (0,01 bar) –, prix d'achat abordable, poids réduit et surtout élimination quasi radicale de la teneur en matière en solution et en matière en suspension dans l'eau produite grâce à un haut degré d'uniformisation des afflux sur la crépine.

Les capacités de conception à partir de programmes informatiques sophistiqués et d'adaptabilité du DDUA aux multiples modèles de forages rencontrés (universalité de la technologie) ont été étendues et affinées jusqu'à ce jour.

La figure 7 représente schématiquement les afflux dans deux forages identiques, l'un étant équipé d'un DDUA (droite) et l'autre non (gauche). Pour ce qui est du forage conventionnel (c'est-à-dire non équipé d'un DDUA), il est à noter que les composantes verticales des vitesses dans le massif filtrant sont maximales à la hauteur 0,6 L.

4 - Expériences pratiques

La description et les résultats de quelques opérations démonstratives récentes sont repris ci-dessous.

4.1 - Suppression ou réduction substantielle des teneurs en sable

4.1.1 - Forage IRE 1165/69 situé dans le secteur El Amzar, province d'Agadir-Maroc

L'opération a été menée pour le compte de la Direction de la Planification et Développement de l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) du Royaume du Maroc en coopération avec la société NOVAFOR d'Agadir. Les services de l'Hydraulique, conseillers techniques du maître d'oeuvre, étaient également représentés.

Le forage récent (1993) présentait une concentration de sable élevée qui interdisait son exploitation au débit souhaitable de 35 l/s.

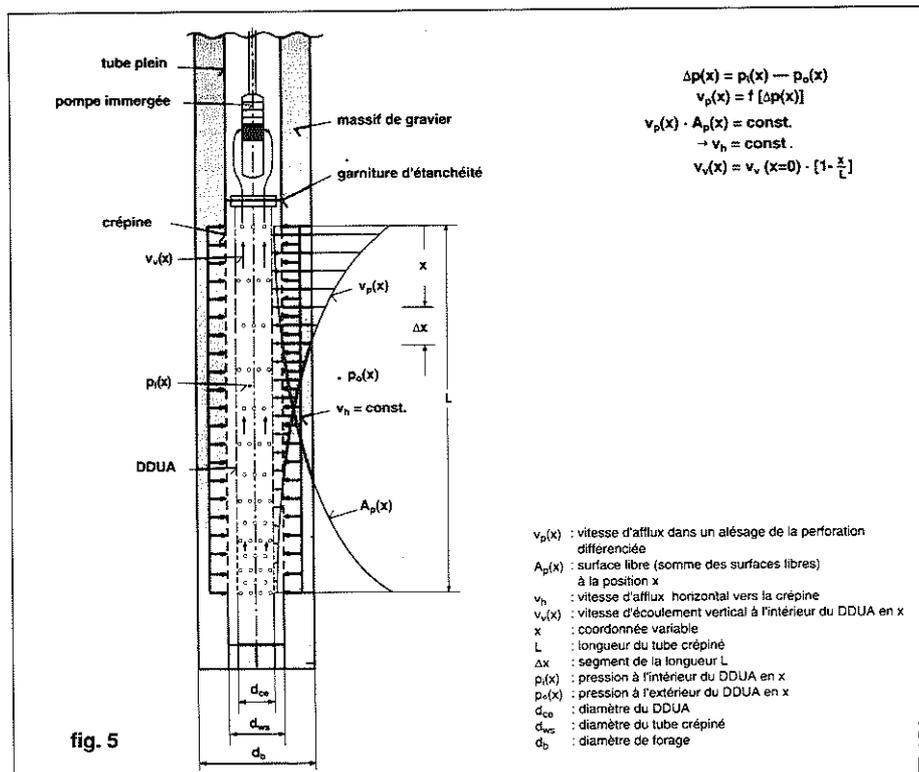


Fig. 5. - Fonctionnement du DDUA-Eucastream.

