

Réunion Technique du CFMS du 24 octobre 2007

Organisateurs : Messieurs O.COMBARIEU et O.PAL

EAU et GEOTECHNIQUE

Innovations récentes dans le domaine du drainage profond

Jean-Claude GRESS Ingénieur civil des Ponts et Chaussées, Professeur à l'ENTPE

HYDROGEOTECHNIQUE

jc.gress@hydrogeotechnique.com

SOMMAIRE

1. LES METHODES DE DRAINAGE PROFOND GRAVITAIRE

1.1. Les drains subhorizontaux. Les perfectionnements.

1.2. Les puits perdus ou drains de décharges. Les applications.

1.3. Les drains siphons[®]. L'intérêt du suivi à distance.

2. LES METHODES DE DRAINAGE PROFOND AVEC ENERGIE

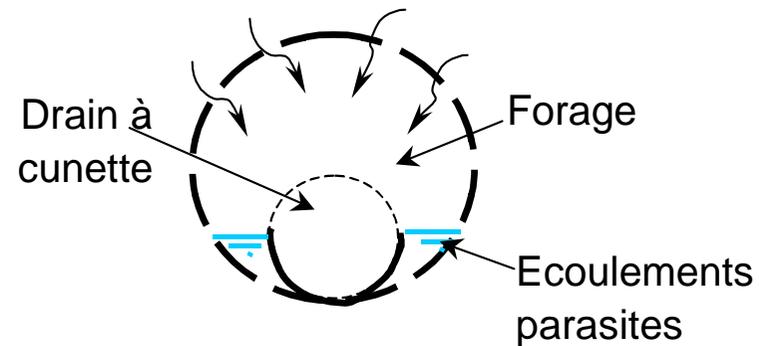
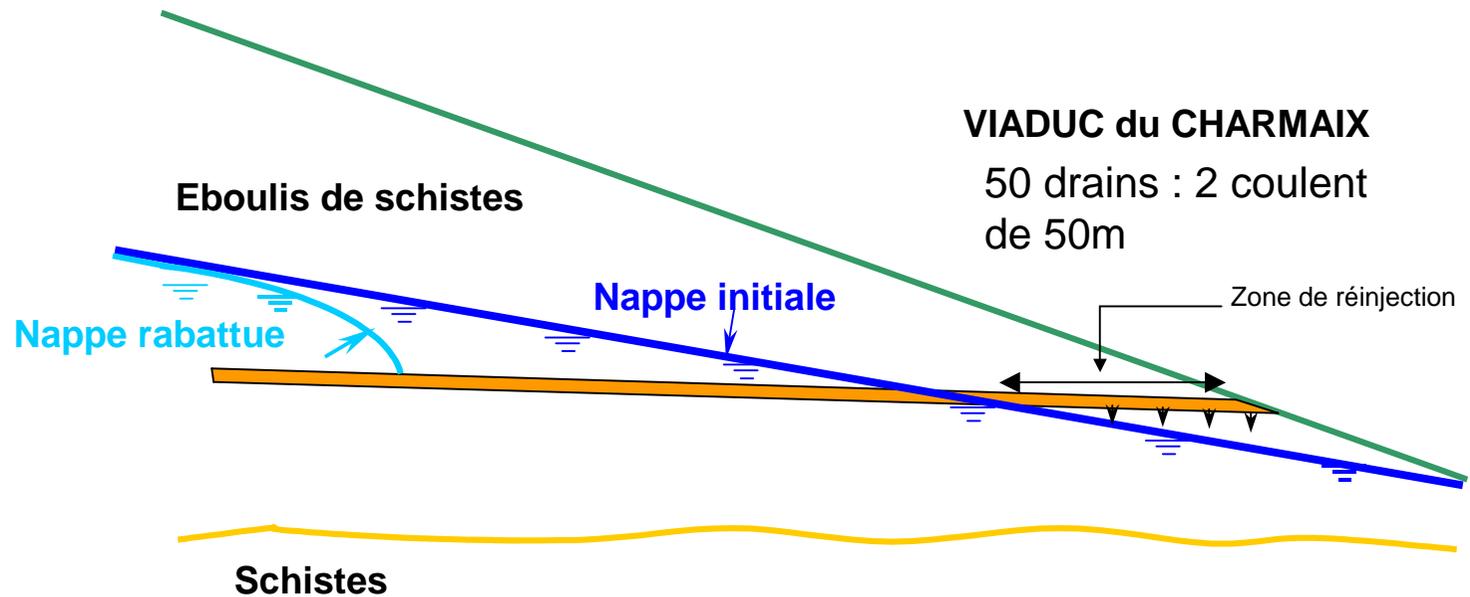
2.1. Les éjecteurs. Le partenariat avec les anglais.

2.2. Les drains électropneumatiques[®]. Suivi des paramètres à distance.

2.3. Conclusions

1. LES METHODES DE DRAINAGE PROFOND GRAVITAIRE

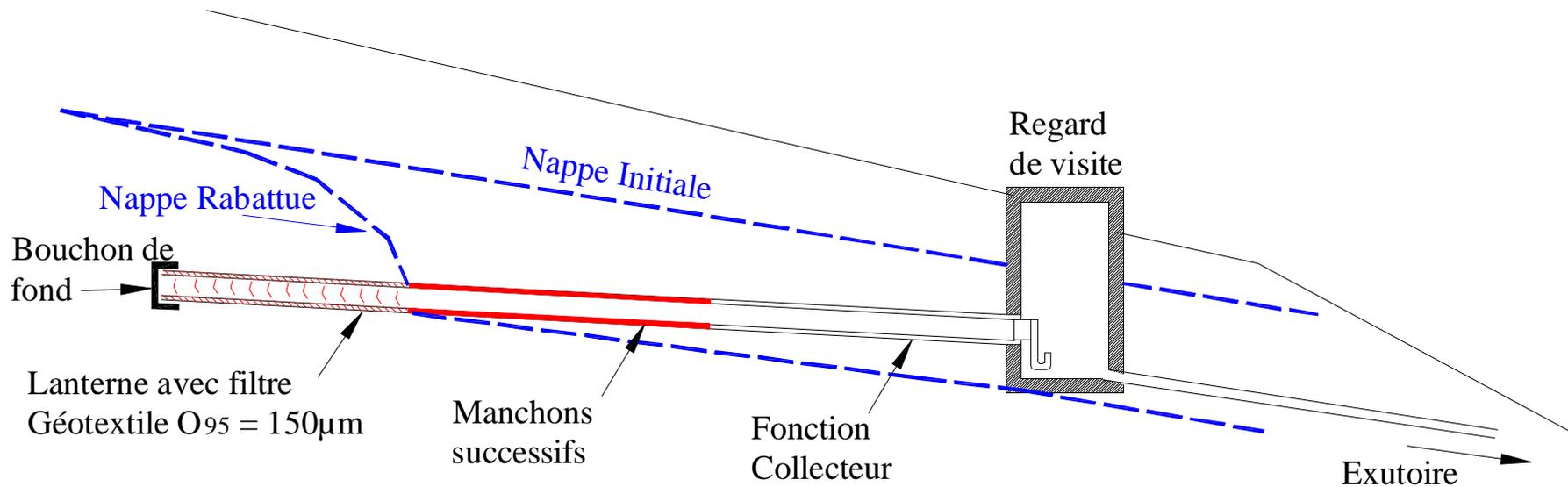
1.1. Les drains subhorizontaux. Les perfectionnements.



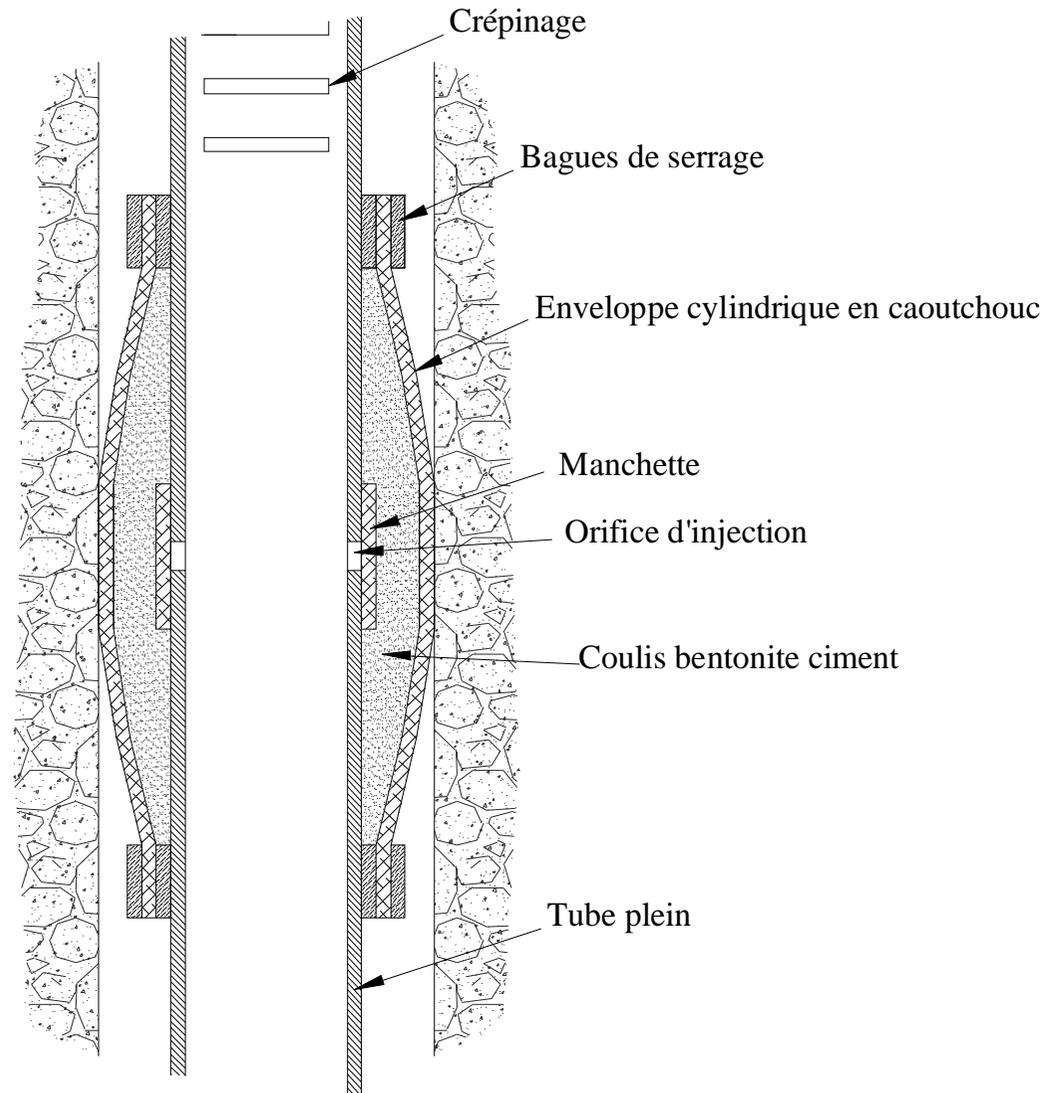
Drains subhorizontaux ascendants

Conception moderne

- lanterne amont sur le tiers extrême,
- manchon d'étanchéité intermédiaire,
- puis partie aval à fonction de collecteur.



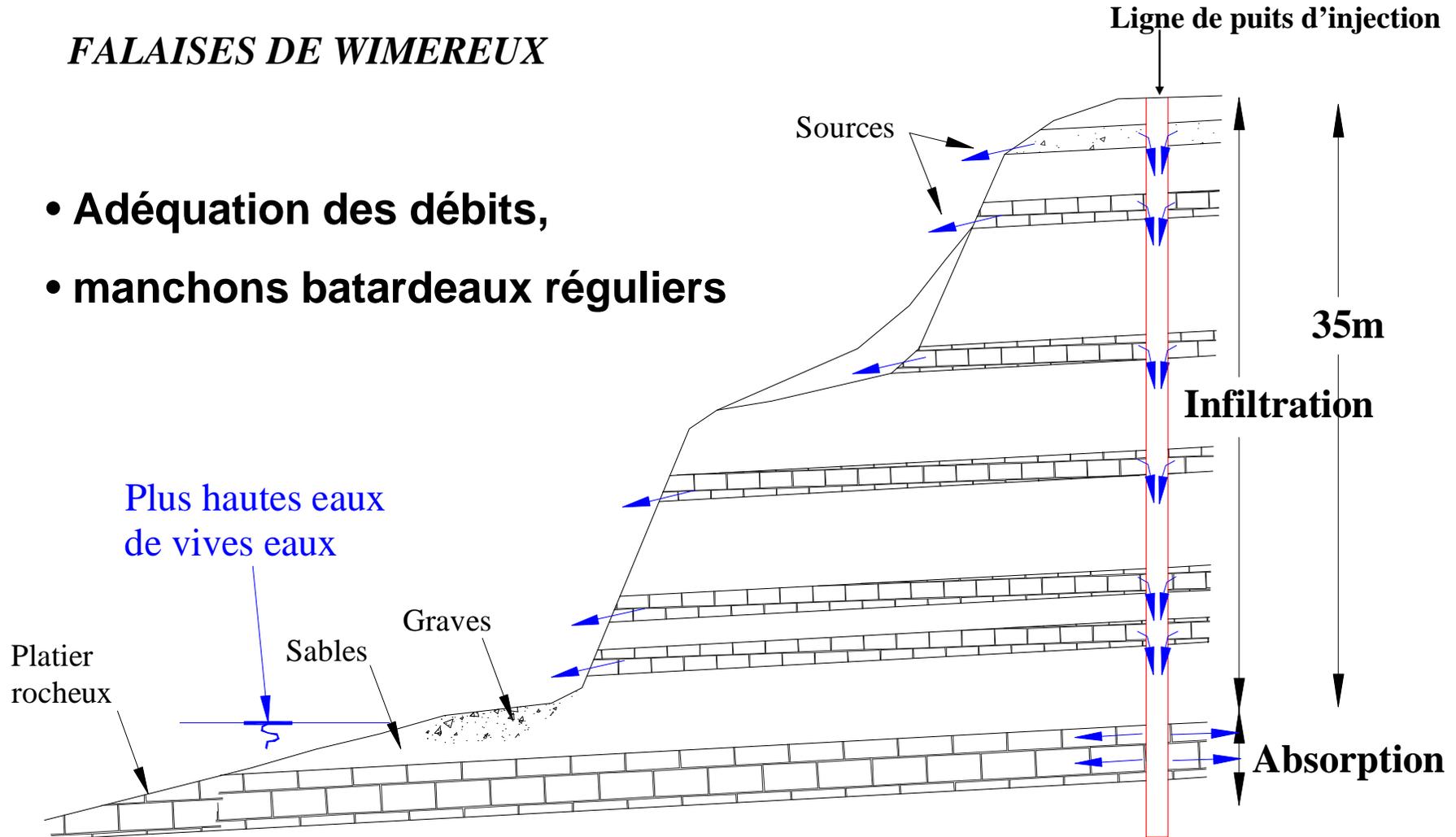
COUPE SUR MANCHON D'ÉTANCHÉITÉ



1.2. Les puits perdus ou drains de décharge : 1.2.1. les puits perdus.

FALAISES DE WIMEREUX

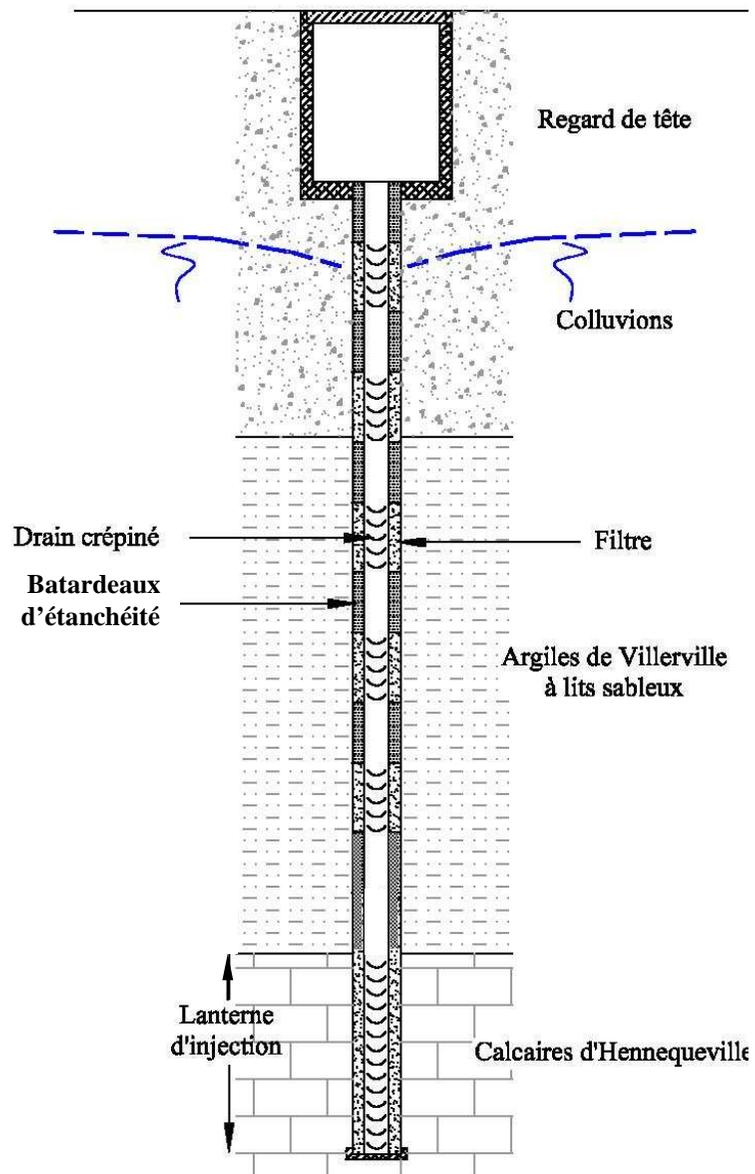
- Adéquation des débits,
- manchons batardeaux réguliers