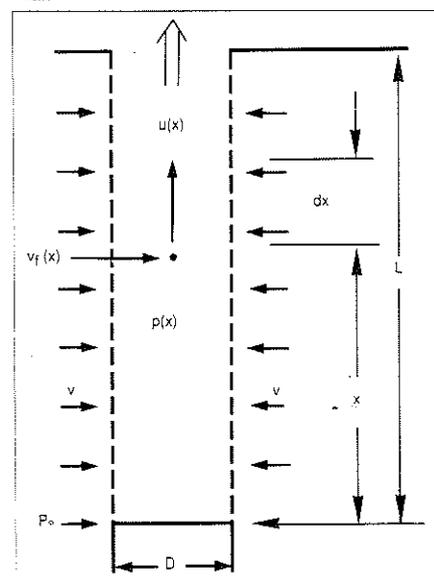
Il fut alors décidé de réduire progressivement le débit jusqu'à 15 l/s et de remplir le fond de l'ouvrage sur une partie de sa hauteur avec de la gravette de plusieurs dimensions jusqu'à la cote - 42 mètres. Les essais effectués sous ce schéma ont donné des résultats acceptables au point de vue de la teneur en sable, mais naturellement au détriment du débit. L'ouvrage ainsi achevé resta en attente d'être équipé.

Soucieuse d'exploiter ses forages avec les meilleurs débits possibles, la Direction de la Planification de l'ONEP décide alors d'équiper son forage avec un Eucastream - DDUA à titre expérimental.

Après extraction de toute la gravette par un système d'air-lift et la mise en place d'une pompe immergée de 35 l/s calée à - 68 m au droit d'une partie pleine de tubage, les essais de pompage conduisent à une teneur en sable de 700 PPM après 3 heures.

Le DDUA est installé et les essais de pompage reprennent dans les mêmes conditions. La figure 8 reprend les caractéristiques du forage équipé de son DDUA et la figure 9 reprend l'évolution

6 Explication des symboles



de la teneur en sable en fonction de la durée de pompage à 35 l/s.

L'essai est arrêté après 45 heures de pompage à 35 l/s avec une concentration de 56 PPM.

Afin de compléter l'expérience, le débit est réduit à 30 et 25 l/s conduisant à des teneurs en sable respectives de 42 et 11 PPM à la fin d'un pompage continu de 12 heures.