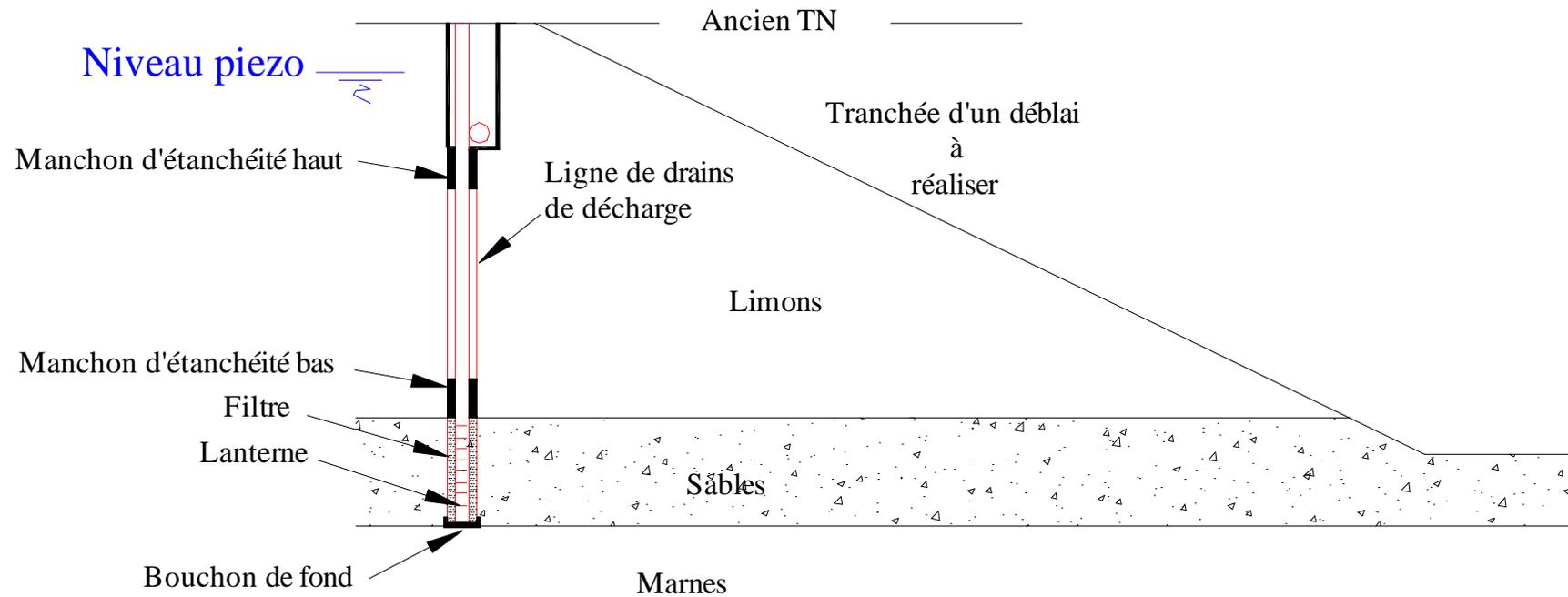
Projet RD513 - TROUVILLE

Coupe type sur puits perdus profonds

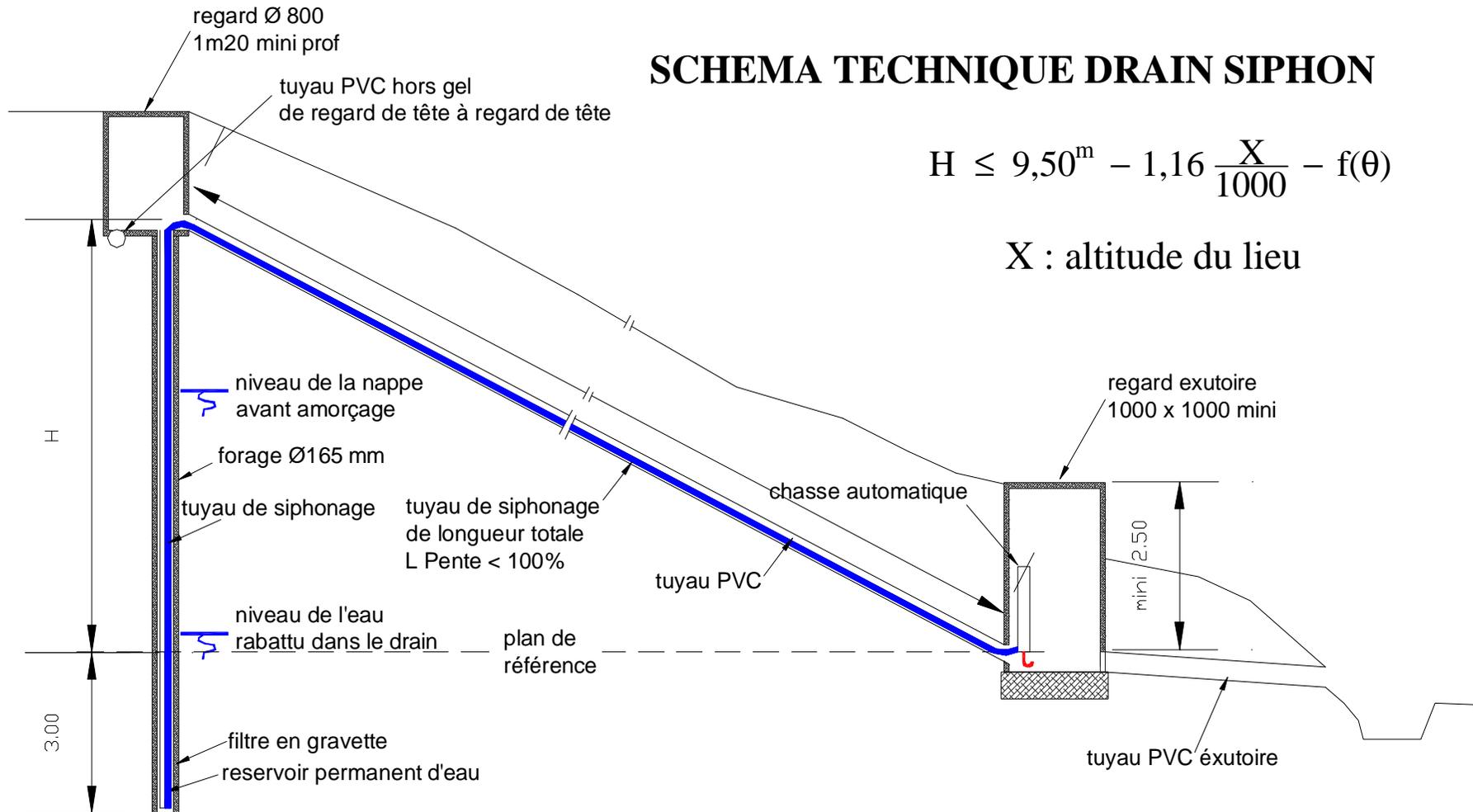
Coupe Schématique sur Puits Perdus



1.2.2. Valorisation des tranchées drainantes par des drains de décharge. Aquifère profond artésien.

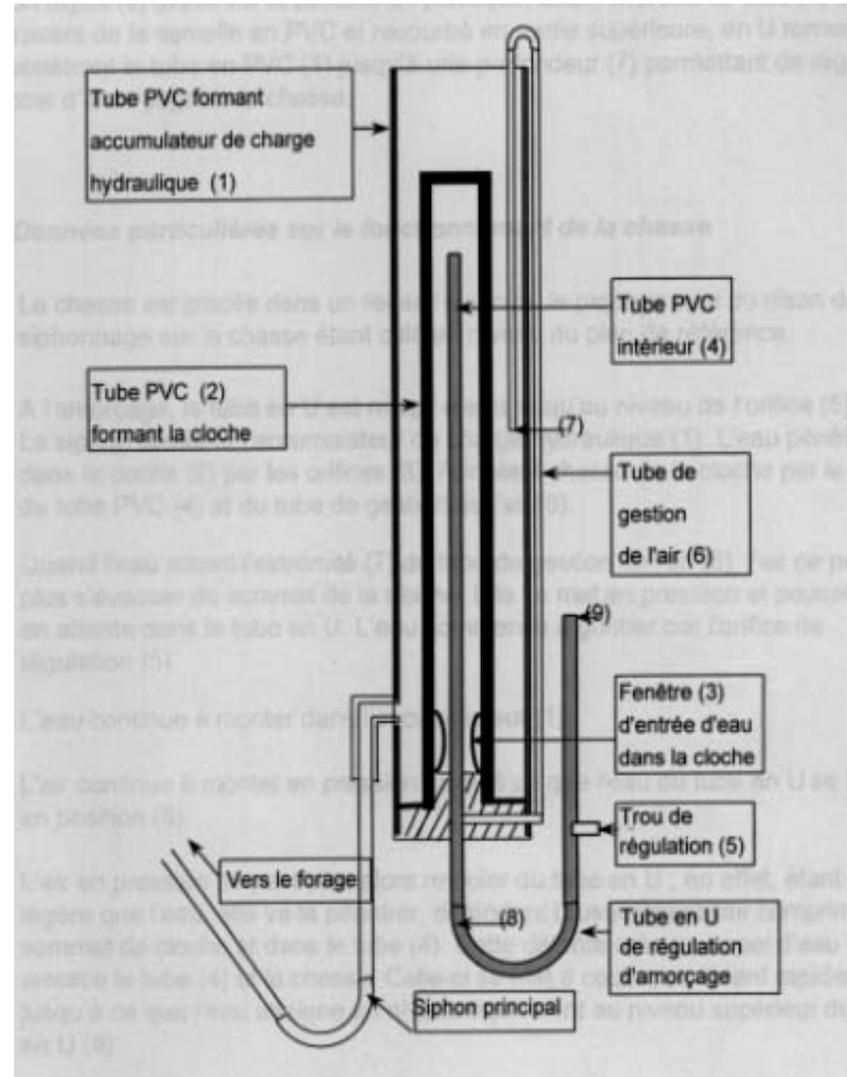


1.3. Les drains siphons®. L'intérêt du suivi à distance.



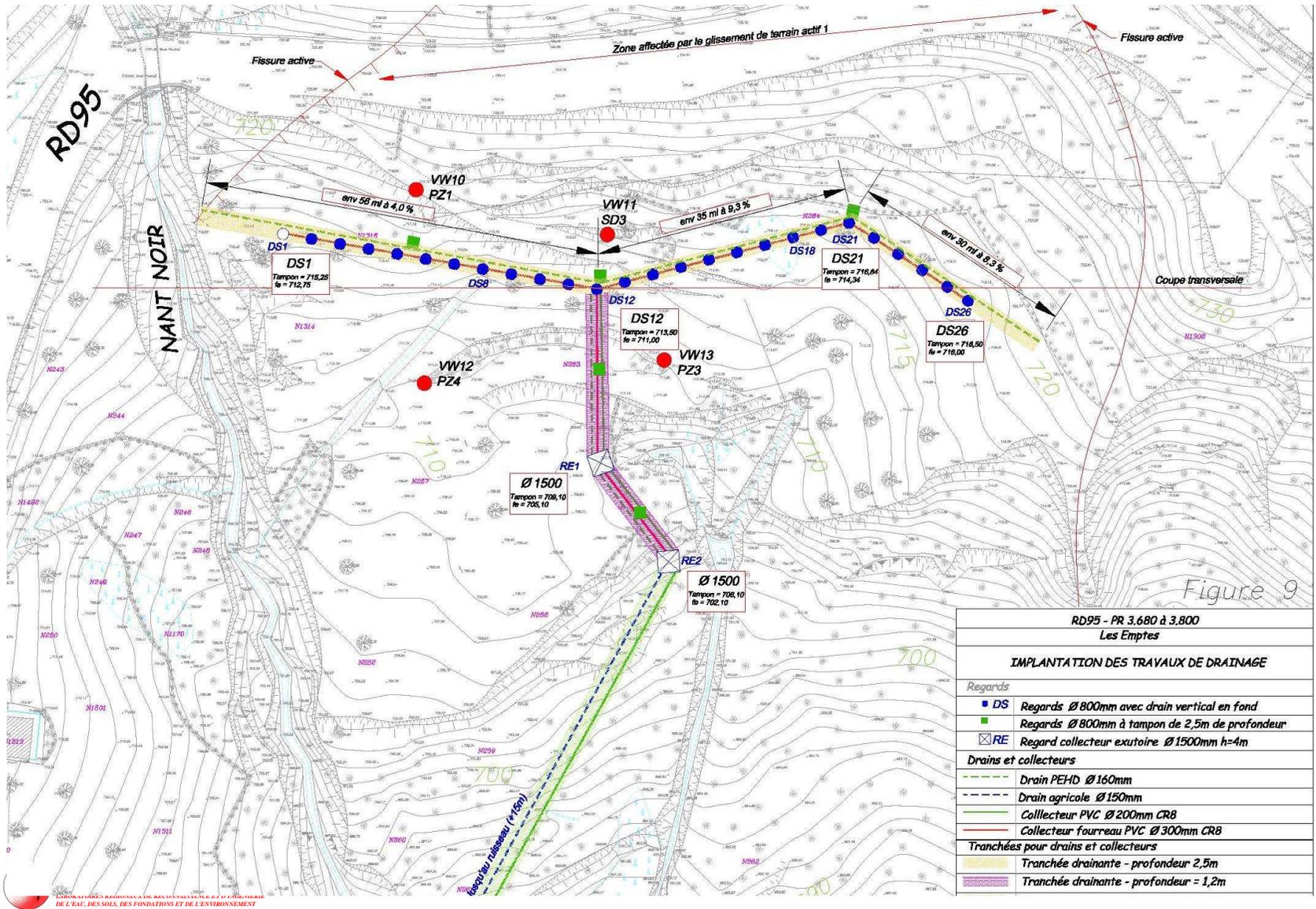
1.3. Les drains siphons®.
L'intérêt du suivi à distance.

- système automatique, sans intervention humaine
- arrête le débit du siphon quand celui-ci baisse
- arrêt à un débit légèrement supérieur au débit critique
- l'eau remontant dans le forage, le siphon étant à l'arrêt, la chasse le réactive :
=> casse la bulle formée au point haut du siphon et l'évacue



1.3. Les drains siphons®.
L'intérêt du suivi à distance.

DRAIN SIPHON®
Les Emptes RD95 – VUE EN PLAN

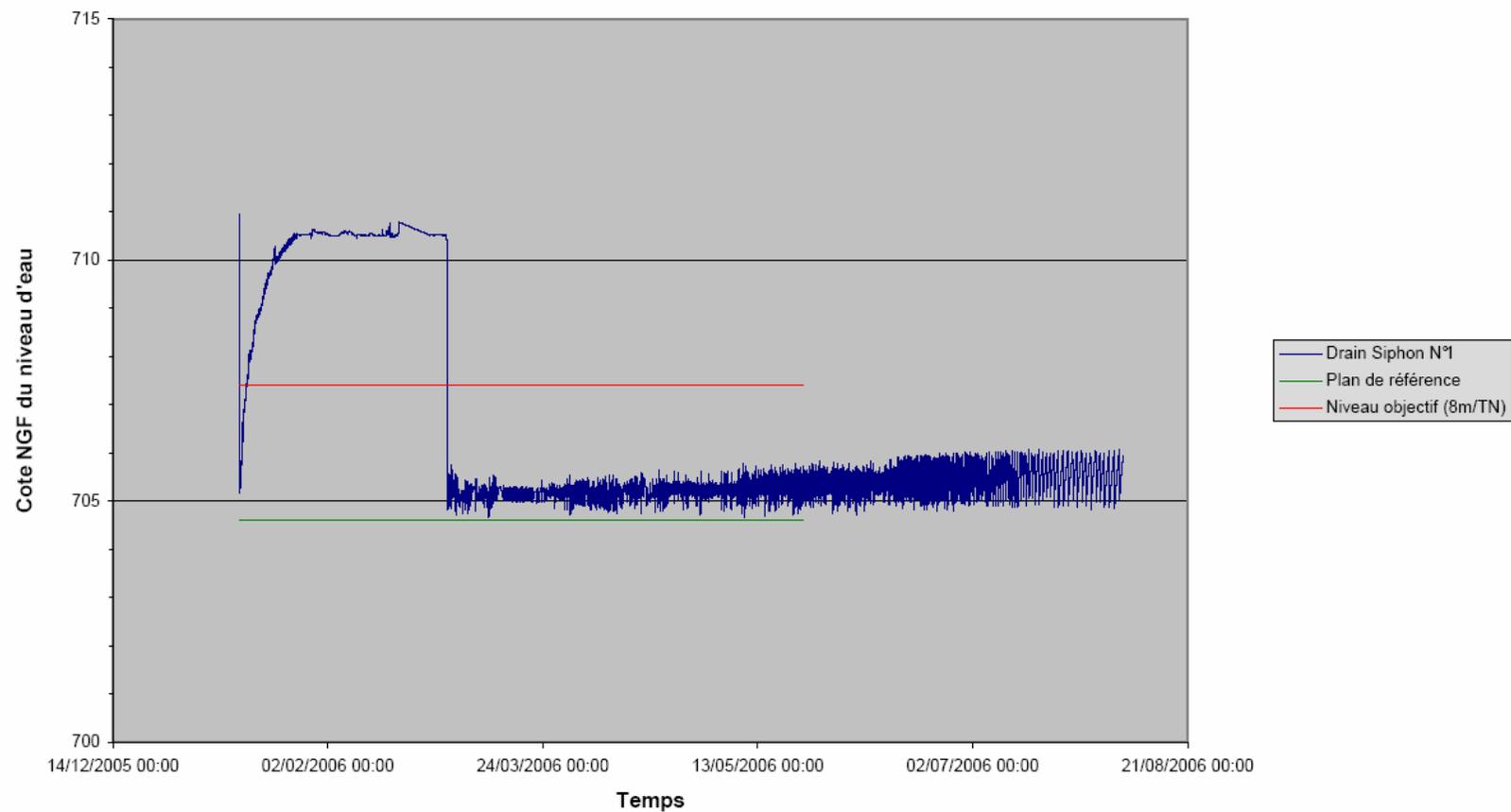


Intérêt du suivi des paramètres par ligne GSM

Phase 1 : fonctionnement sans chasse automatique,

Phase 2 : efficacité de la régulation par une chasse.

Drain Siphon N°1



2. LES METHODES DE DRAINAGE PROFOND AVEC CONSOMMATION D'ENERGIE

Classiquement :

- *les pointes filtrantes* :

rabattement limité à 6 mètres par rapport à la position de la pompe à vide,

- *les pompes immergées* : inadaptées aux faibles débits.

Moins connus : *les éjecteurs.*

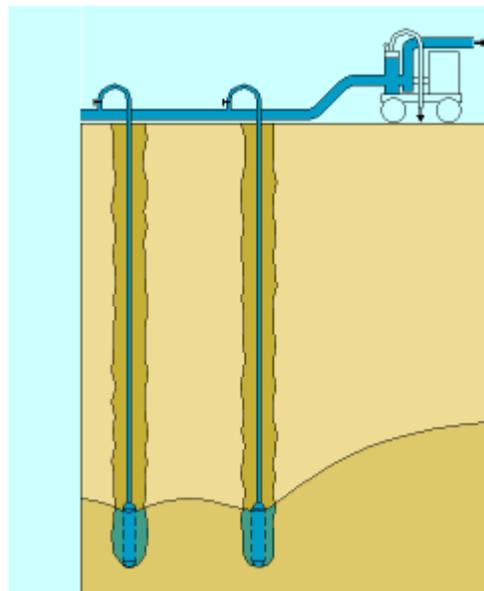
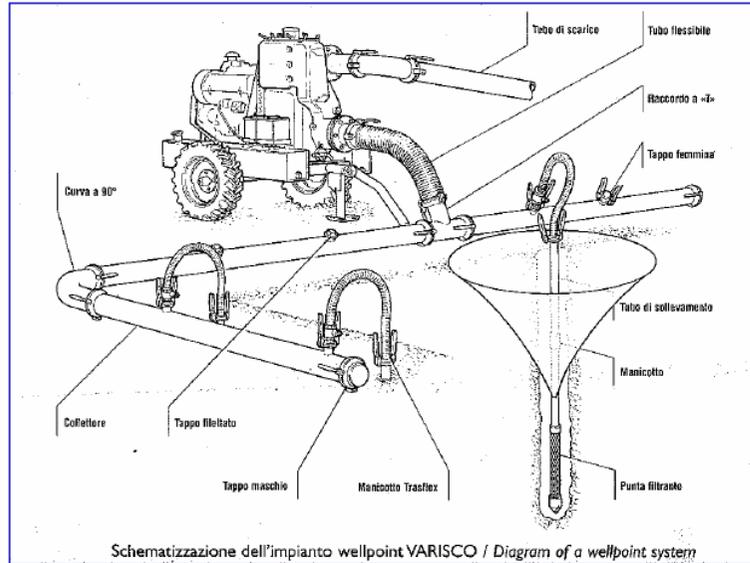
Innovants : *les pompes électropneumatiques.*

Limites
des
aiguilles
filtrantes :

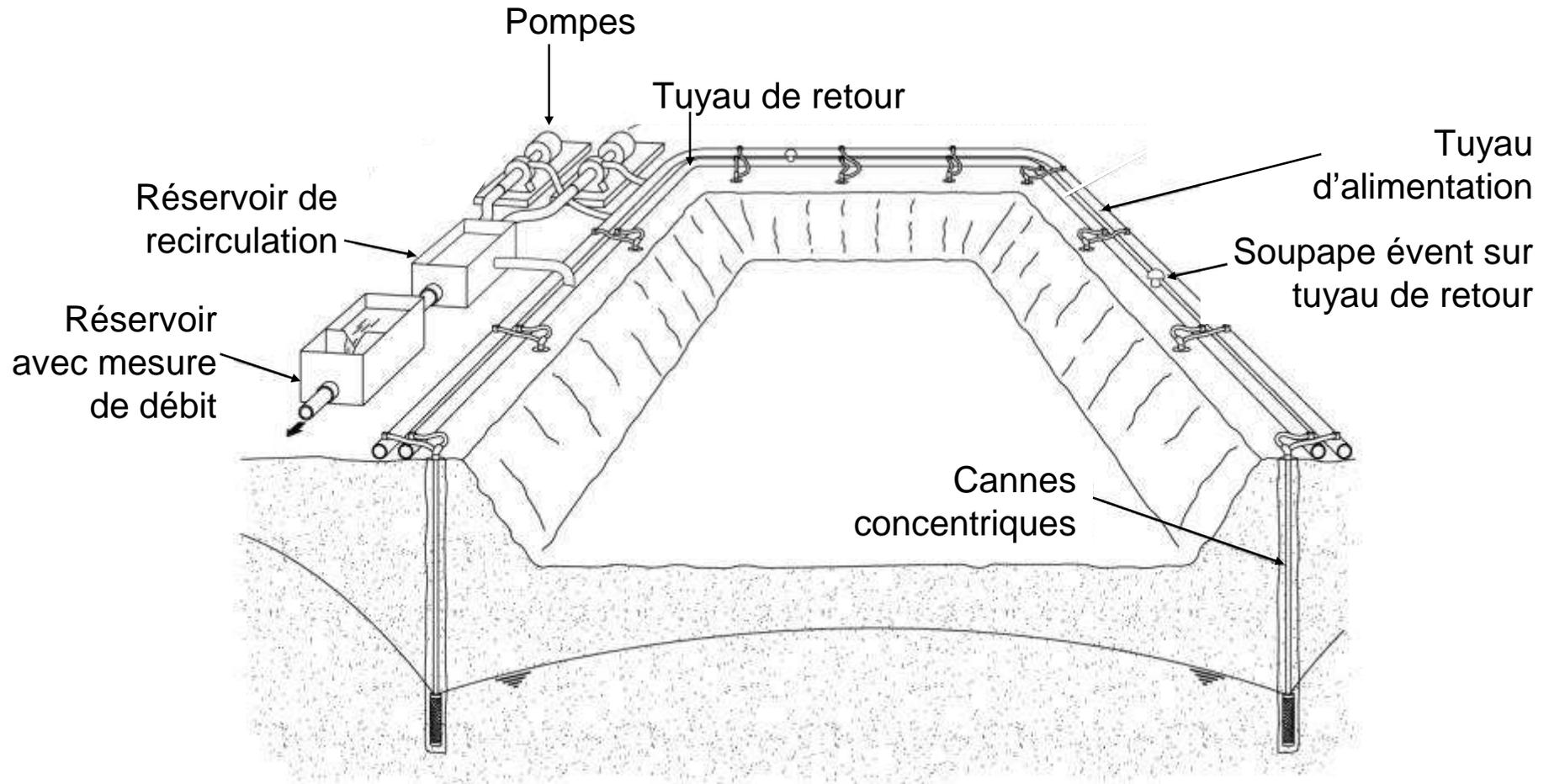
6 mètres



Lignes
étagées

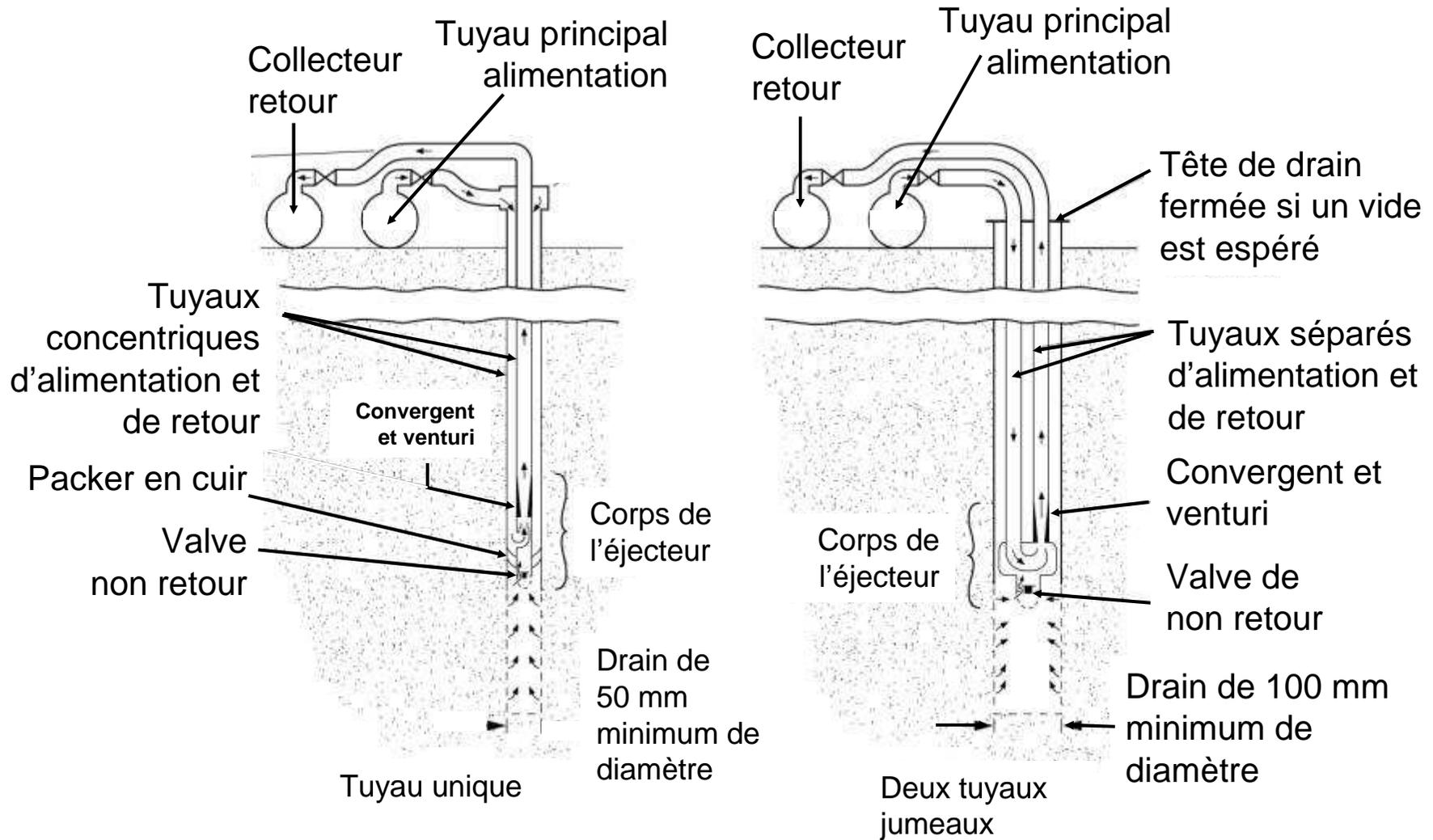


2.1. Rabattement de nappe par des éjecteurs



Je remercie Toby ROBERTS de Groundwater pour ses diapositives.

2.2. Ejecteurs tuyau unique ou tuyaux jumeaux

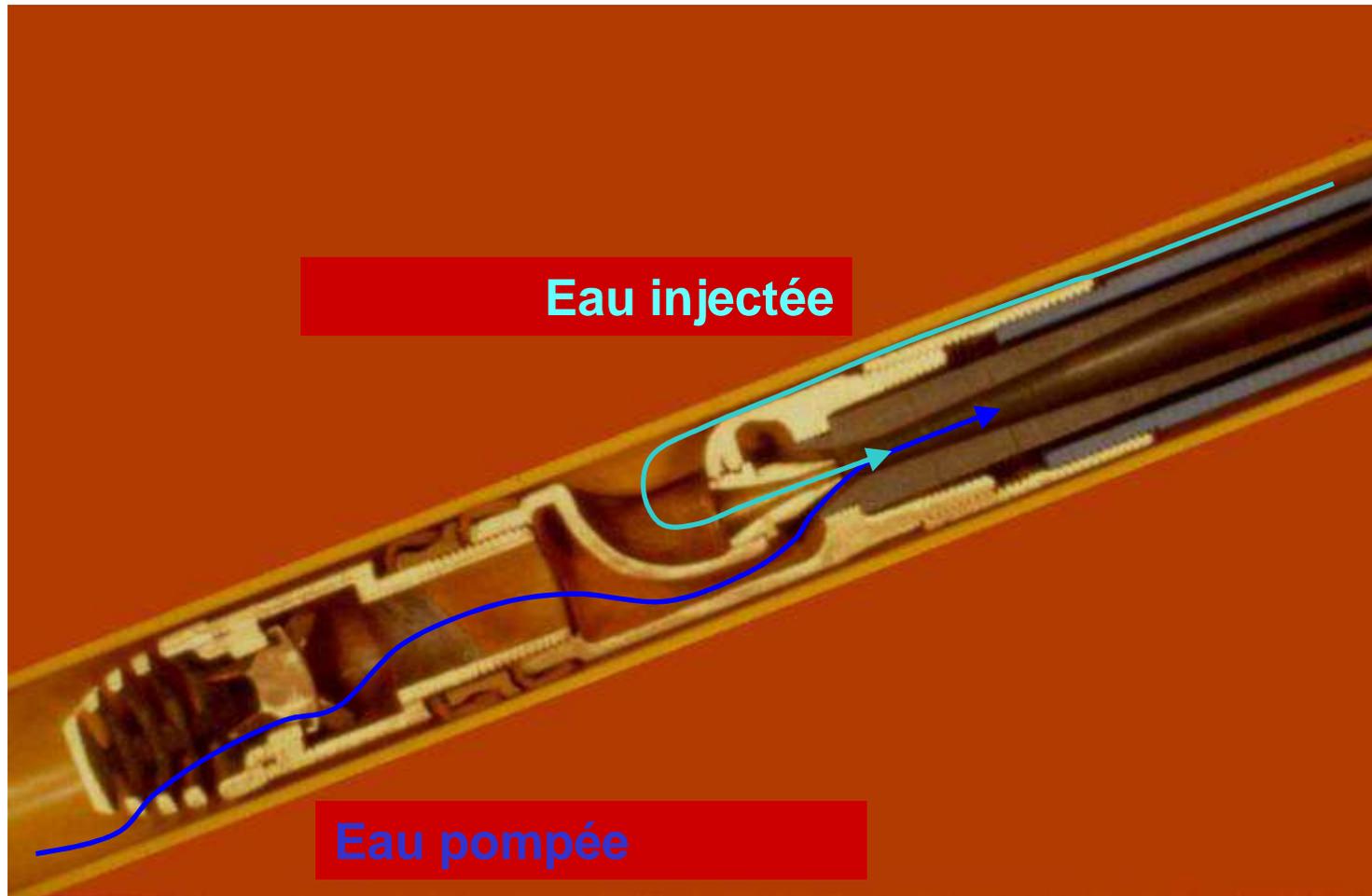


2.2. Ejecteurs



**Corps de l'éjecteur
pour un
tuyau unique**

Coupe sur le corps d'un éjecteur simple

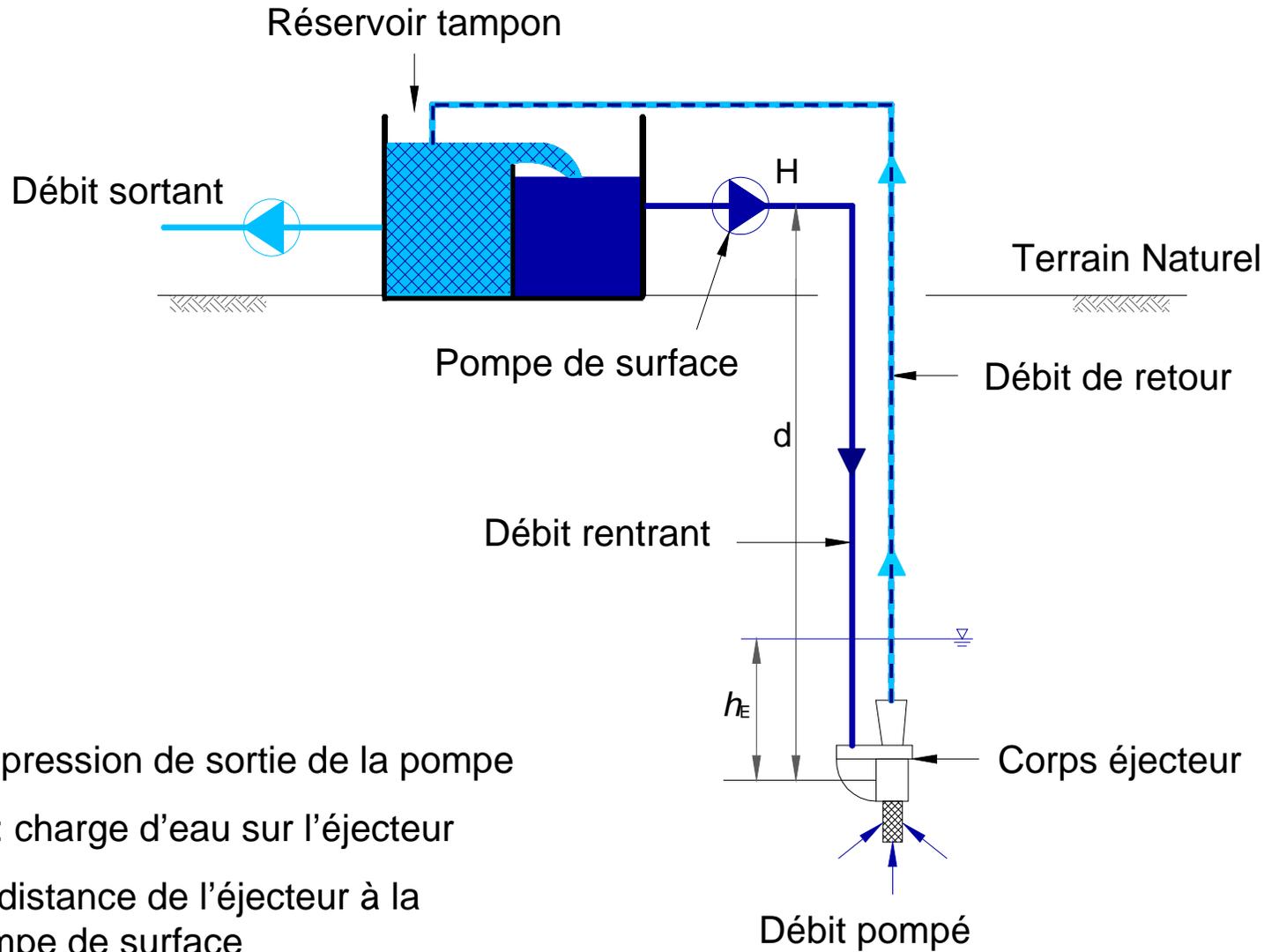


Vue de la tête d'un éjecteur



Schéma d'un éjecteur unique

2.2. Ejecteurs

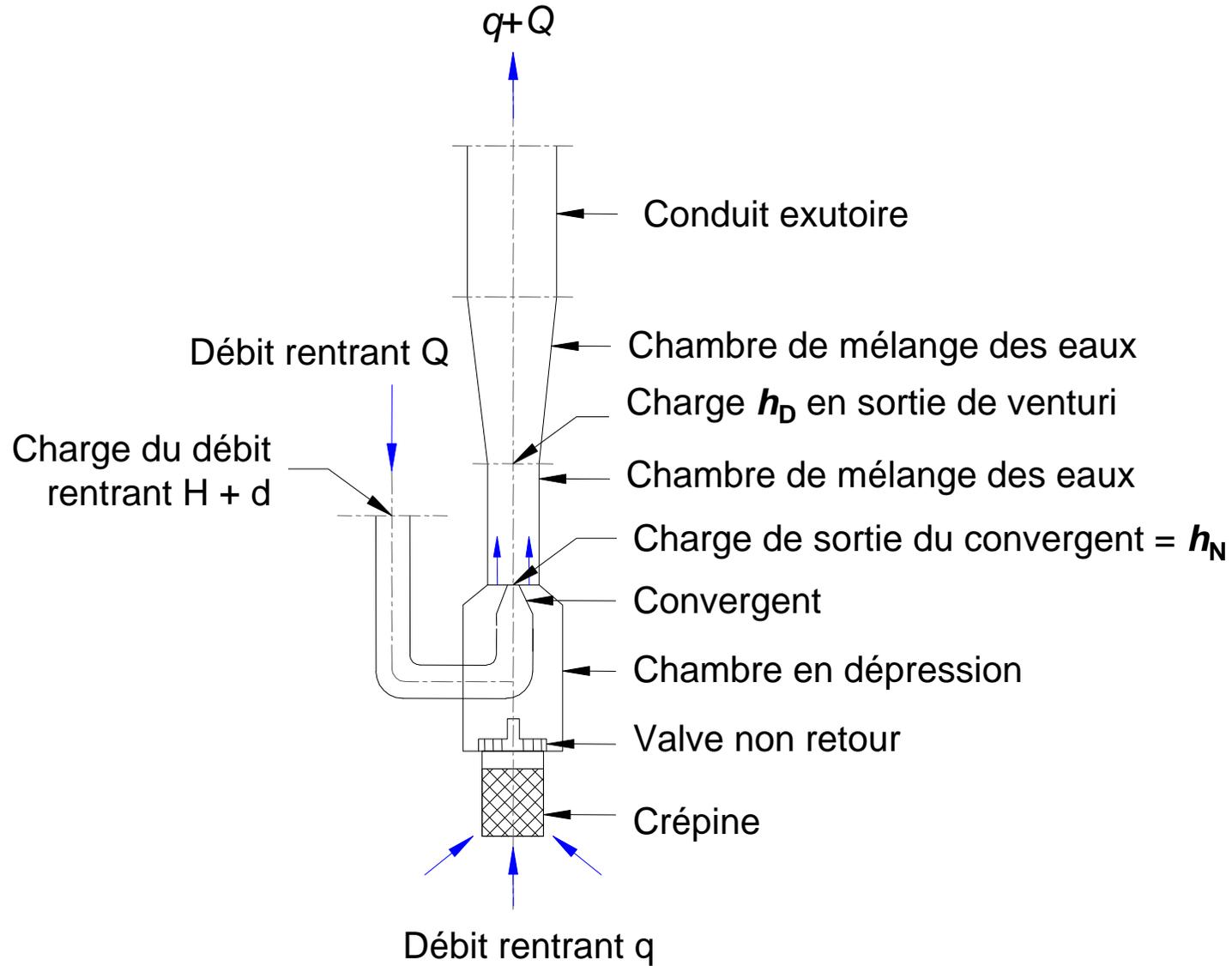


H : pression de sortie de la pompe

h_E : charge d'eau sur l'éjecteur

d : distance de l'éjecteur à la pompe de surface

Détail du corps de l'éjecteur



Charge et débit d'alimentation

2.2. Ejecteurs

Q	débit d'alimentation
H	pression en sortie de pompe
d	profondeur de l'éjecteur
h_N	pression de sortie du convergent
C_I	coefficient de pertes de charge
g	accélération de la pesanteur
A_N	section de sortie du convergent

$$Q = C_I A_N (2g(H + d - h_N))^{1/2}$$

L'effet du convergent est d'augmenter l'énergie cinétique de l'eau d'alimentation. Cette augmentation du débit est accompagnée d'une diminution de la pression en sortie de convergent. La valeur maximale de la dépression est de l'ordre de -8m .

Exemple:

$$C_I = 0.95.$$

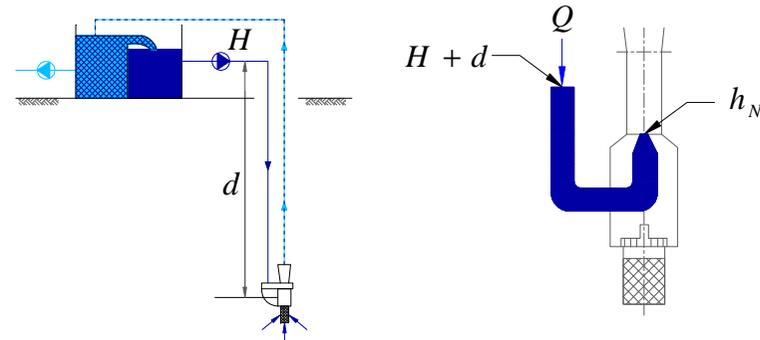
$$A_N = 12.56 \text{ mm}^2 \text{ (4mm exit diameter nozzle)}$$

$$H = 100\text{m}$$

$$d = 20\text{m}$$

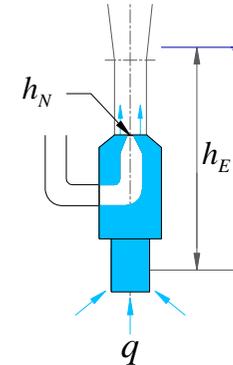
$$h_N = -8\text{m}$$

$$Q = 36 \text{ litres/min} = 2,16 \text{ m}^3/\text{h}$$



Débit induit

q	débit induit
A_E	section efficace du tuyau de flux rentrant au niveau du venturi
A_V	section du venturi
h_E	pression hydraulique extérieur sur l'éjecteur
h_N	pression en sortie de convergent
C_E	coefficient de pente de charge d'entrée dans la crépine
g	accélération de l'apesanteur



$$q = C_E A_E (2g(h_E - h_N))^{1/2}$$

La dépression créée par le convergent appelle un débit d'eau rentrant par la crépine basse d'aspiration dépendant de la pression extérieure et la perte de charge d'entrée dans l'éjecteur.

Exemple

$$C_E = 0.95$$

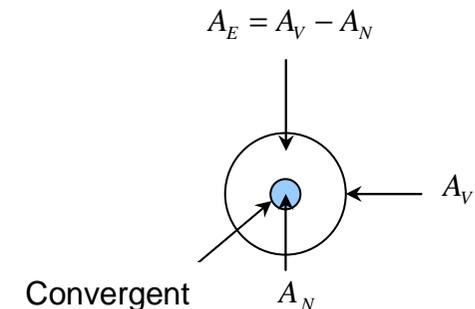
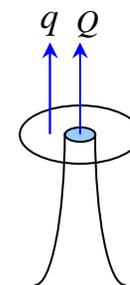
$$A_V = 54.11 \text{ mm}^2 \text{ (8.3mm diamètre du venturi)}$$

$$A_E = 41.54 \text{ mm}^2$$

$$h_E = 2\text{m}$$

$$h_N = -8\text{m}$$

$$q = 33 \text{ litres/min}$$

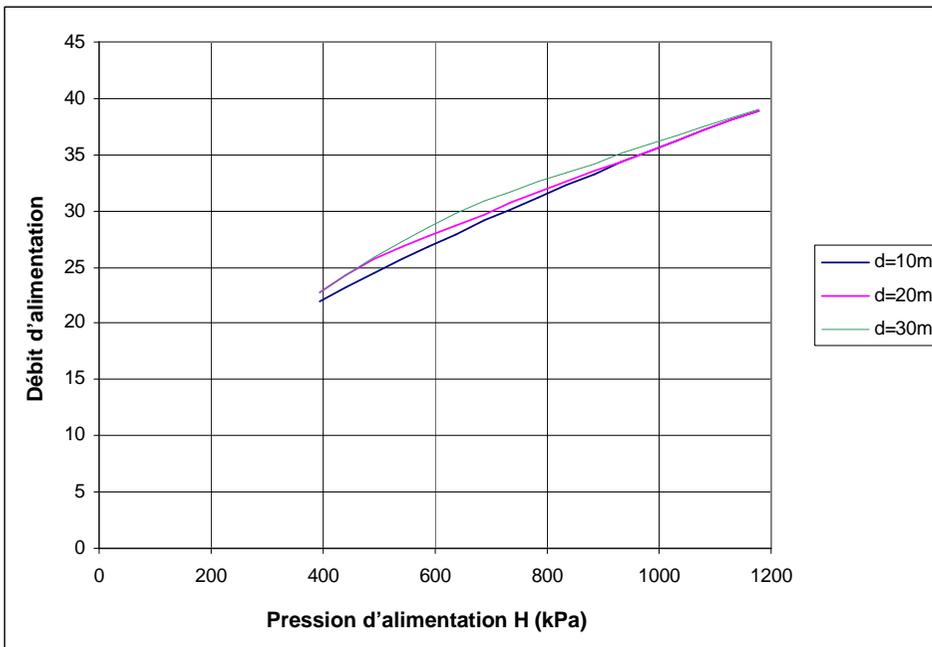
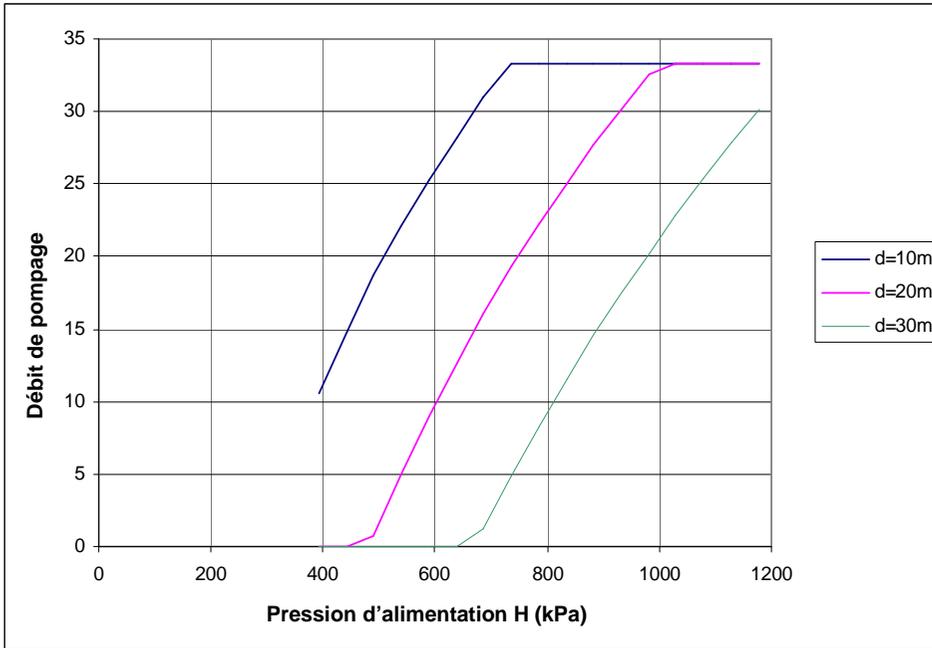