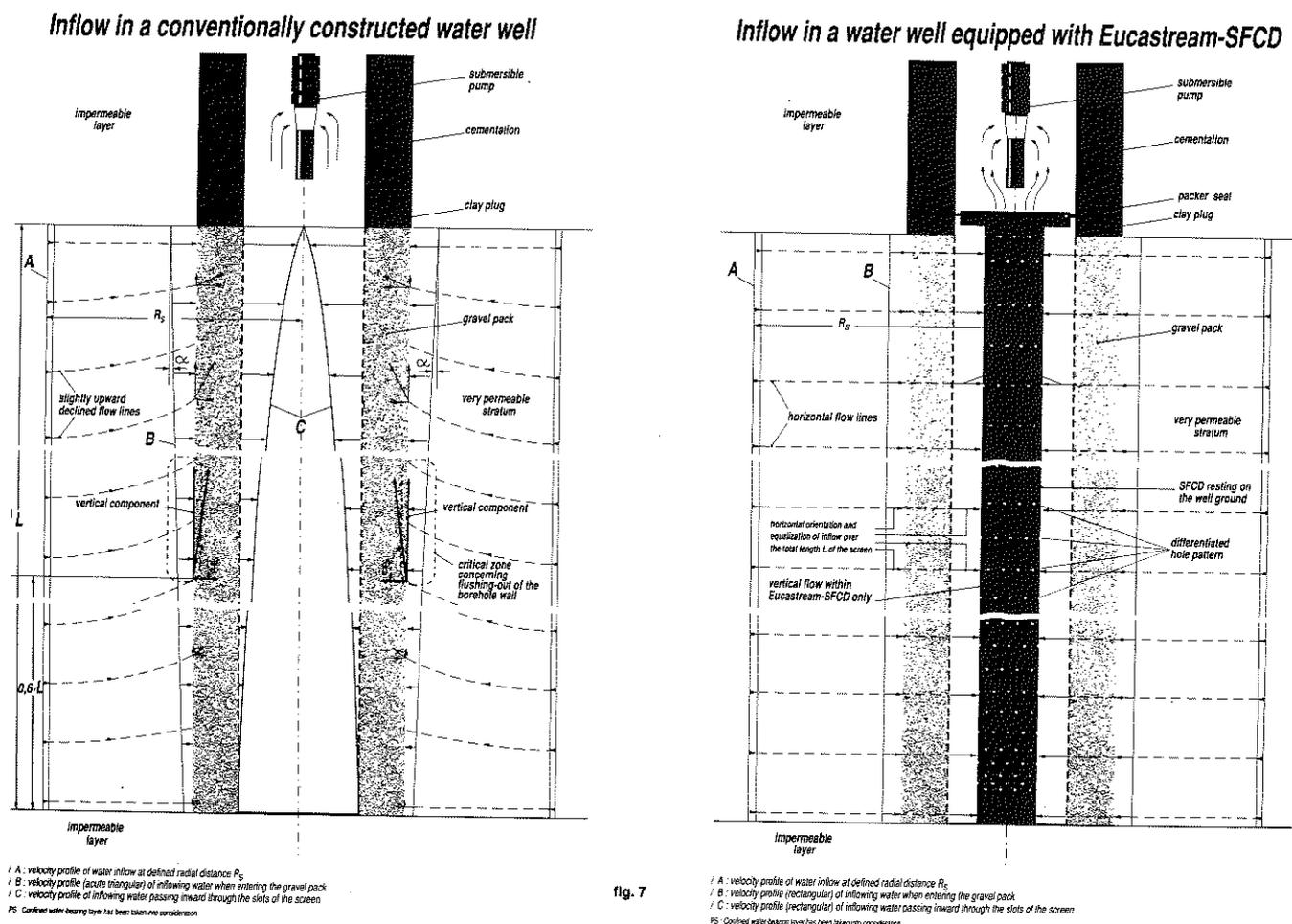


fig. 7

Sur base de l'expérience acquise, il est admis de penser que ces teneurs en sable vont continuer à diminuer en cours d'exploitation car le forage équipé de son DDUA nécessite une phase de redéveloppement sur base de son nouvel équilibre hydrodynamique.

Compte tenu du caractère particulièrement critique de l'opération : sables très fins et extraction de quantités de sable importantes lors de la longue période de développement initial (les volumes de sable extraits à proximité de la paroi du forage ayant été remplacés par de la gravette) et compte tenu des hautes exigences de l'ONEP (la teneur maximum en matière en suspension et en matière en solution est limitée à 2 g/m^3), il restera souhaitable de prévoir un ultime filtrage linéaire avant injection sur le réseau de distribution pendant cette période transitoire.

Les essais se poursuivent sur une période de 2 mois et seront complétés

par d'autres applications (IRE 869/69 en cours).

4.1.2 - Forage 237-7-286 dans les alluvions rhénanes, Strasbourg-France

Les travaux sont réalisés pour le compte de la Banque Fédérative du Crédit Mutuel (BFCM) en coopération avec le maître d'oeuvre, ANTEA, Direction Est-Agence d'Alsace.

L'objet de l'opération consiste à régénérer et à optimiser des forages (ancien et nouveau) destinés à alimenter les salles d'ordinateurs de la banque en eau de refroidissement.

Malgré la réalisation satisfaisante des ouvrages et l'utilisation de variateurs de fréquence au démarrage des pompes, les installations de filtrage se colmatent à cause d'une teneur en sable excessive d'environ 17 g/m^3 en régime continu et dans les conditions d'exploitation nominales. De longues interventions de des-

sablage ont été réalisées sur des tamis de 150 micro-m.

La figure 9 reprend les caractéristiques du forage 237-7-286 équipé de son DDUA.

Les essais de pompage (après installation du DDUA) ont comporté les phases suivantes : $440 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 35 h ; $312 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 7 h ; 100 à $300 \text{ m}^3/\text{h}$ continu à débits variables pendant 60 h ; 250 à $300 \text{ m}^3/\text{h}$ alterné avec 3 à 4 h de continu et 15' d'arrêt pendant 72 h ; $300 \text{ m}^3/\text{h}$ continu pendant 12 h.