2.2. Ejecteurs

Courbes de performance PETIT CONVERGENT

Diamètre convergent : 3.97 mm

Diamètre du venturi : 8.3 mm

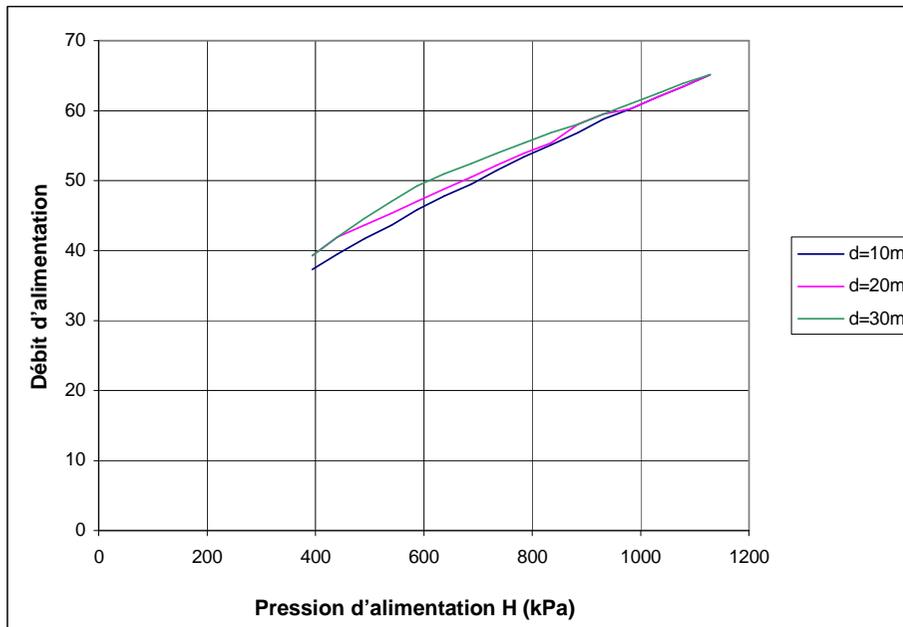
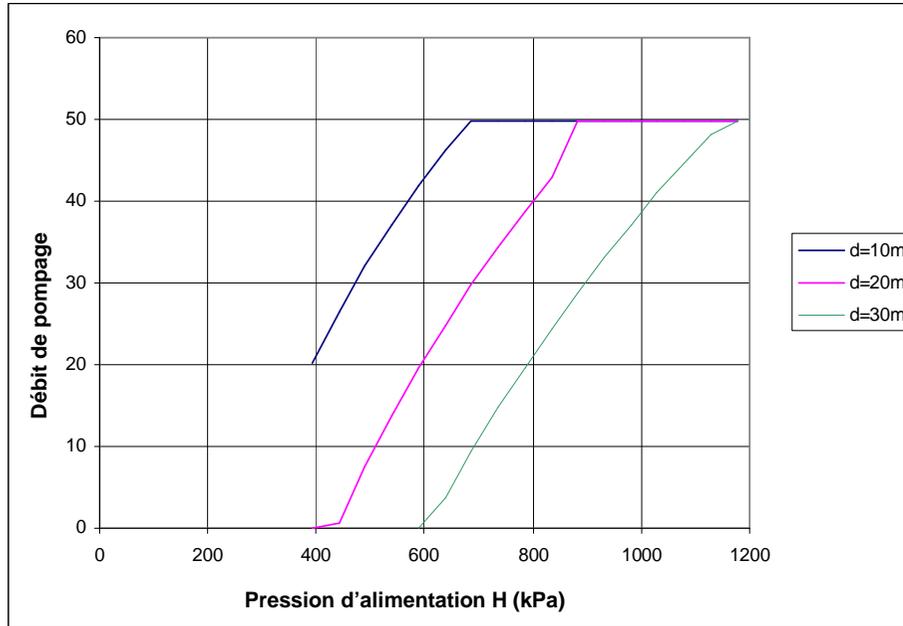


2.2. Ejecteurs

Courbes de performance GRAND CONVERGENT

Diamètre convergent : 5.16 mm

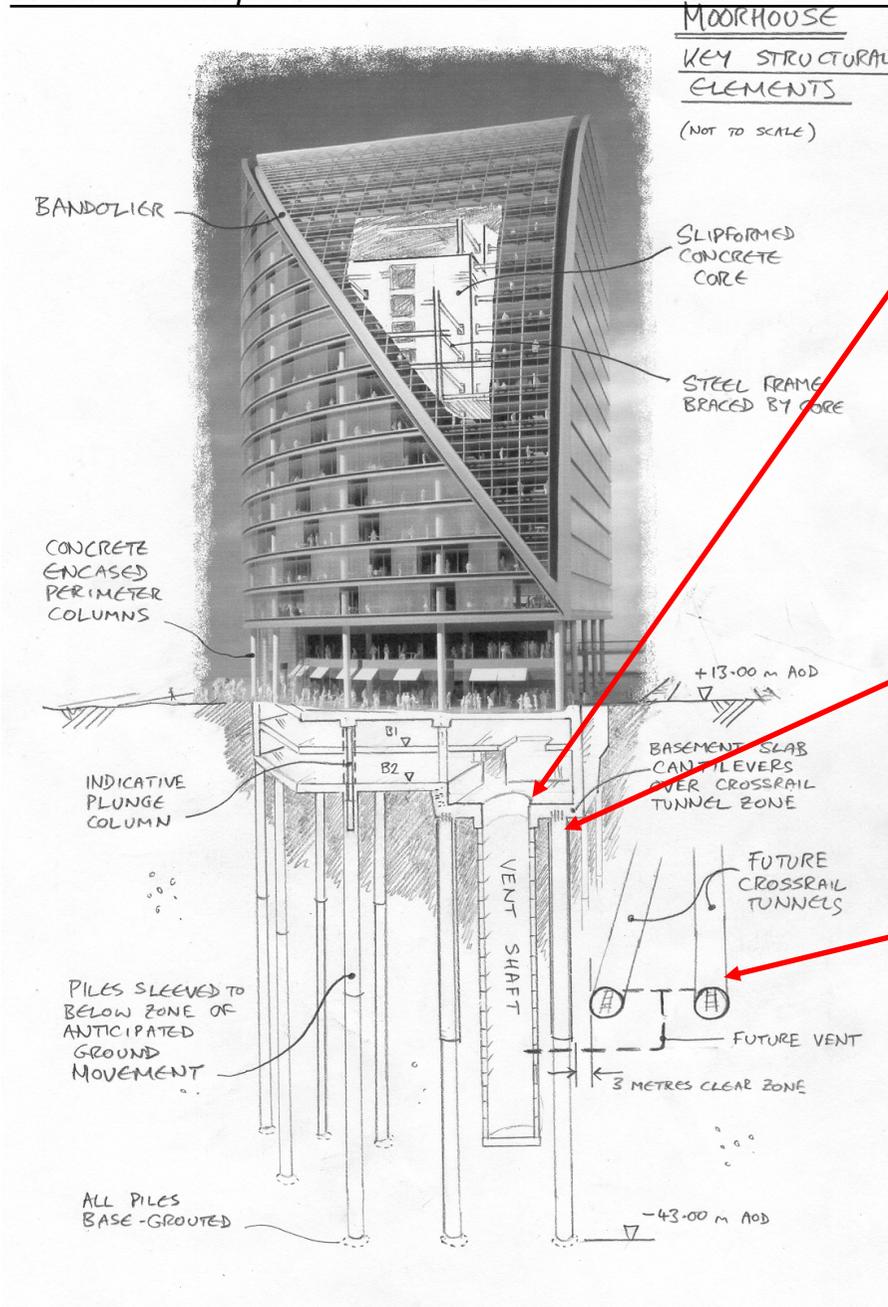
Diamètre du venturi : 10.3 mm



Toby Roberts Moorhouse Vent Shaft

Dewatering for
construction of a deep
shaft for Crossrail

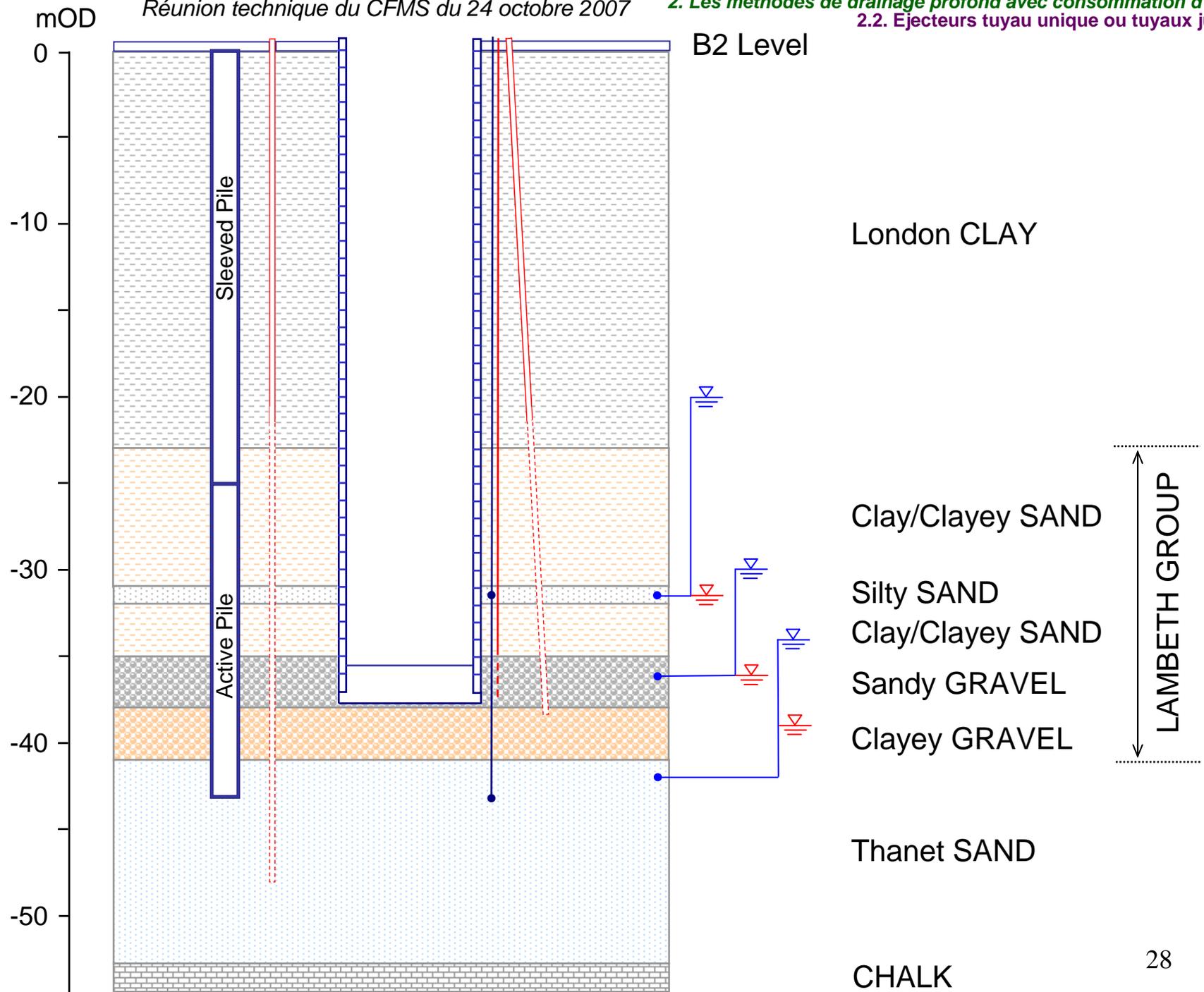


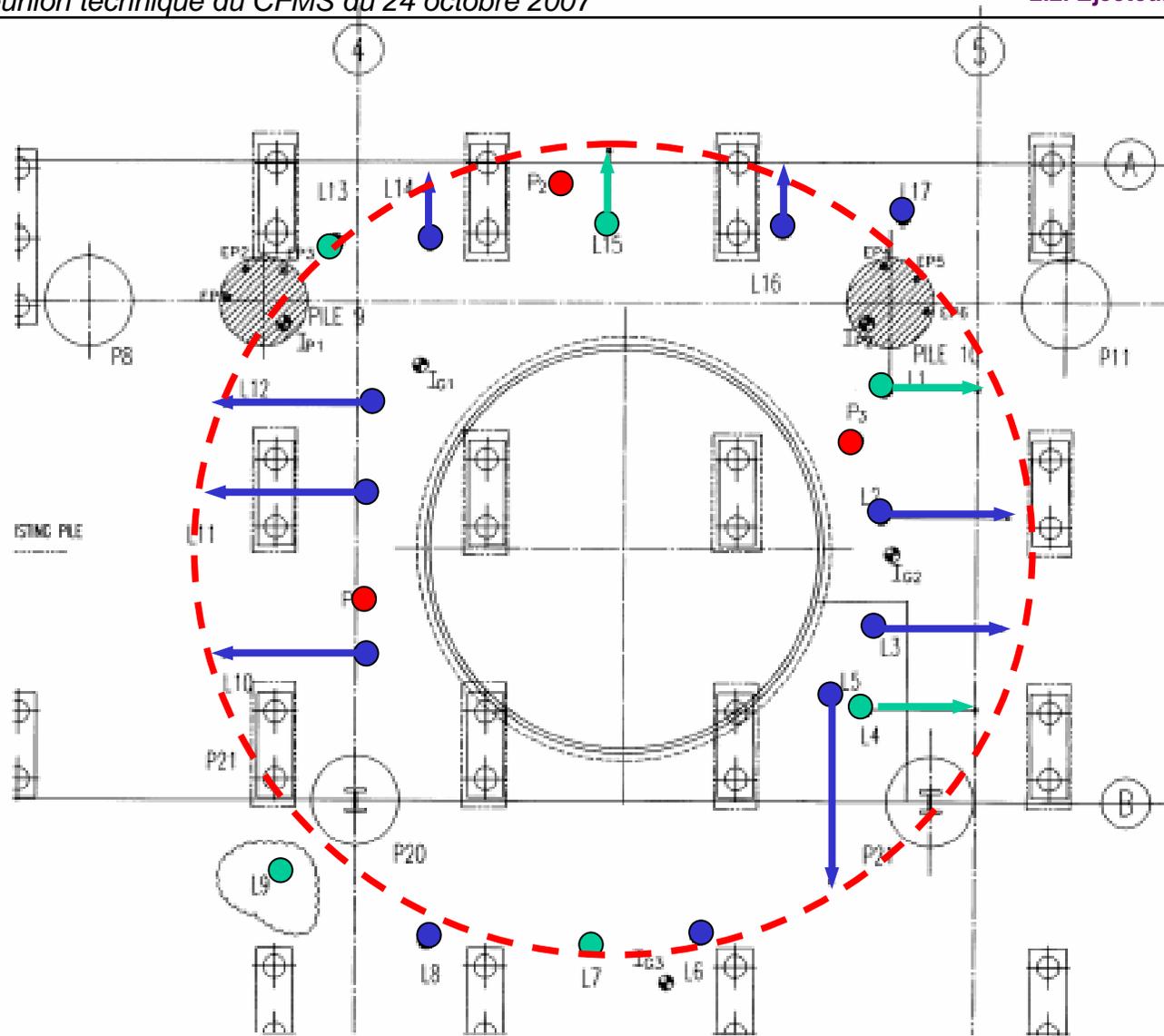


Vent shaft constructed after completion of superstructure to minimise programme implications

Piles installed before shaft, sleeved to -25 mOD

Future Crossrail tunnels and station box

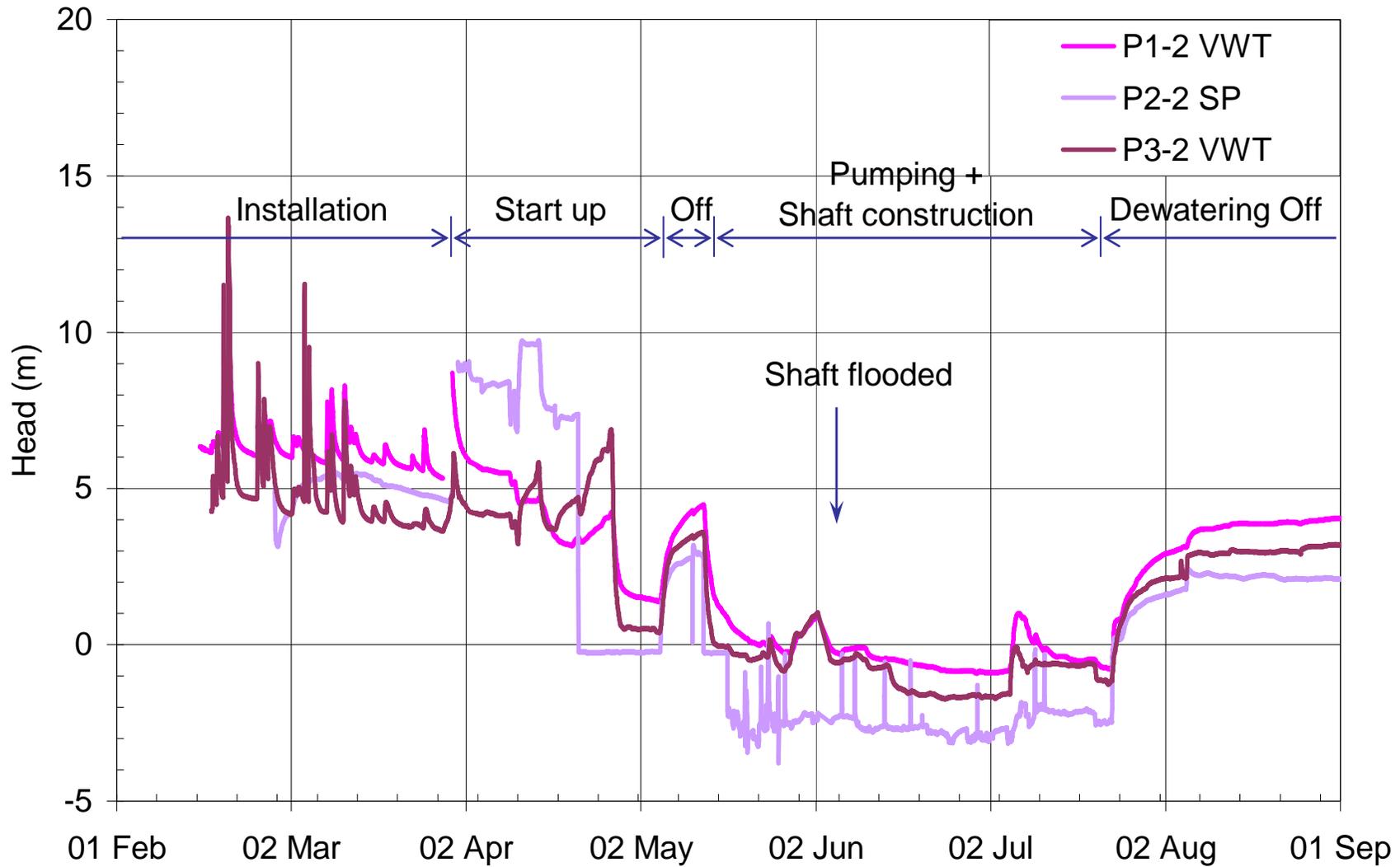




- Deep well
6 No.
- Ejector well
11 No.
- Piezo string
3 No.

Dewatering scheme layout

Moorhouse, Lower Lambeth Group Water Levels All piezometer tips at approximately -36 mOD



Flow Rates	Drawdown achieved		
	Upper LBG	Lower LBG	Thanet Sand
Pumping Test 0.25 l/s	3.1 m	0.5 m	
Main Works			
Ejectors 1 l/s	10 m	6 m	
Deepwells 2.5 l/s			5 m

Difficultés des éjecteurs

- efficacité en terme de retour sur consommation d'énergie :

- ✓ pompes immergées 80 %,
- ✓ aiguilles filtrantes 50 %,
- ✓ éjecteurs 15 %,

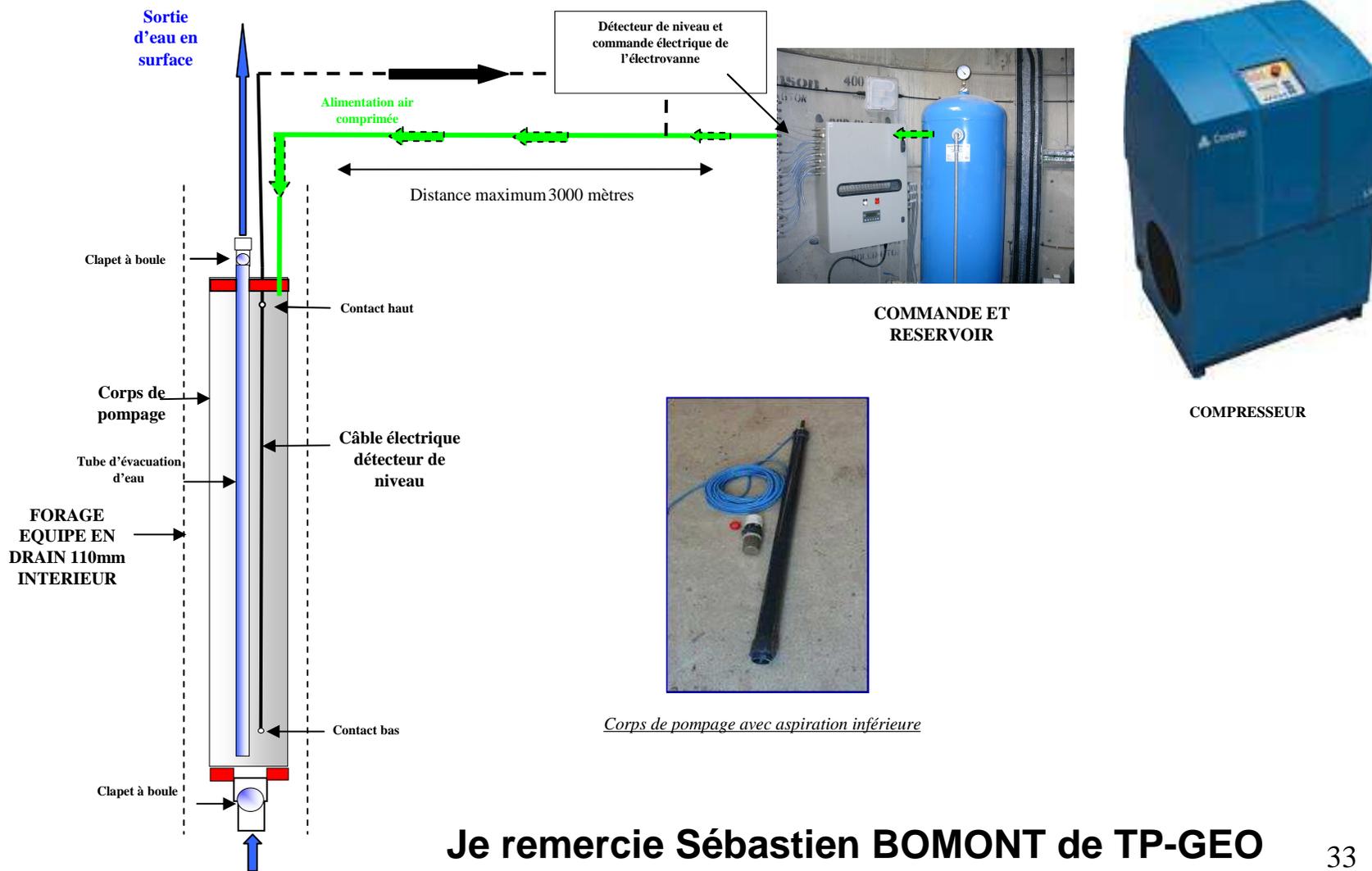
mais pompes immergées inadaptées aux faibles débits et aiguilles filtrantes inefficaces au-delà de 6 mètres.

- sensibilité au développement de bactéries ferrugineuses (traitement à l'acide oxalique),
- usure du convergent si particules en suspension,
- gestion d'un groupe d'éjecteurs avec réponse hétérogène des drains.

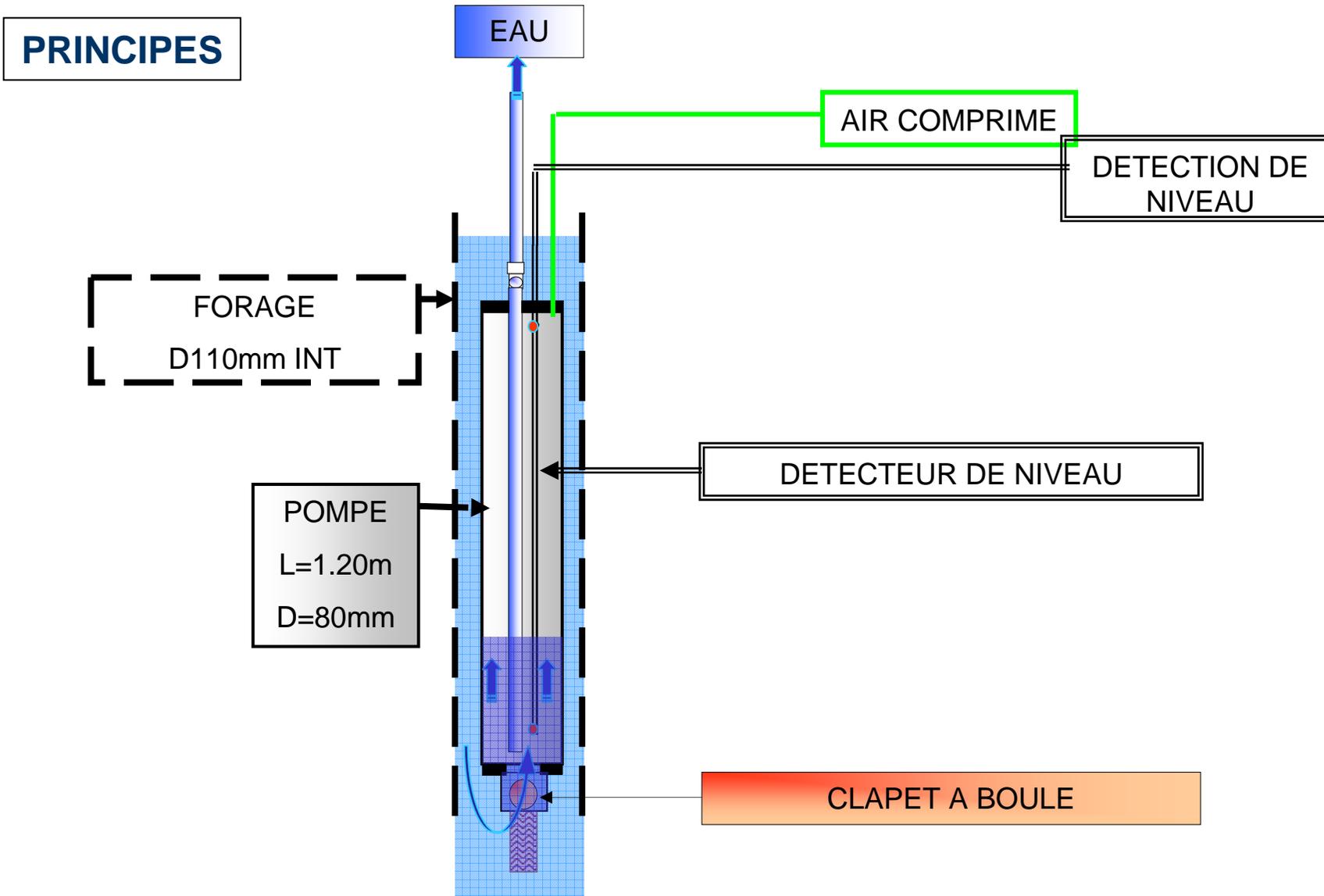
Avantages : être capable de pomper dans des niveaux à 10^{-7} m/s

2.3. Le drain électropneumatique®

PRINCIPES

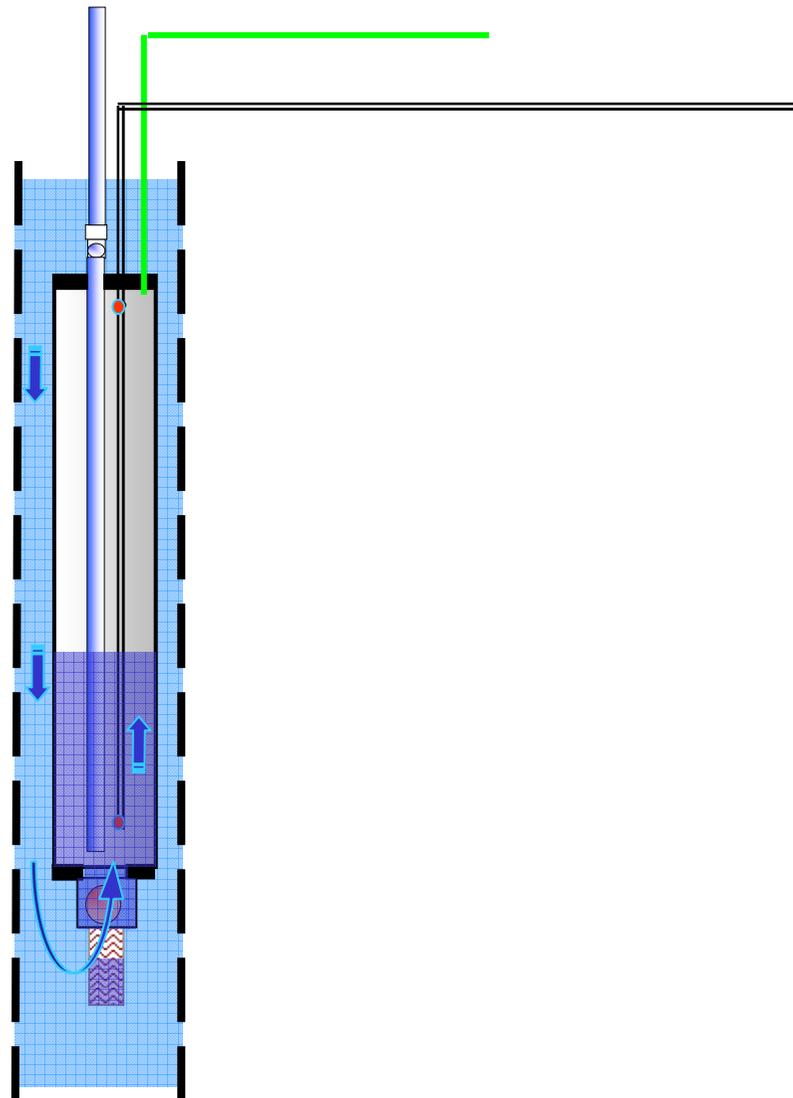


Je remercie Sébastien BOMONT de TP-GEO pour ses diapositives.



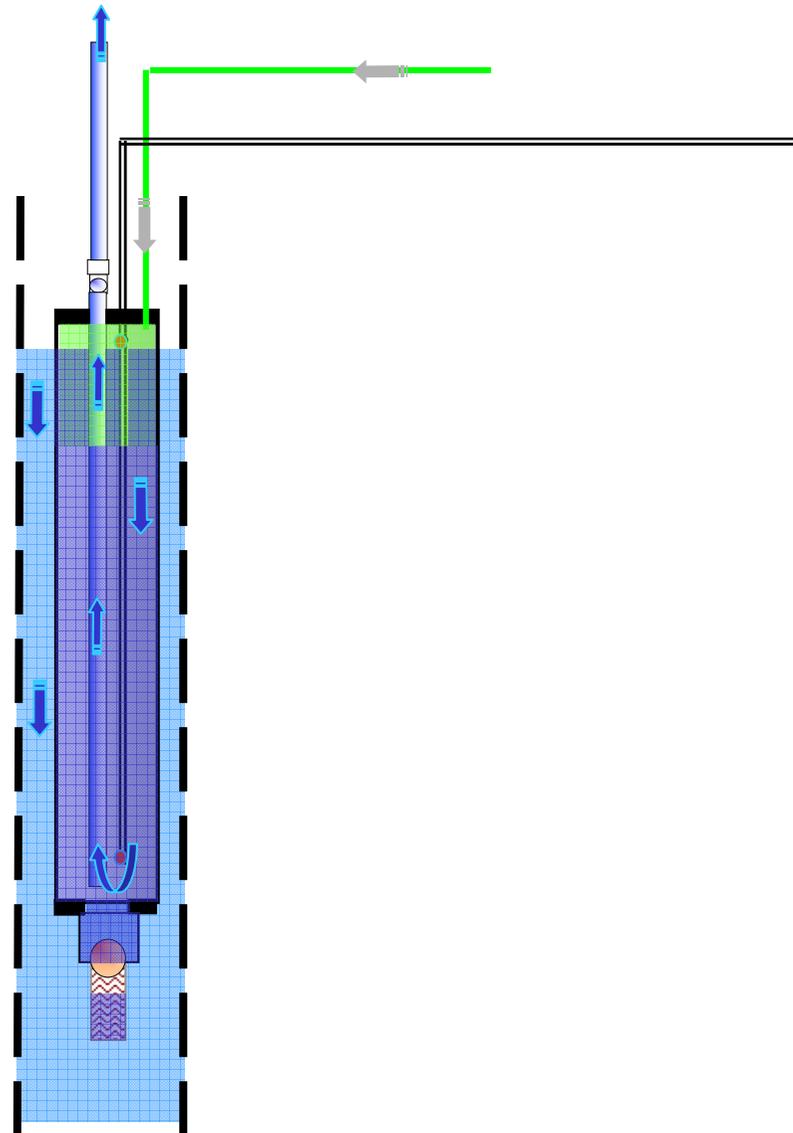
PRINCIPES

1. REMPLISSAGE DU CORPS DE POMPE



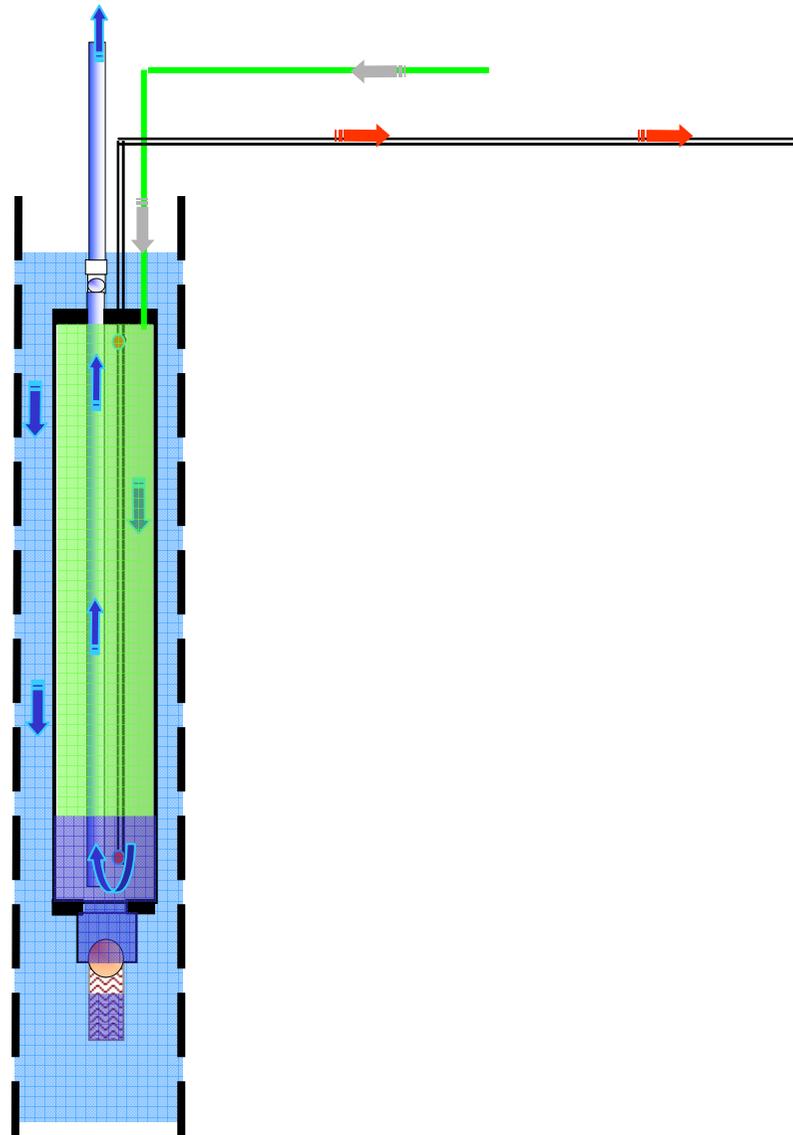
PRINCIPES

**2. DETECTION DE REMPLISSAGE
ENVOI D'AIR POUR CHASSER L'EAU**



PRINCIPES

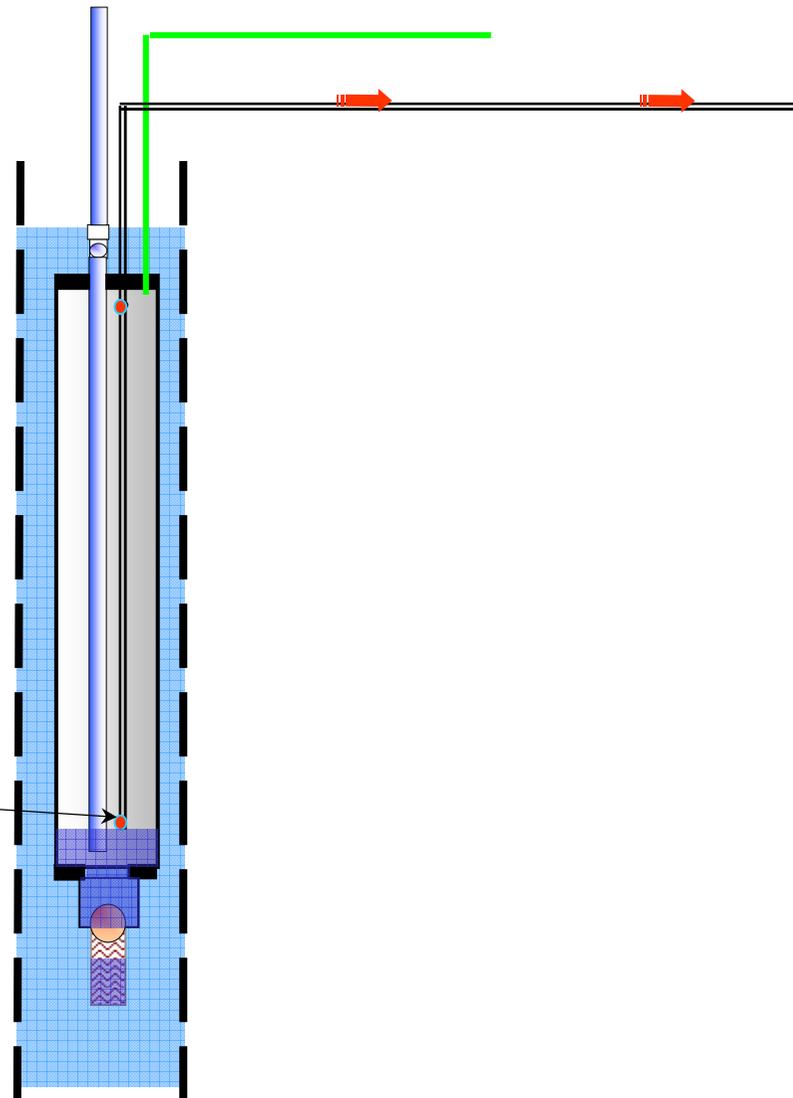
3. DESCENTE DU NIVEAU D'EAU



PRINCIPES

**4. DETECTION DE NIVEAU BAS
ARRET ENVOI D'AIR**

DETECTION NIVEAU BAS



AVANTAGES :

•→ **Alimentation par un compresseur unique :**

40 drains pour un petit compresseur 3000l/min – 10 bar – 20KW

- **Maintenance limité sur les pompes: clapets à boules autonettoyantes d'admission et anti-retour**
- **1 seul point de maintenance facile : le compresseur (filtre vidange toutes les 4000H – 6 MOIS)**
- **Fonctionne uniquement en présence d'eau, adapté à de faibles alimentations**
- **Système pouvant être entièrement instrumenté permettant le suivi et la gestion à distance**
- **Pompage d'eaux polluées ou chargées**
- **Pompage à grandes profondeurs (testé jusqu'à 40 mètres)**

INCONVENIENTS :

- **Source d'alimentation électrique à proximité**
- **Débit 30 – 40l/min maximum mais largement suffisant dans un contexte de perméabilité faible**
- **Compresseur : organe déterminant à suivre à l'entretien (concessionnaire local)**

REFERENCES ET APPLICATIONS

ISLE DE WIGHT (UK) - CASTLEHAVEN - DRAINAGE DE GLISSEMENT DE TERRAIN COTIER PAR 35 DRAINS ELECTROPNEUMATIQUES ET 116 DRAINS SIPHONS 6 COAST PROTECTION - 2004 – 2005 – FLEMING AWARD 2005 : ELU CHANTIER DE L'ANNEE EN GEOTECHNIQUE PAR LES INGENIEURS CIVILS ANGLAIS (ICE)