Au terme de ces périodes de pompage, dont le total s'élève à 175 h environ, le reliquat de sable est très faible, de l'ordre de $0,1 \text{ g/m}^3$ (c'est-à-dire bien en-dessous de la teneur garantie, soit 1 PPM).

La figure 10 reprend la courbe des essais de pompage, c'est-à-dire la teneur en sable en fonction du temps à des débits définis.

4.1.3 - Autres applications

De nombreuses opérations significatives pourraient être développées ; celles-ci doivent être scindées en deux classes distinctes :

- élimination radicale des teneurs en sable (4.1.2.) ;
- réduction substantielle des teneurs en sable (4.1.1.).

L'état du forage, le contexte géologique et les exigences d'exploitation détermineront la classe, c'est-à-dire l'objectif et la garantie d'efficacité du système Eucastream.

Citons brièvement les nombreuses opérations de réhabilitation menées en coopération avec la société publique israélienne, MEKOROTH Water Company, qui ont permis d'éliminer les problèmes de venues de sable en réduisant les concentrations à 0,1 PPM après 30' de pompage continu au débit nominal dès lors que la mise en service du DDUA a été achevée préalablement.

Par ailleurs, la plupart des opérations de régénération sur des forages anciens présentant des teneurs en sable importantes doivent souvent être prises en considération dans le cadre de la seconde classe et le but de ce type d'intervention consistera à réduire les concentrations en sable à des valeurs acceptables afin d'autoriser la remise en exploitation du forage dans des conditions souhaitables et d'éviter l'abandon pure et simple de l'ouvrage.

Au besoin, l'effet bénéfique du DDUA sera complété par des régimes d'exploitation adaptés (éviter les arrêts répétitifs, prévoir des courbes de démarrages progressives, etc.) et des unités de filtrage (linéaire, système de décantation, etc.). Ce type d'application est particulièrement répandu en Espagne. Citons la société de distribution d'eau potable, Cooperativa Valenciana El Plantío y la Cañada, avec qui nous avons obtenu des résultats très satisfaisants.

4.2 - Suppression de la turbidité

La turbidité (particules de granulométries tellement fines qu'elles ne précipitent pas) a la même origine que les