•DRAINAGE PROVISoire TUNNEL TRANSJURANNE - N16 POMPAGE PROVISoire - SUISSE

•DEPOLLUTION - POMPAGE LIXIVIATS - DECHARGE DE MACON - FRANCE

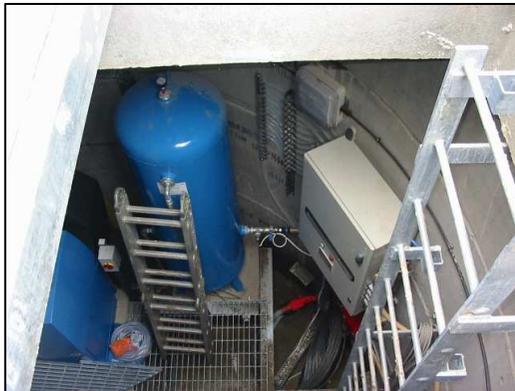
•DRAINAGE GLISSEMENT - PROJET CHABRILLAN - LGV – SNCF - FRANCE

•DRAINAGE GLISSEMENT- FAIRLIGHT COVE – GLISSEMENT DE TERRAIN - UK

ISLE OF WIGHT - CASTLEHAVEN COAST PROTECTION 2004 - UK



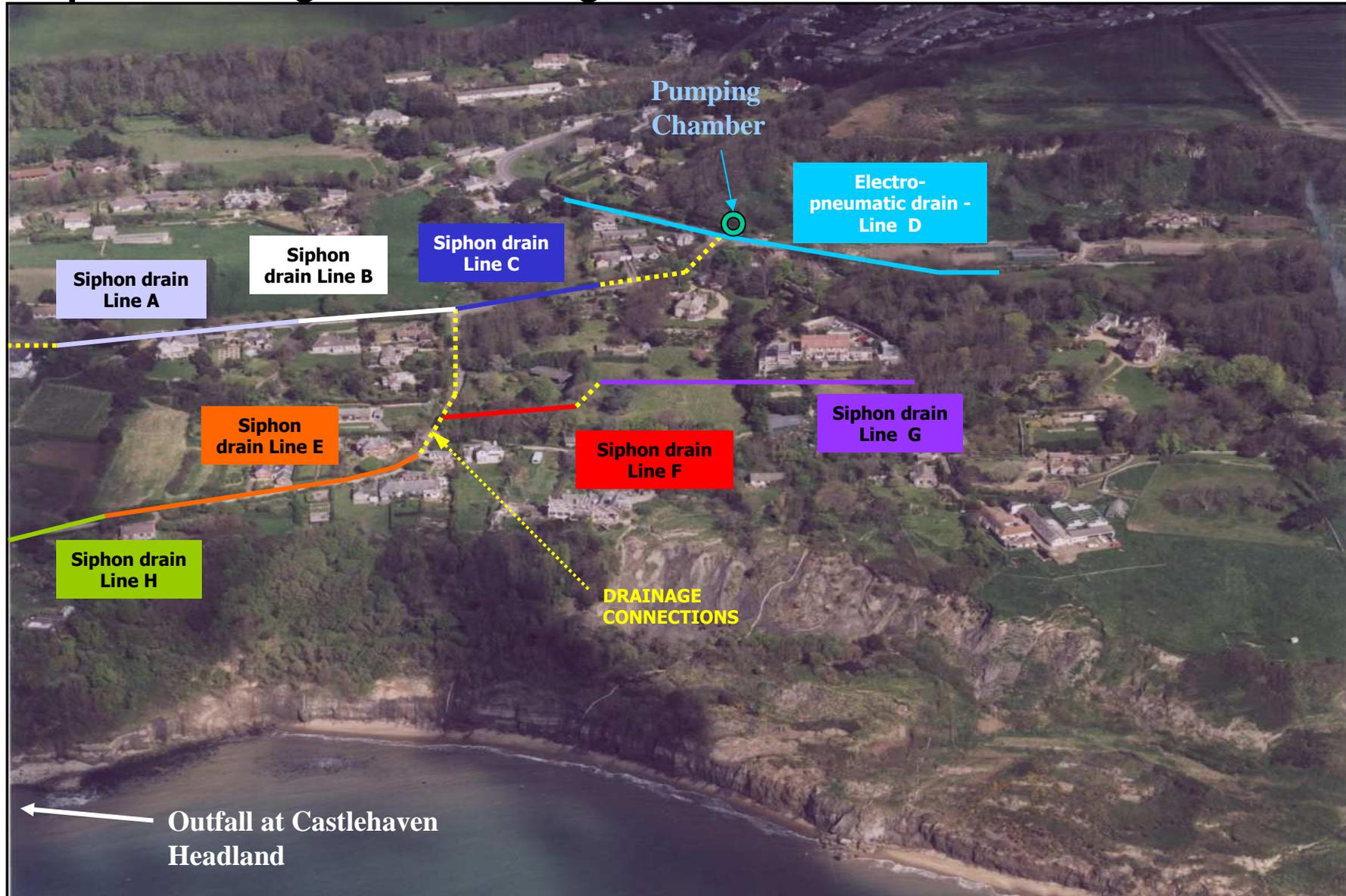
Chambre des compresseurs enterrée



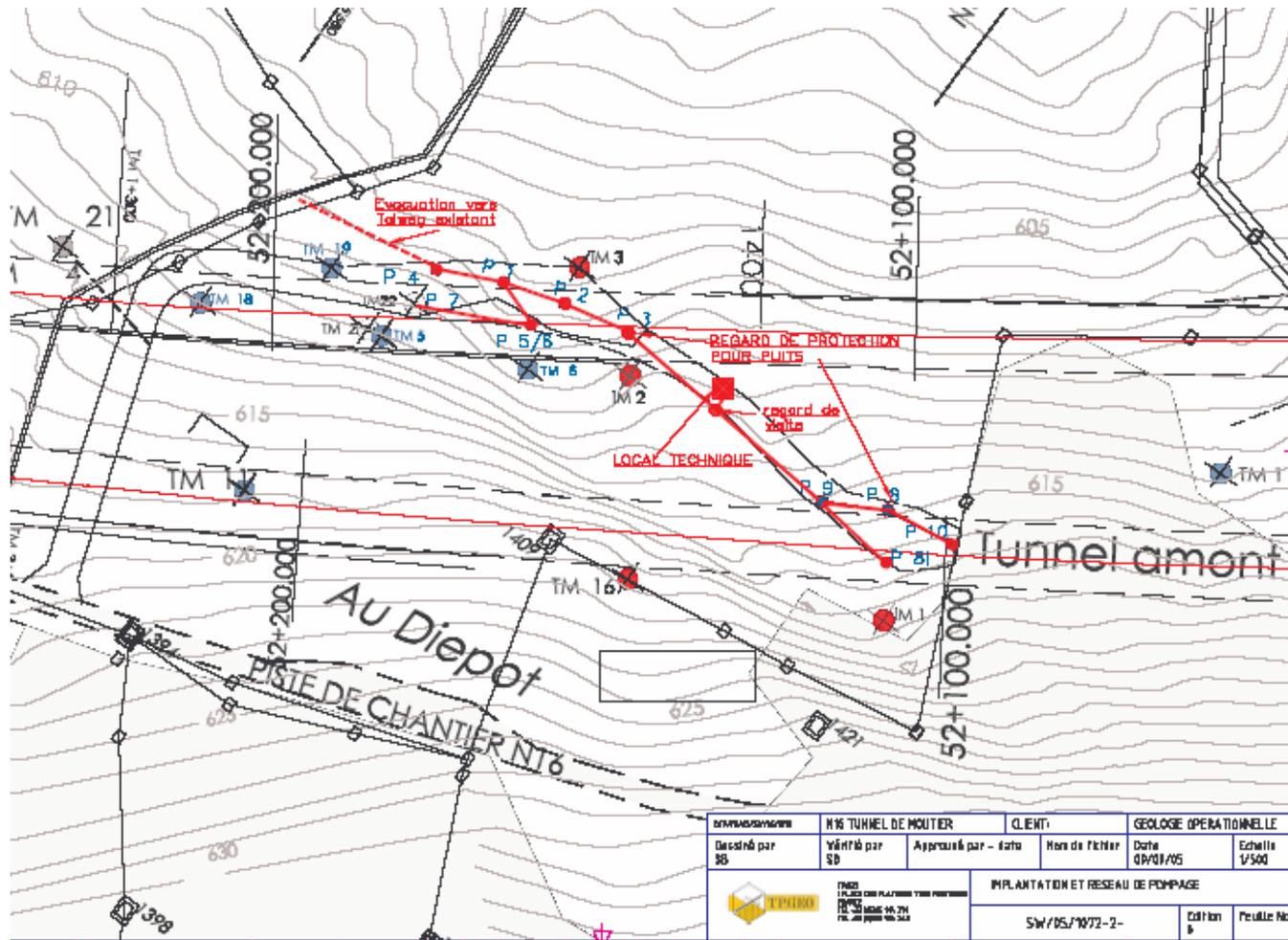
Installation des drains

CASTELHAVEN – ISLE DE WIGHT

Implantation lignes de drainage



SUISSE - TRANSJURANNE - N16 - POMPAGE PROVISOIRE - RABATTEMENT A 30M



TRANSJURANNE – N16 POMPAGE PROVISOIRE



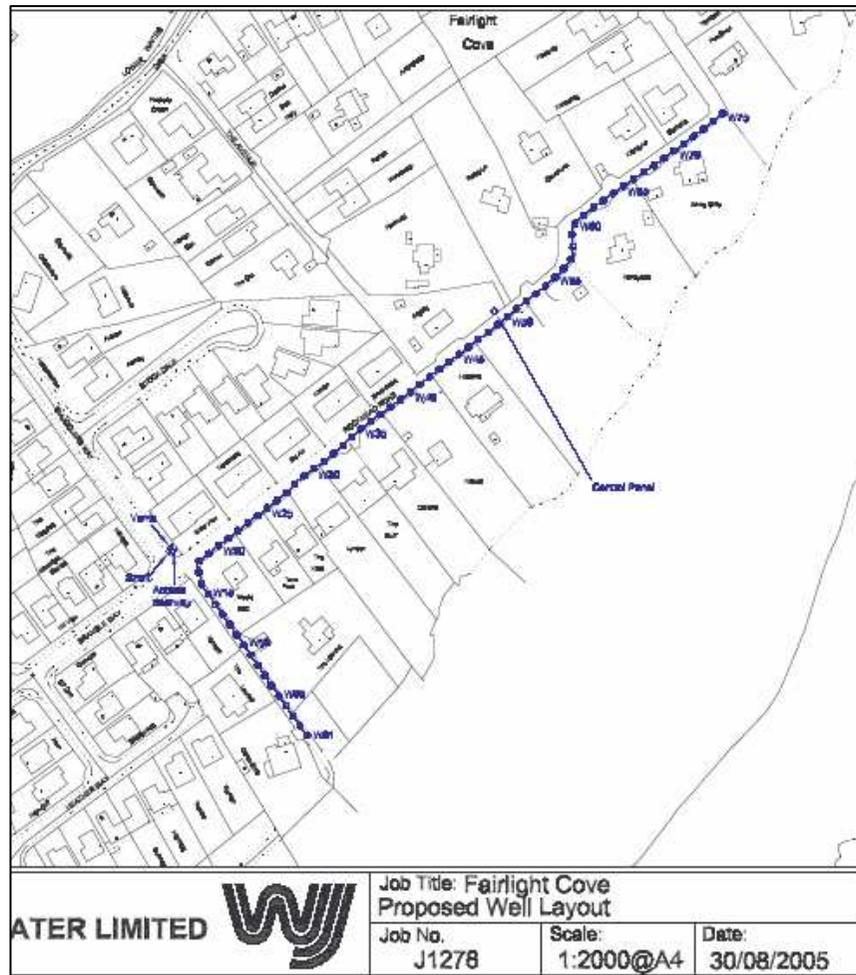


PUITS DE POMPAGE

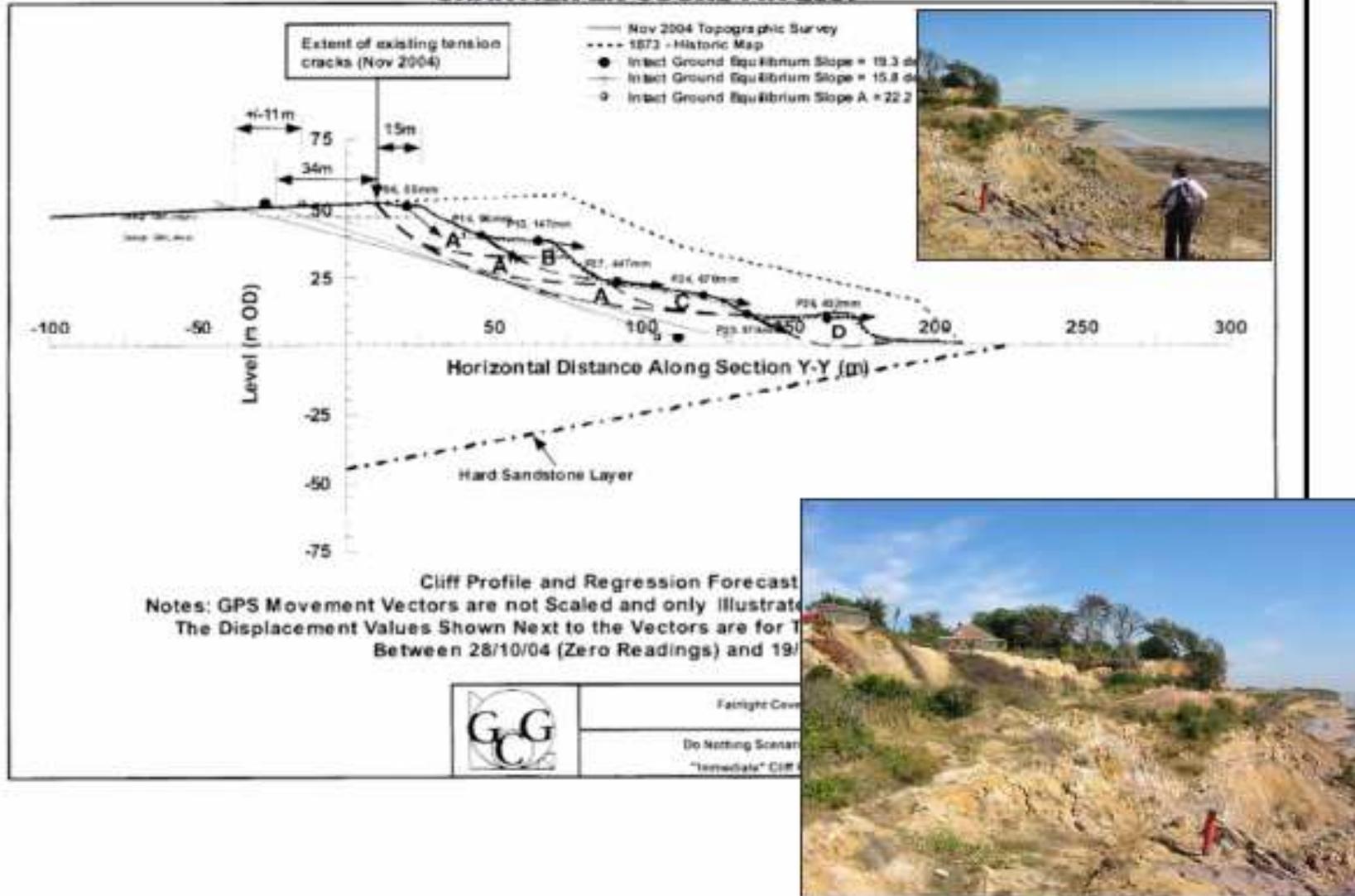


ARMOIRE DE PILOTAGE

CHANTIER EN COURS - HASTINGS -UK – DRAINAGE GLISSEMENT DE TERRAIN + REPROLIGE + LUTTE EROSION MARINE



**FAIRLIGHT COVE -UK - DRAINAGE GLISSEMENT DE TERRAIN + REPROLIGE + LUTTE EROSION MARINE
CHANTIER EN COURS FIN 2007**



Ligne de drainage par drain électropneumatique
1 forage tous les 5 à 6m avec regards
56 unités – 15 à 35m de profondeur

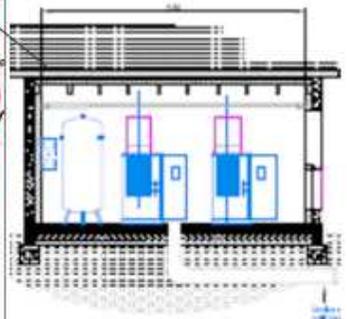
Key:

- Trench Type 1
- Trench Type 2
- Trench Type 3
- Trench Type 4
- Other connectors

Note:

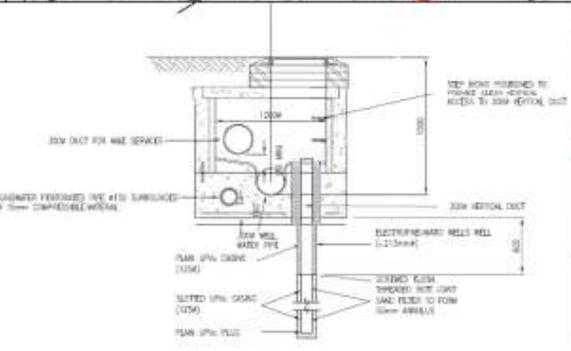
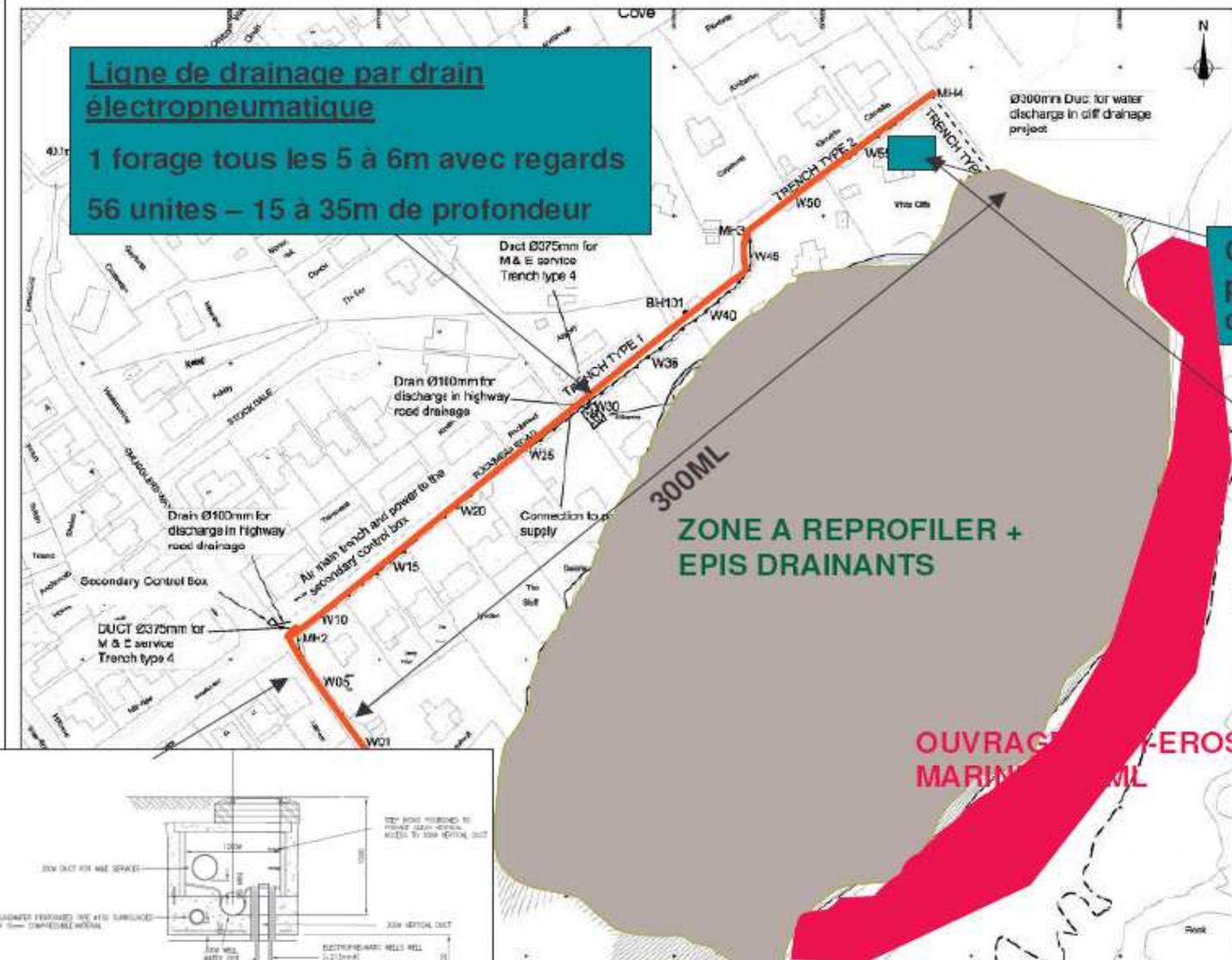
1. All dimensions in millimetres unless otherwise stated.
2. Do not scale from this drawing.
3. All levels are relative to Ordnance Datum Mean.