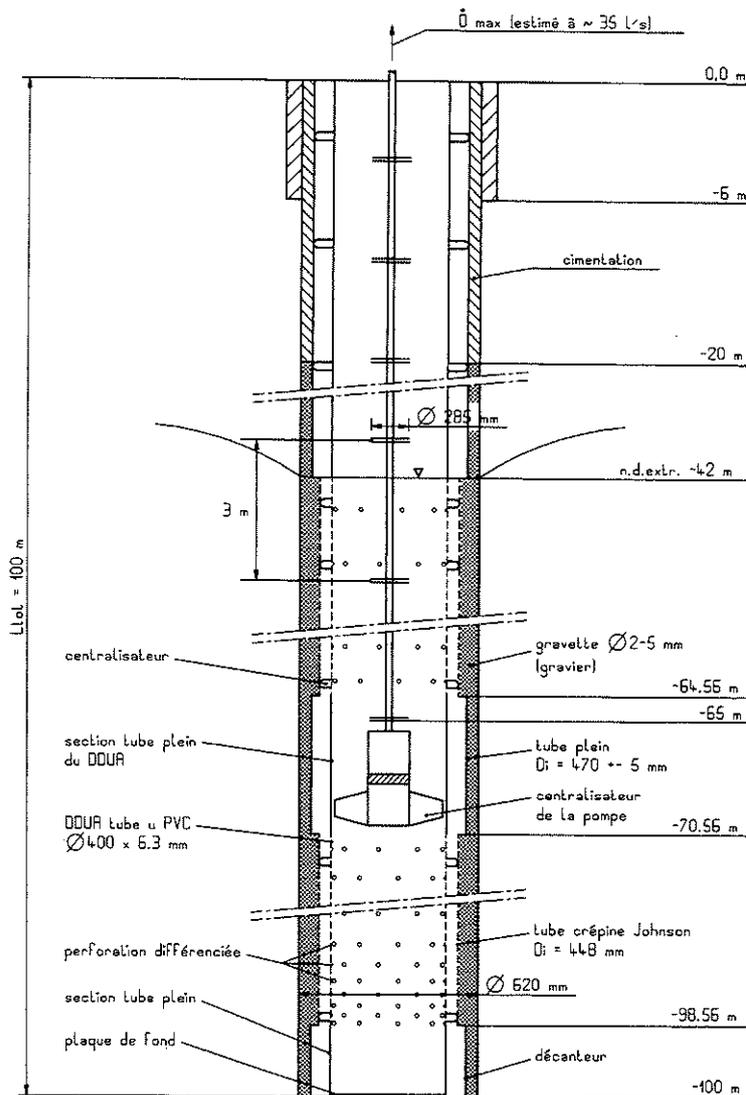


fig. 8

Forage IRE 1165/69

94-023/5/1

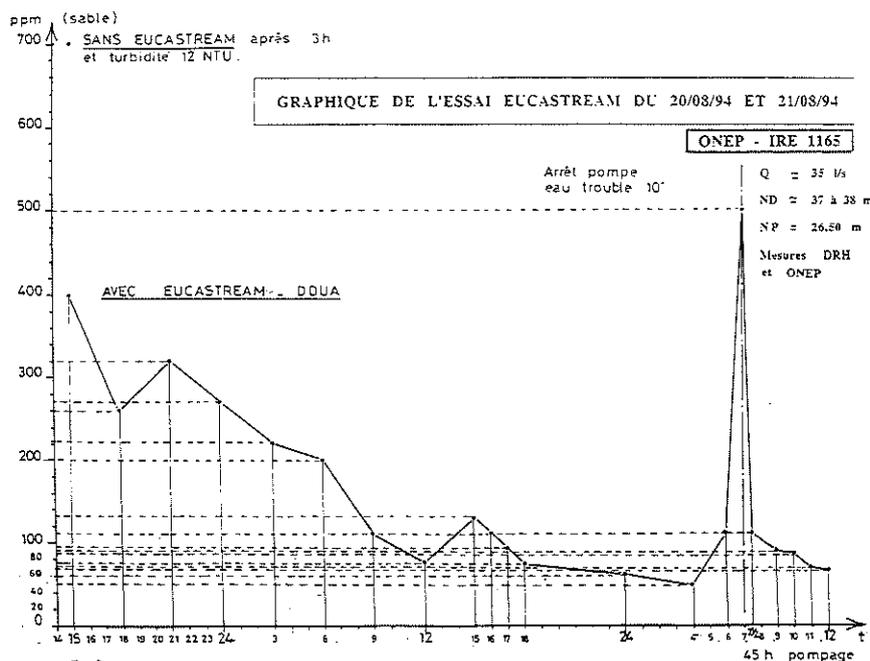


fig. 9

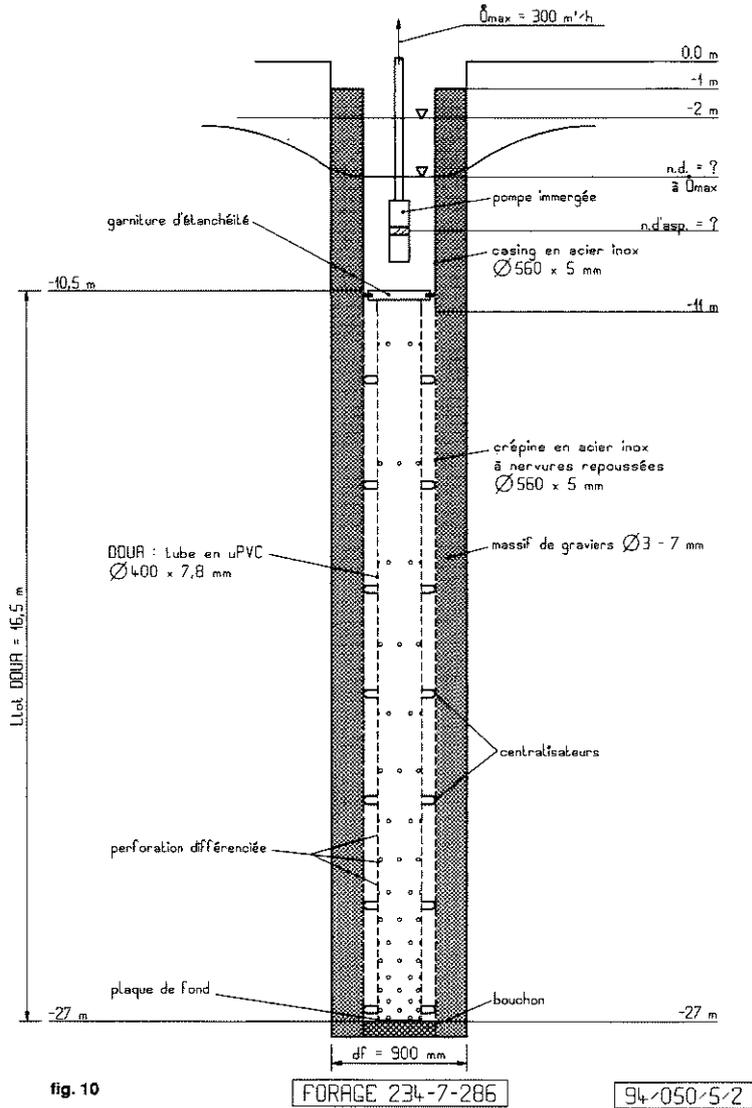


fig. 10

entraînements de sable, comme expliqué précédemment. Les formations sont essentiellement de type calcaire, grès, craie, etc.

Parmi les nombreuses opérations menées en coopération avec les ingénieurs et les hydrogéologues du bureau ASAL & Partner, Kaiserslautern (Allemagne, Pfalz) dans la région de la Pfalz, reprenons brièvement l'application ci-dessous.

La collectivité locale d'Albisheim exploitait un forage d'une profondeur de 250 m dans deux couches aquifères composées de grès rouge avec fissures localisées séparées entre elles par des couches imperméables épaisses. Au débit de 20 m³/h, l'eau produite était de couleur rouge vif. Après installation du système DDUA sur une hauteur de 130 m, le débit a été doublé et l'eau a été rendue parfaitement claire (moins de 10 NTU).

4.3 - Ralentissement du processus de colmatage par incrustation bactérienne

Les crépines et massifs filtrants se colmatent de préférence et de manière privilégiée, là où les vitesses d'afflux sont les plus intenses (gradients de vitesse). En effet, à ces endroits, les apports de nourriture bactérienne seront les plus grands et les sécrétions boueuses provoqueront les colmatages bien connus. Ces foyers d'incrustation se propageront ensuite sur la hauteur totale du forage jusqu'à la chute inévitable des prestations (diminution du débit et augmentation du rabattement) et l'obligation de procéder d'urgence à des opérations de régénération classiques (mécaniques ou/et chimiques).

De par son effet uniformisant et régulateur des vitesses sur la hauteur totale du forage, le DDUA permettra de ralentir ces processus et donc de postposer dans la même mesure les interventions de régénération. Par conséquent, les coûts de réhabilitation diminueront et surtout, les surcoûts dus aux interruptions de l'exploitation du forage et à la consommation énergétique excessive seront évités.

En principe, toutes les installations de DDUA permettent de consolider dans le temps le bénéfice des opérations de

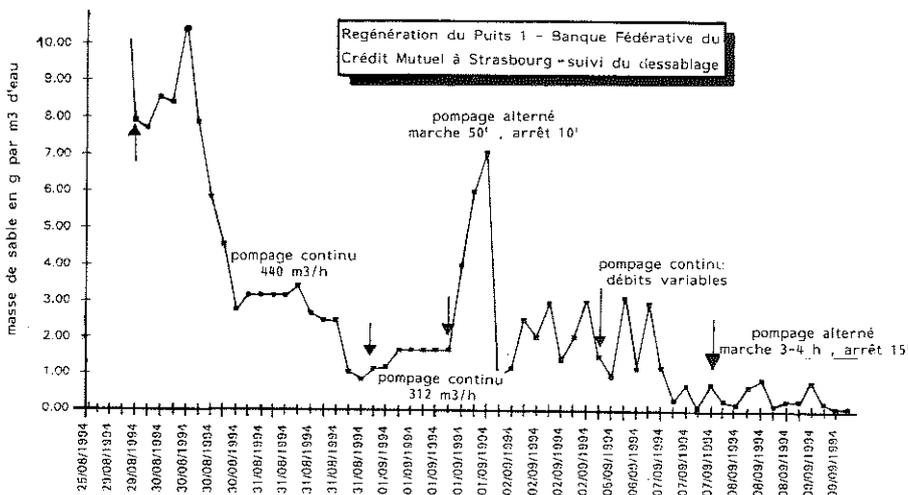


fig. 11

réhabilitation classiques. Ce souci est partagé, notamment, par ANTEA, Direction Sud-Ouest-Agence de Bordeaux, dans le cadre de ses programmes de réhabilitation. Citons, par exemple, l'opération réalisée pour le compte de la Régie des Eaux et de l'assainissement de Dax.

4.4 - Impact sur le rabattement

En règle générale, les pertes de charges des afflux radiaux au travers du massif filtrant et de la crépine sont négligeables par rapport aux pertes de charges dans l'aquifère. Par contre, il en va tout autrement pour ce qui est des composantes verticales des vitesses à l'intérieur des massifs filtrants. D'autre part, une répartition hétérogène des afflux et un gradient de vitesse sur les crépines entraînent des pertes de charges cinétiques non négligeables (proportionnelles au carré de la vitesse) au niveau des crépines et des massifs filtrants. Par conséquent, le bilan des pertes de charges avant et après la mise en service du DDUA conduit généralement à un équilibre relatif, c'est-à-dire à un impact marginal de $\pm 5\%$ sur le rabattement.

Dans des cas d'applications spécifiques (géométrie désavantageuse), cet impact pourrait être plus conséquent. Dans d'autres cas ciblés, l'exploitant bénéficiera d'une augmentation non négligeable du rendement spécifique de l'ouvrage. Ce dernier atout a été mis en lumière par la société belge de distribution d'eau, VMW (Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening) par des investigations comparatives menées sur différents forages à Zichem - Vinkenberg. La production a pu être augmentée de 6% et le rendement spécifique a été porté de 1,52 à 1,62 m³/h.m.

5 - Conclusions et recommandations

La maîtrise des vitesses sur les crépines permet d'optimiser les conditions hydrodynamiques dans les forages et donc, d'obtenir des prestations supérieures en termes de débit et de qualité d'eau (matières en suspension et matières en solution).

Le système EUCASTREAM-DDUA permet de réaliser cet objectif et peut être adapté à tout type de forage, dont l'exploitation est perturbée par une répartition hétérogène et défavorable des afflux. Ceci étant dit, le domaine réel d'utilisation et d'efficacité du DDUA est défini par l'analyse de l'ensemble des données techniques de l'application, dont :

- L, hauteur totale de la (des) section(s) de crépine ;
- Di, diamètre intérieur de crépine ;
- Q, débit d'exploitation souhaité ;
- S, ouverture de la crépine ;
- p(f), perméabilité relative du massif filtrant (massif de gravier ou espace annulaire entre la crépine et la paroi du forage) ;
- p(a), perméabilité(s) relative(s) de l'aquifère ;
- caractéristiques géologiques de l'aquifère, en ce qui concerne la production (par érosion ou arrachement) de particules solides - fines ou ultra-fines - des parois du forage.

Une première indication quant à l'intérêt d'équiper l'ouvrage de captage d'un DDUA est donnée par la relation ci-dessous, dans laquelle v(v) représente la vitesse verticale dans le massif filtrant (ou dans l'espace annulaire entre la crépine et la paroi du forage) :

$$v(v) = f(S \cdot L / Di) > 30$$

Cette indication devra être affinée par l'ensemble des paramètres : Q, p(f), p(a) et par les caractéristiques de nature géologique.