Chambre pour compresseur



300ML
ZONE A REPROFILER + EPIS DRAINANTS

OUVRAGE D'ÉROSION MARIN



ELECTRO-PNEUMATIC DRAIN MANHOLE TYPE 1
 SCALE: 1:50

PLAN
 Scale: 1:50000

Reproduced from Ordnance Survey Mapping with the permission of the Mapping & Stationery Office © Crown Copyright. Unauthorised reproduction is illegal. Ordnance Survey Licence: J070000

FOR TENDER

Drawn by	Checked by	Scale
Issue No.	Rev.	Date

ROTHER DISTRICT COUNCIL

WATER SERVICES

FAIRLIGHT COVE
 HOGFLEAD ROAD

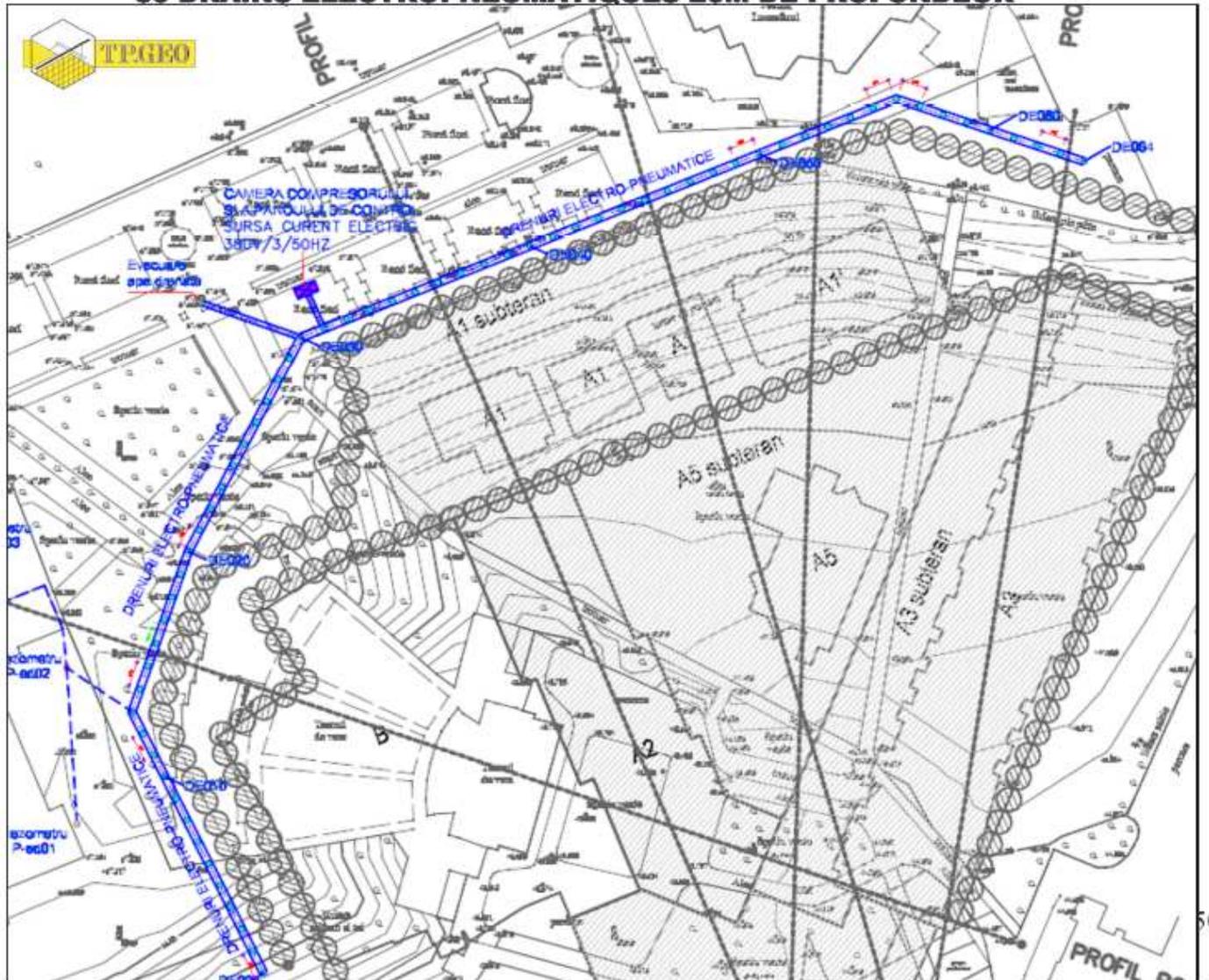
Borehole Well
 General Arrangement

Source: BS
 Date: 18
 Issue: 18
 Scale: 1:50000

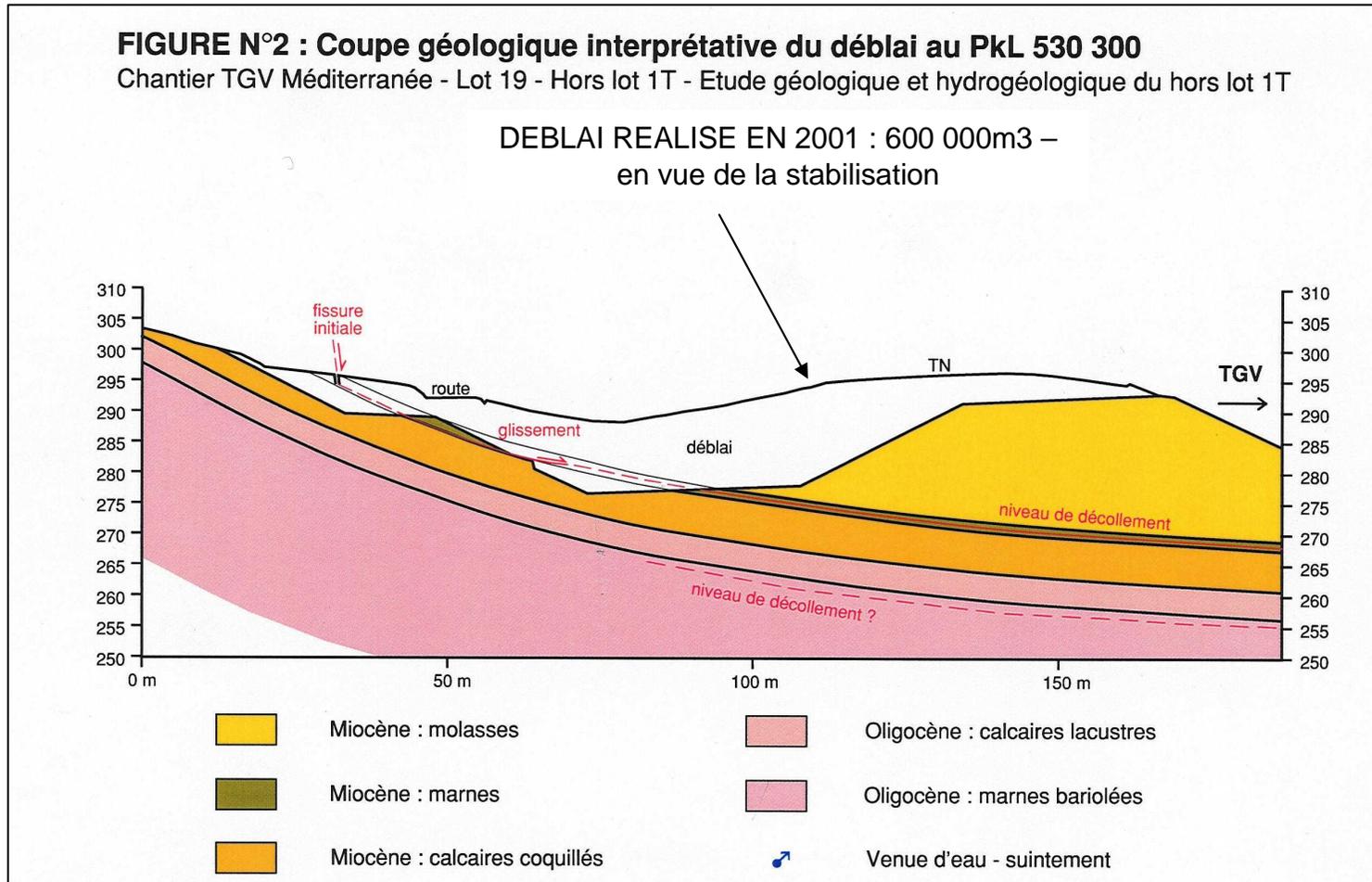
DCFAIR001

Issued from: 1:50000

**ROUMANIE ETUDE 2007 - DRAINAGE PROVISOIRE EN CONSTRUCTION
PUIS DEFINITIF ASSOCIES A PIEUX JOINTIFS
60 DRAINS ELECTROPNEUMATIQUES 20M DE PROFONDEUR**



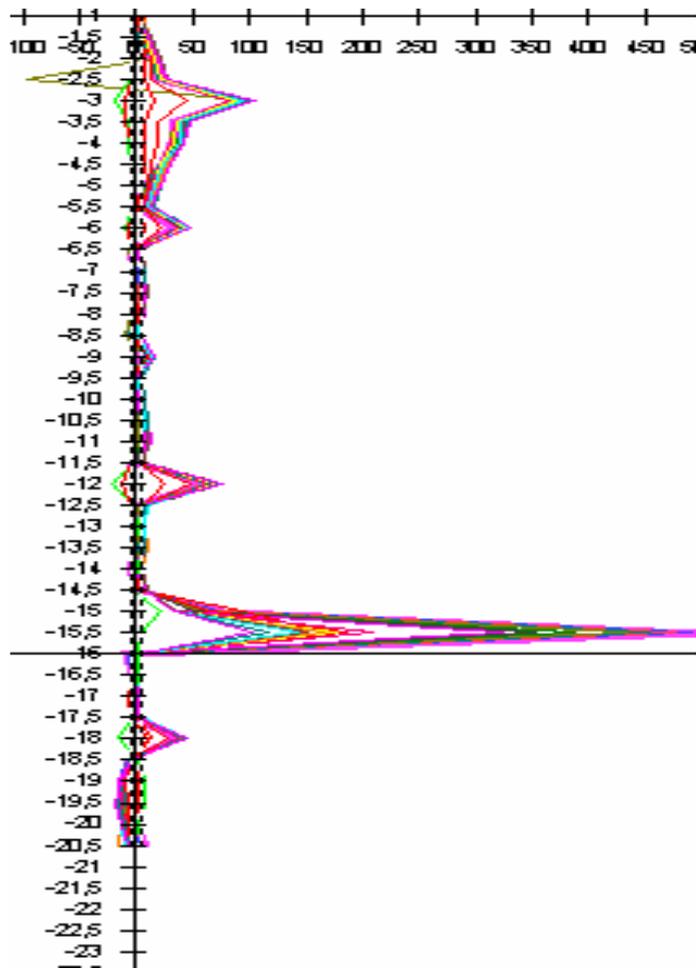
TGV DE MEDITERRANEE – Déblai de CHABRILLAN



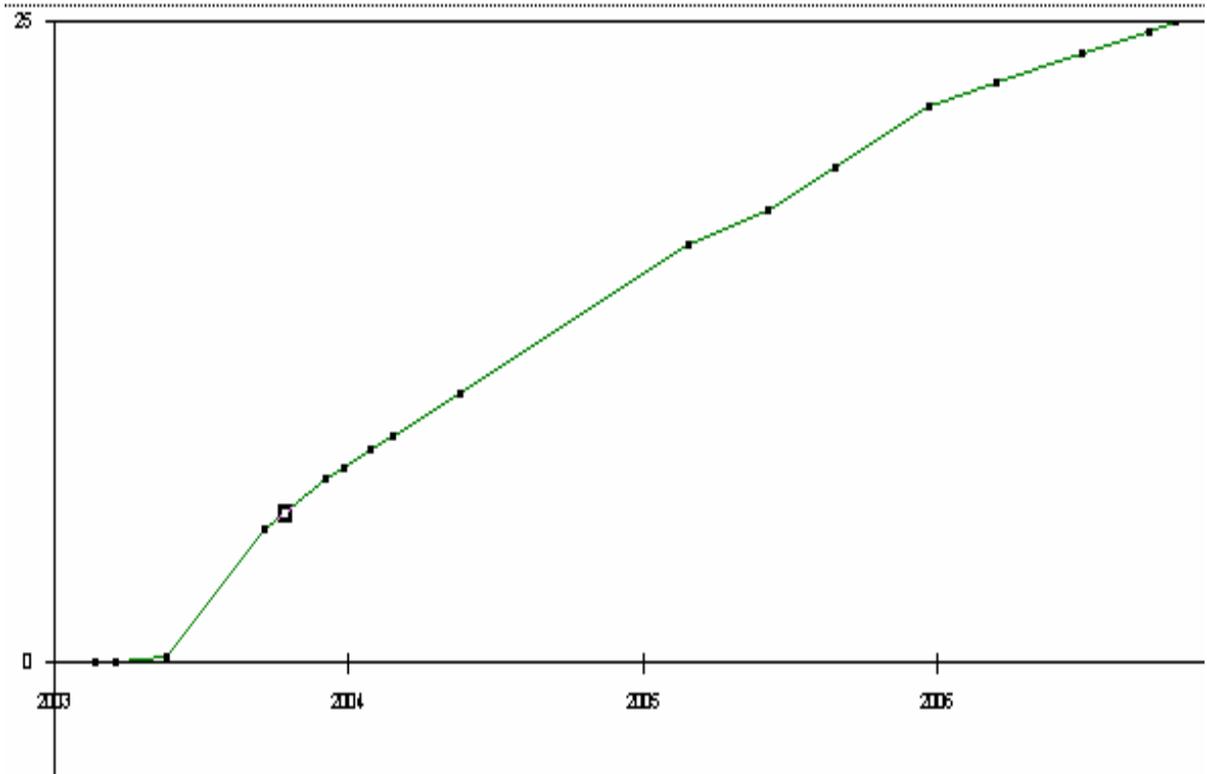
PROFIL EN TRAVERS TYPE ET GEOLOGIQUE

Mesures inclinométriques

Variation angulaire



Déplacement en fonction du temps



Les Solutions

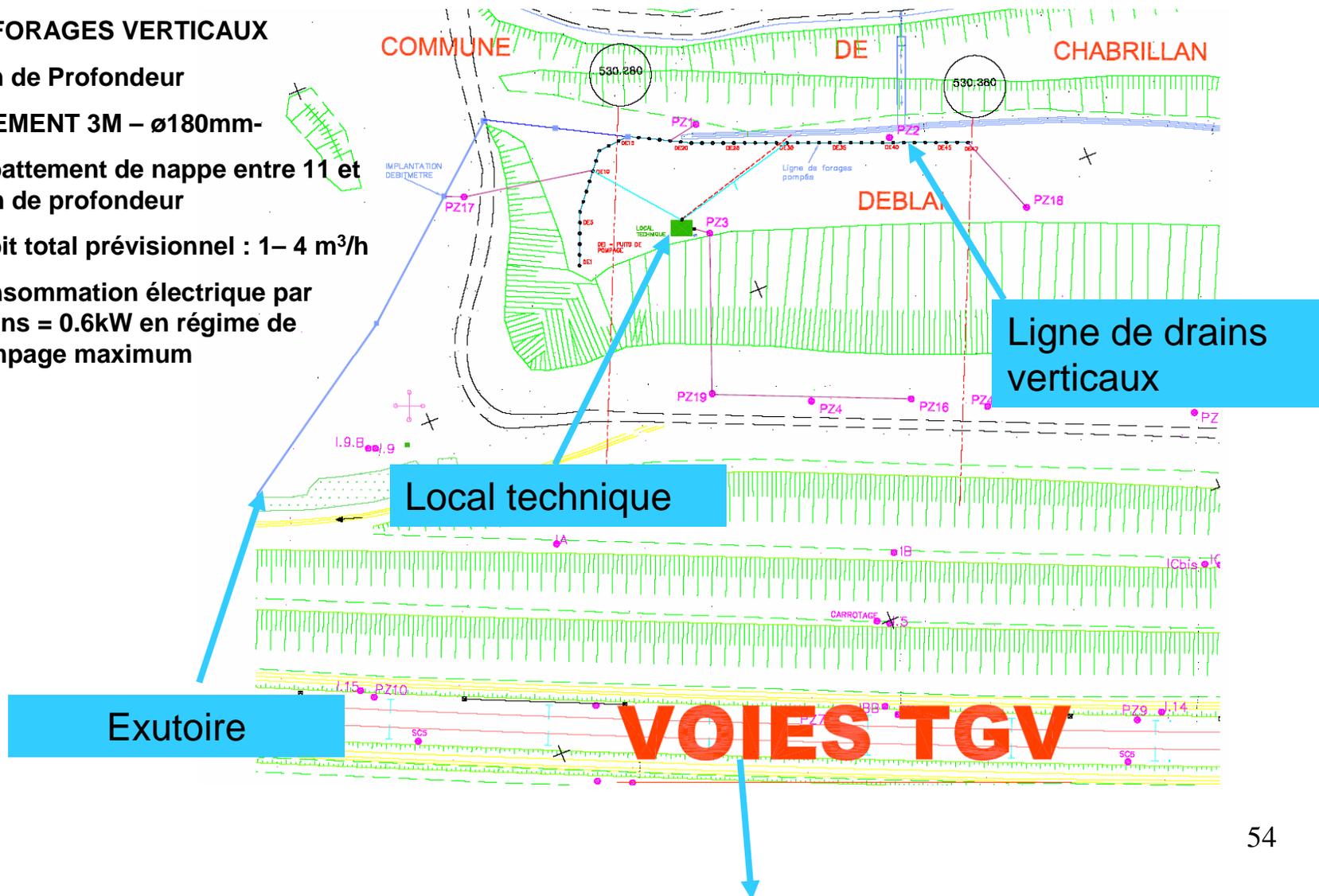
- **MAI 2001 : Terrassements de 600 000m³ – mais stabilité insuffisante :**
 - Solutions envisagées non retenues
 - **Drains Siphons : pas de pente pour fonctionnement gravitaire.**
 - **Tranchée drainante profonde : problèmes de construction.**
 - **Drains Subhorizontaux : longueur importante – problème accès – pas d'efficacité en contexte erratiques.**
 - **Pompes Immergées : pas efficace en faible débit – problème maintenance.**

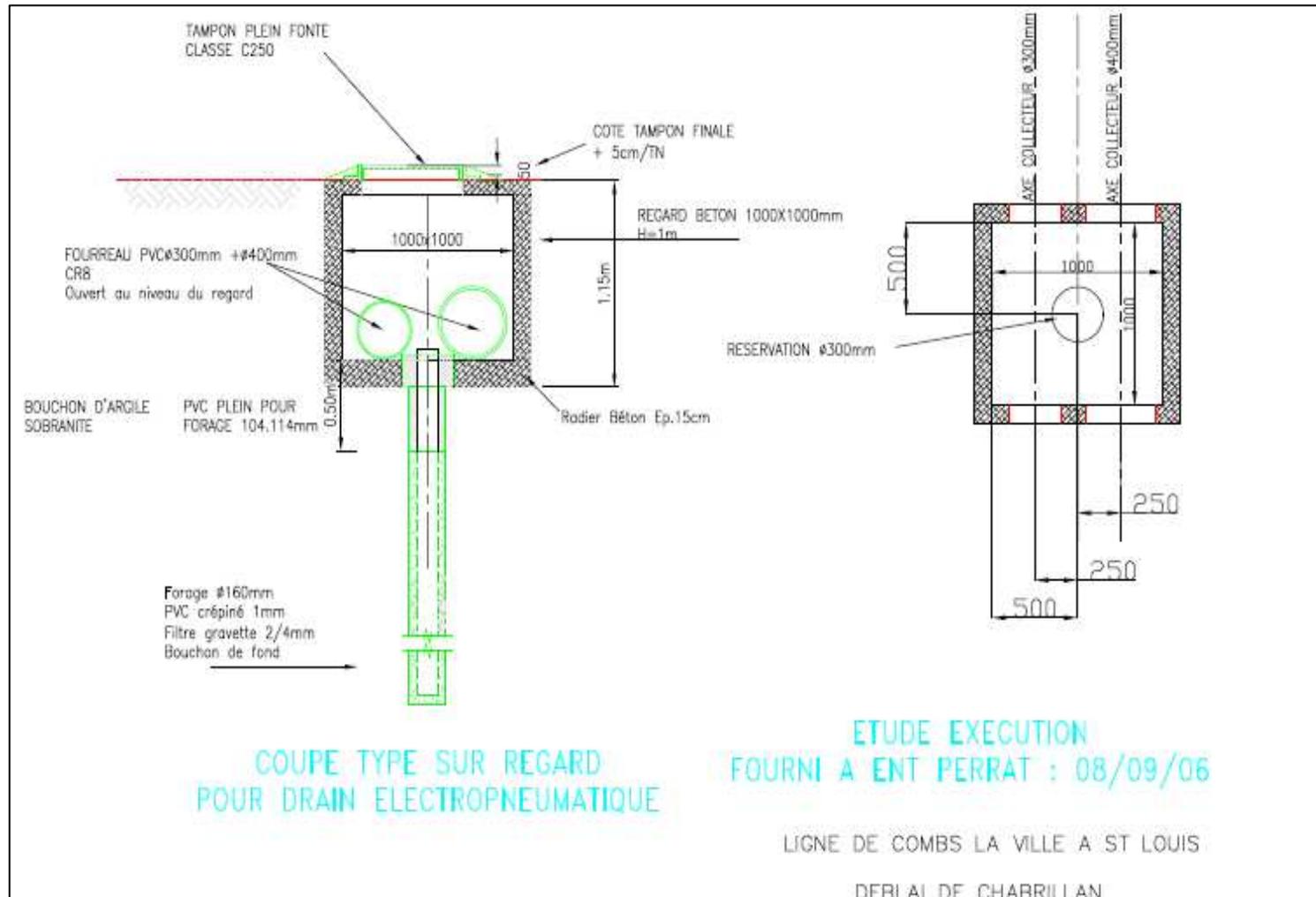
- **2006 : DRAINS ELECTROPNEUMATIQUES®**
 - Solution retenue

APPLICATION DEBLAI DE CHABRILLAN(26) SNCF LIGNE LGV

PROJET :

- 47 FORAGES VERTICAUX
12 à 20m de Profondeur
ESPACEMENT 3M – ø180mm-
- Rabattement de nappe entre 11 et 15m de profondeur
- Débit total prévisionnel : 1– 4 m³/h
- Consommation électrique par drains = 0.6kW en régime de pompage maximum







Equipement des pompes pneumatiques dans les puits de pompage – Exutoire sur conduite forcée en PEHD DN90mm