Ensuite, l'étude de faisabilité et la conception du dispositif feront appel à des critères relevant de la mécanique et de la construction.

Contrairement à d'autres solutions, le DDUA n'entraîne pas d'effets secondaires défavorables, tels que perte de charge additionnelle déterminante (augmentation conséquente du rabattement), surdimensionnement des forages et risques de colmatage (puisque qu'il n'y a pas de filtrage).

Les matériaux utilisés sont exclusivement des matières thermo-plastiques (uPVC) et des aciers inoxydables afin d'éviter tout problème de vieillissement lié à la corrosion, en ce qui concerne les tubes. Les joints d'étanchéité hydro-expansifs sont à base de caoutchouc.

Les principes de construction, les outils et instructions d'assemblage permettent aux opérateurs d'installer et de retirer (si besoin) les DDUA sans risque de défautuosité ou de positionnement inadéquat.

Le coût d'un DDUA spécialement conçu et manufacturé pour chaque projet reste abordable, c'est-à-dire 5 - 10 % du budget global de l'ouvrage.

La complémentarité entre le DDUA et les crépines haut de gamme à fils enroulés en acier inoxydable à ouverture élevée (20 %, par exemple) est remarquable et ne peut être que conseillée, dès lors que le budget d'un projet l'autorise.

Outre les interventions de régénération dans le cadre de programmes de réhabilitation, il est utile d'envisager la mise en service du DDUA, à titre préventif, sur les forages neufs préalablement ciblés et ce, dès le début de leur mise en exploitation (c'est-à-dire, après le développement classique). De toute manière, il est conseillé d'envisager un DDUA dès que les premiers symptômes (apparition de sable, par exemple) relatif au vieillissement ou à un dysfonctionnement du forage seront constatés.

La multiplication de références significatives sur le marché mondial (Europe, Moyen-Orient, Amérique du Nord et Afrique du Nord) établit la fiabilité d'une nouvelle technique, dont les résultats peuvent être garantis dans la mesure où les caractéristiques techniques requises seront disponibles, complètes et correctes et que le forage n'aura pas atteint un stade de détérioration irréversible avant installation et mise en service du DDUA.

Remerciements

Nous remercions les prescripteurs, les consultants, les sociétés de production et de distribution d'eau et les entreprises de forages repris dans cet article pour leur active coopération.

Références bibliographiques

- [1] KREMS G. – Studie über die Brunnenalterung. Bericht im Auftrag des BMI, Unterabt. - *Wasserwirtschaft*, Dez. 1972.
- [2] TRUELSEN C. – In "Die Wassererschließung", Herausgeber H. Schneider, Vulkanverlag Essen 1988.
- [3] FINK L. – Verfahren zur Abstellung des Sandeinzuges aus dem Absenkungsbereich des Rohrbrunnens. - Offenlegungsschrift 2621581, Deutsches Patentamt 1978.
- [4] KIRSCHMER O. – Durchflußmessungen an Brunnenfilterrohren im Auftrag der Fa. - Nold. Veröff. in Nold-Brunnenfilterbuch 1977, S.112ff.
- [5] PELZER R. – Verfahren zur sandfreien Entnahme von Wasser aus einem Brunnen sowie eine hierzu geeignete Vorrichtung. - EP 0207042, Europäisches Patentamt 15.03.1989. - Kabelwerk Eupen AG/Câblerie d'Eupen SA.
- [6] Wirkung von Saugstromsteuerungen in Bohrbrunnen von Gerd Ehrhardt und Rudolf Pelzer, bbr - Heft 10/92.
- [7] Effect of Suction Flow Control Devices in Wells by Stuart A. Smith, CGWP, Consulting Hydrogeologist, Ada, Ohio, USA 1993.
-

The logo for EUFOR, consisting of the word "EUFOR" in a bold, white, sans-serif font inside a dark blue square.

EUFOR INTER

S.P.R.L. EUFOR INTER B.V.B.A.
Eupen - Liège - Antwerpen

Head offices
Am Hertogenwald, 7
B-4700 Eupen
Belgium

Tél. +(32) 87-63.23.00
Fax +(32) 87-63.23.01