Suivi des paramètres à distance

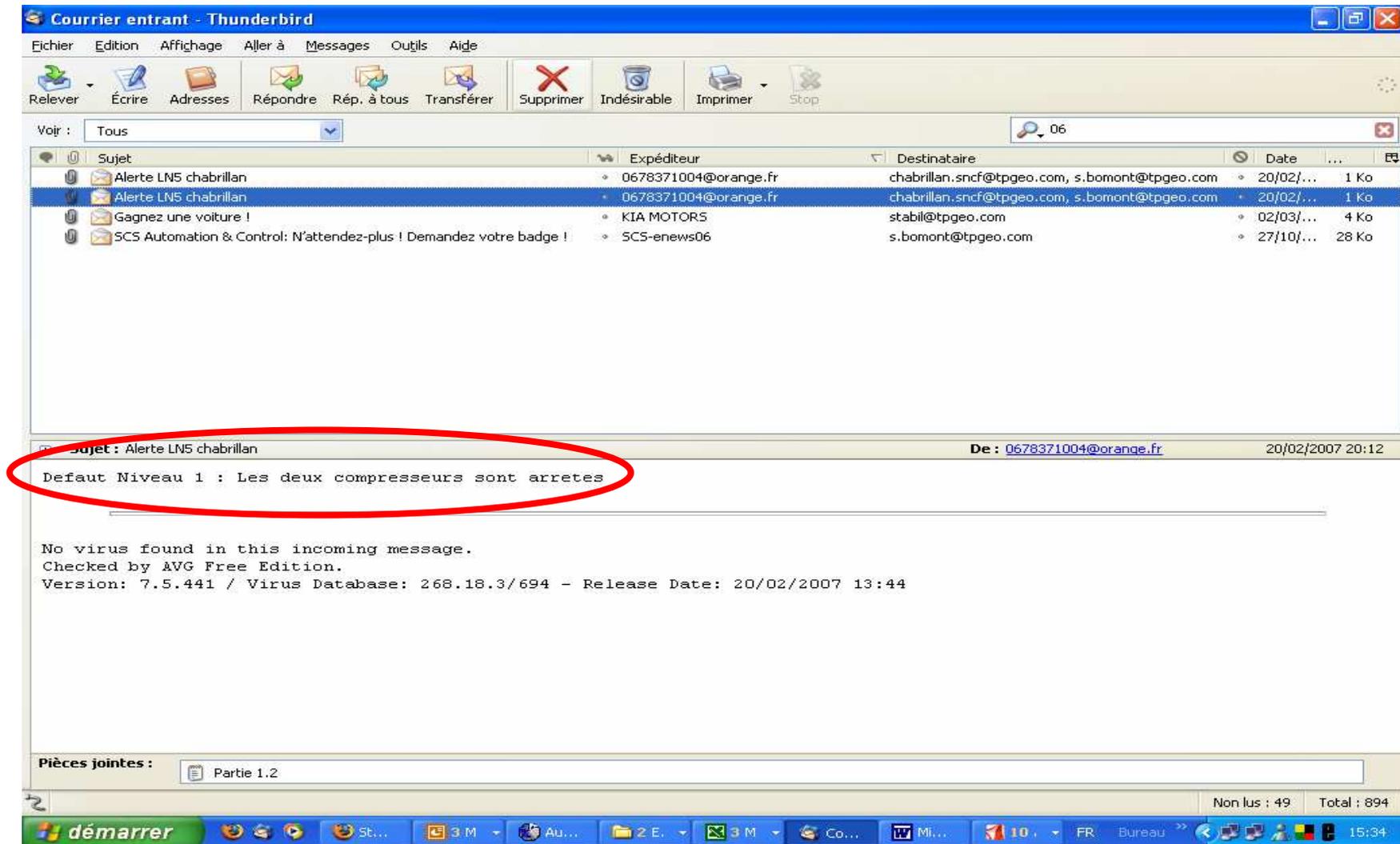


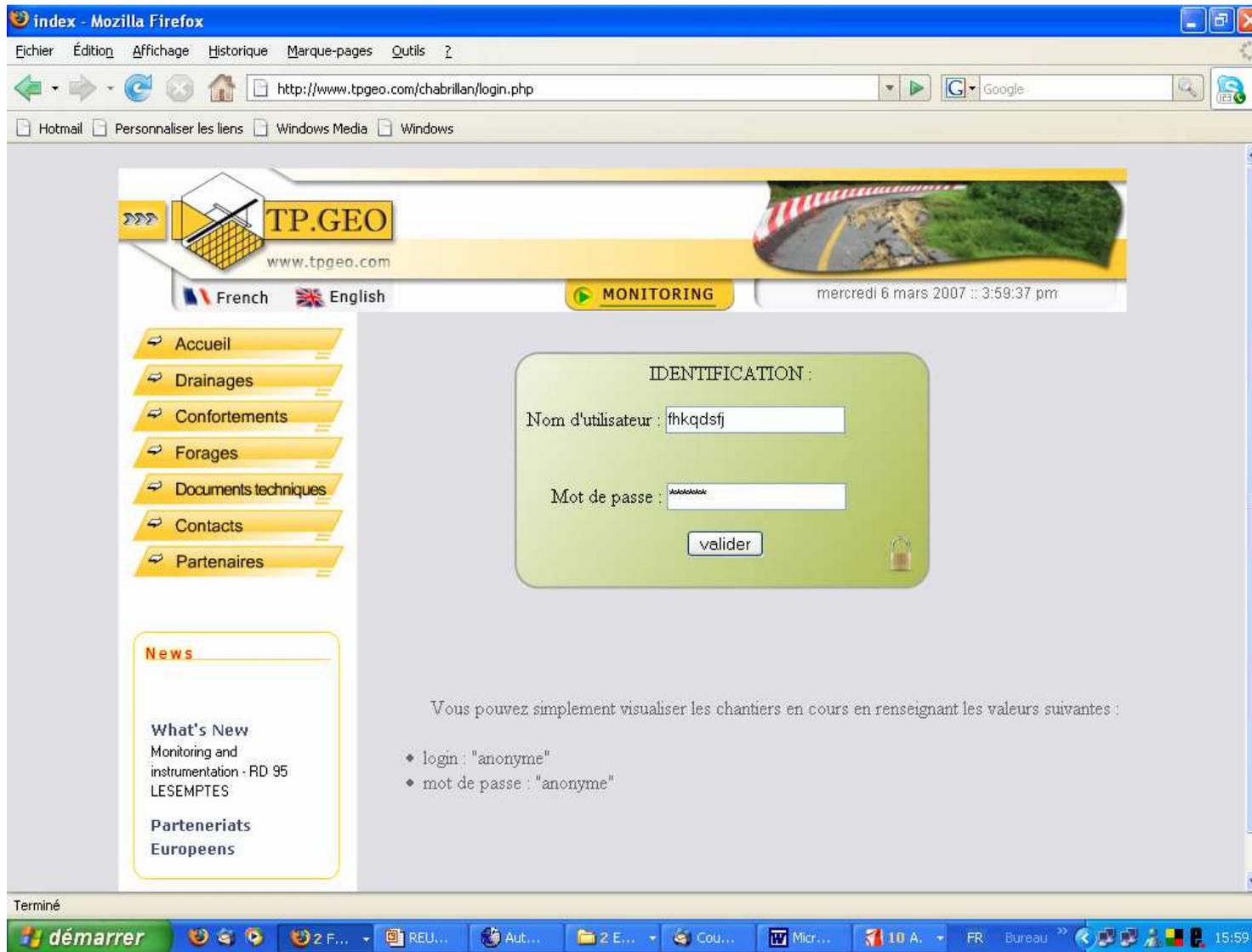
**GESTION DE FONCTIONNEMENT DES
POMPES - SURVEILLANCE EN TEMPS REEL**



**ALARMES DE DEFAUTS : COMPRESSEURS –
DEFAUTS MANQUE AIR COMPRIE : ENVOIE
SMS ET MAIL**

COMMUNICATION PAR MODEM GSM





Monitoring - Mozilla Firefox

Echier Édition Affichage Historique Marque-pages Outils ?

http://www.tpgeo.com/chabrillan/accesDonnees.php

Hotmail Personnaliser les liens Windows Media Windows

TP.GEO
www.tpgeo.com

French

MONITORING

mardi 6 mars 2007 :: 4:03:00 pm

[Déconnexion -->>](#)

Drainage du carreau amont du déblai de Chabrillan :

Pour visualiser l'historique de chaque drain équipé (DE) ou Piézomètre (PZ), vous devez cliquer sur celui-ci à droite >>

Légende :

- Debitre : +
- Local Technique : ■
- DEi = Drain Electropneumatique avec capteur ●
- PZi = Piezometre □

NB: Les valeurs sont mises à jour quotidiennement

Zoom [barre] Deplacement [boutons]



Terminé

démarrer 2 F... 2 M... Aut... 3 E... Cou... Micr... 10 A. FR Bureau 16:03

Monitoring - Microsoft Internet Explorer

Fichier Edition Affichage Favoris Outils ?

Liens Adresse buro Google burc Paramètr

TP.GEO
www.tpgeo.com

French MONITORING mercredi 28 février 2007 :: 8:04:28 pm

Déconnexion -->

Drainage du carreau amont du déblai de Chabrilan :

Pour visualiser l'historique de chaque drain équipé (DE) ou Piézomètre (PZ), vous devez cliquer sur celui-ci à droite >>

Légende :
 Debimetre : +
 Local Technique : ■
 DEi = Drain
 Electropneumatique avec capteur ●
 PZi = Piezometre □

NB: Les valeurs sont mises à jour quotidiennement

Telecharger tout ou partie des données

Affichage des modalités de connexion RTC

Selection des données - Microsoft Internet...

Sélection des forages afin de télécharger les données :

Drains Electropneumatiques :

DE2 DE7 DE13
 DE18 DE24 DE30
 DE36 DE42 DE47

Piezometres :

PZ1 PZ2 PZ3
 PZ16 PZ17 PZ18
 PZ19

Debimetre :

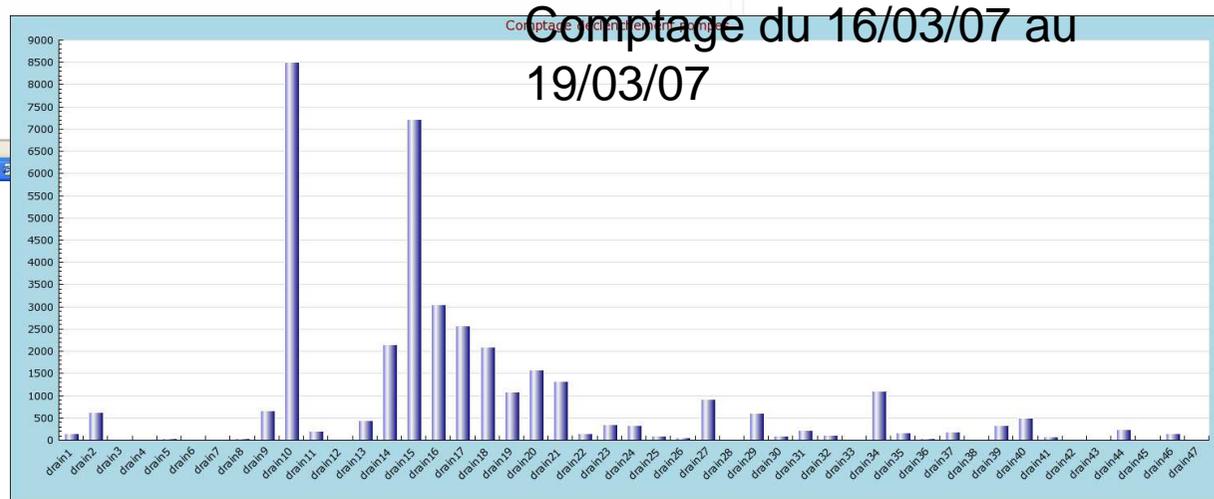
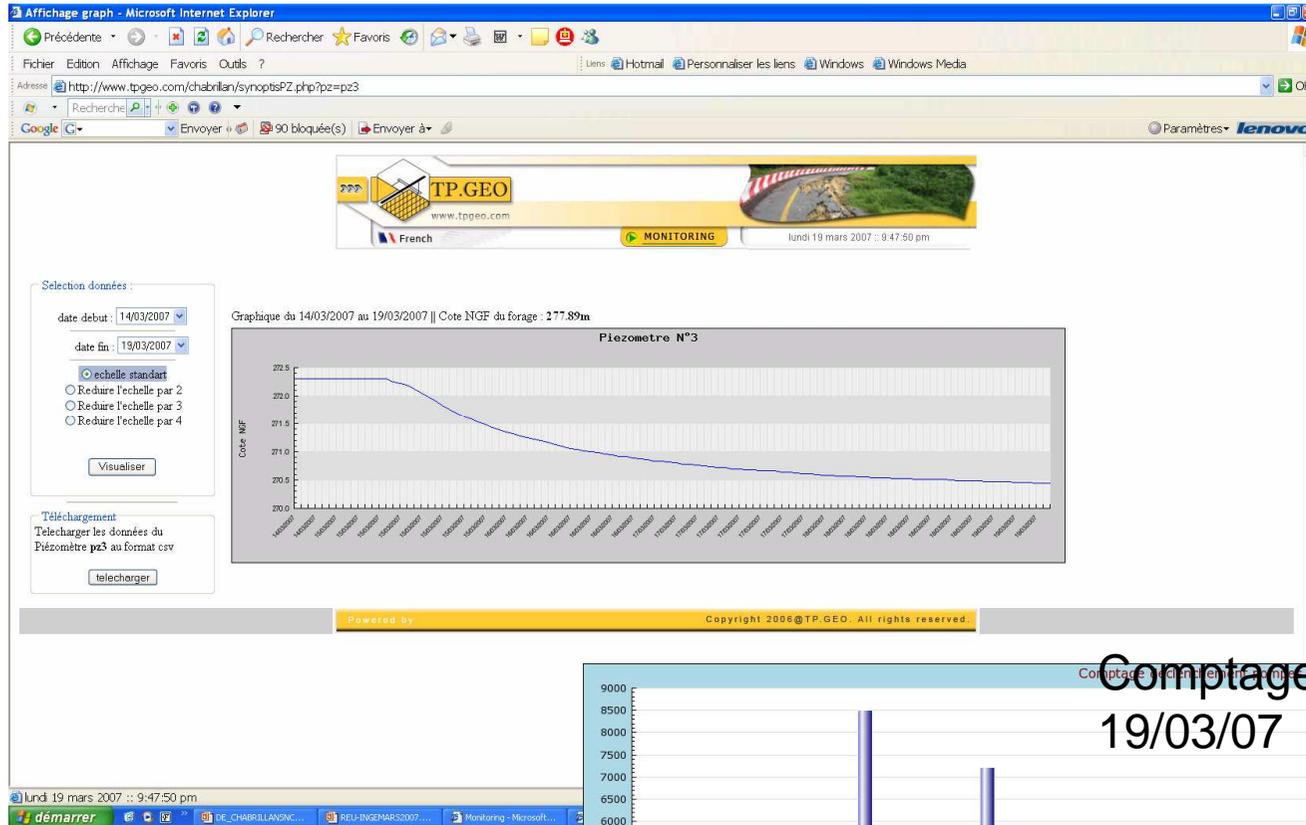
Debitmetre

Valider

Powered by rights reserved.

mercredi 28 février 2007 :: 8:04:28 pm

démarrer Connexions rés... Monitoring - M... https://webmai... Affichage grap... Selection des d... Selection des d... REMARQUES-S... page web sncf... FR 76% Intranet local 20:04



•PREMIERS RESULTATS

ACCES A DISTANCE VIA INTERNET EXPLOREUR SIMPLE

DEBITS EXTRAITS : maxi 18 m³/h

0.1 à 0.5m³/h du 14/03/07 au 14/05/07

RABATTEMENT A 10 to 15m DE PROFONDEUR

132m³ pompés en 2 mois

CONSOMMATION EN AIR COMPRIME : le compresseur fonctionne seulement 10% en charge

Consommation électrique et maintenance

6671KW.H DEPUIS LE 6/02/07 au 21/4/07– 949€HT

380€/mois environ (ici incluant tous les phases d'essais préalables au démarrage)

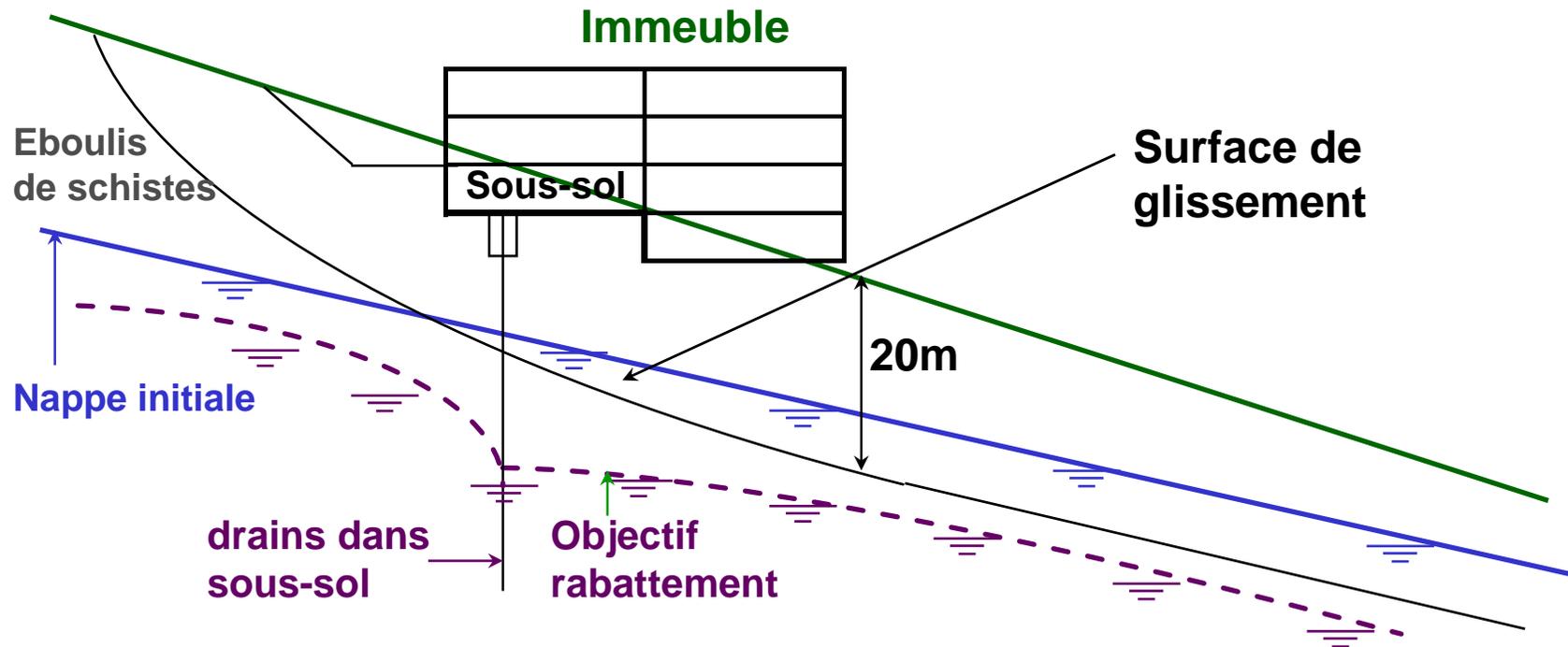
Puissance consommée 7.30kW soit 4kW/5kW prévisible moyen- 155w PAR POMPES(0-30m)

Maintenance annuelle sur Compresseurs : 1000 – 1500€

Visite annuel de techniciens : 1 journée 800€

vérification des pompes : tous les 2 ans conseillé – Plus suivant le suivi pendant 6 mois.

Pompe électropneumatique®, application : LES DEUX ALPES



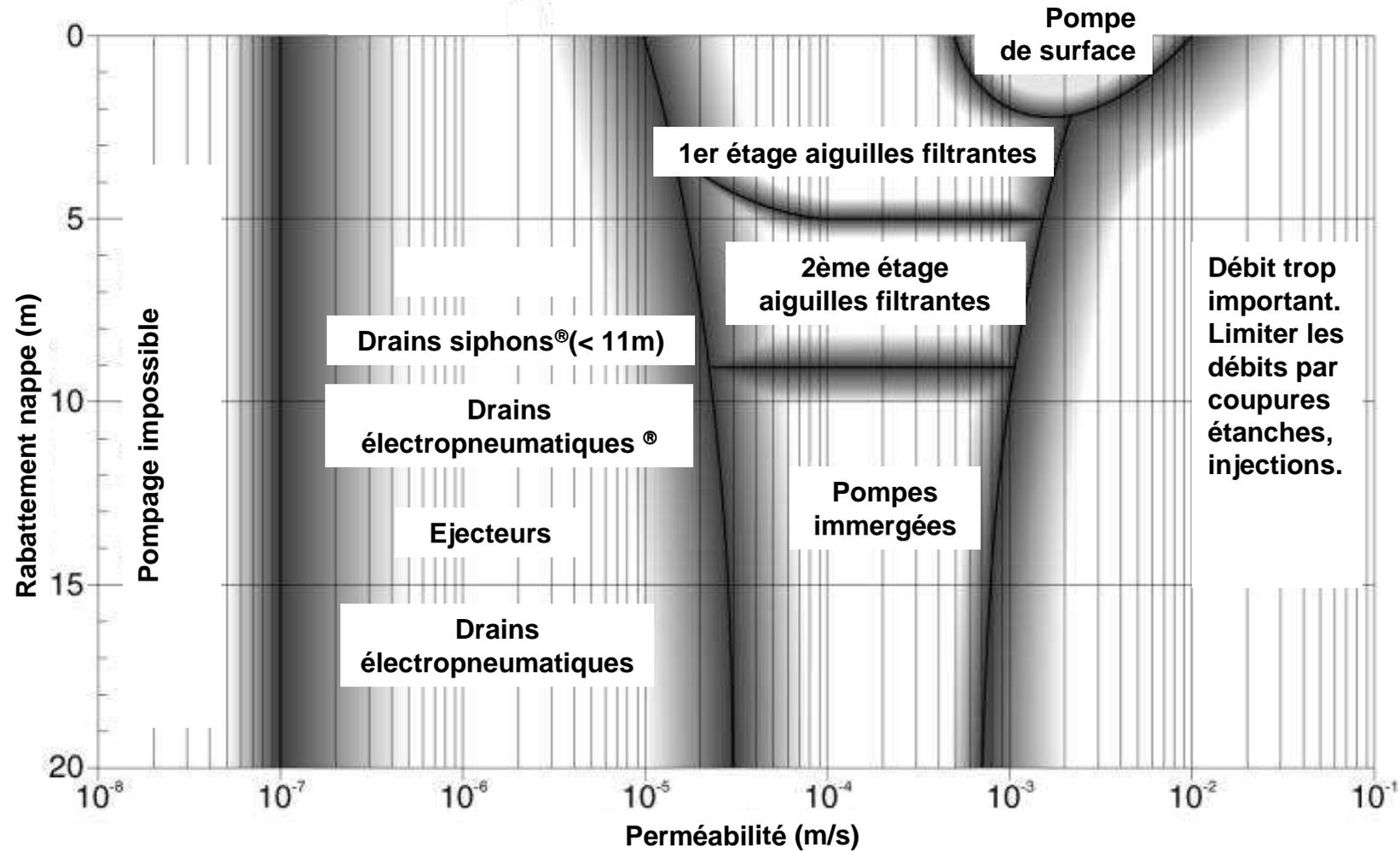


**Possibilités
d'alimentation par
éoliennes.**



2.3. Conclusions

Domaine d'application des techniques de pompage



Résumé des techniques de drains ou puits verticaux pompés

	Aiguilles filtrantes	Puits	Ejecteurs	Drains siphons®	Pompe électro-pneumatiques®
Profondeur (m)	6	100m	50	11	100m
Débit (l/s)	0 à 1	1 à 50	0 à 1	0 à 0,3	0 à 1
Débit (m³/h)	0 à 3	3 à 150	0 à 3	0 à 1	0 à 3
Espacement (m)	1 à 3	10 à 30	2 à 10	2 à 5	2 à 10
Vide	par construction	Possible par système additionnel	0,8 bar	/	/
Rendement	50%	80%	15%	Pas de consommation d'énergie	40 à 60 %

Je vous remercie de votre attention.