

# **R.N. 141**

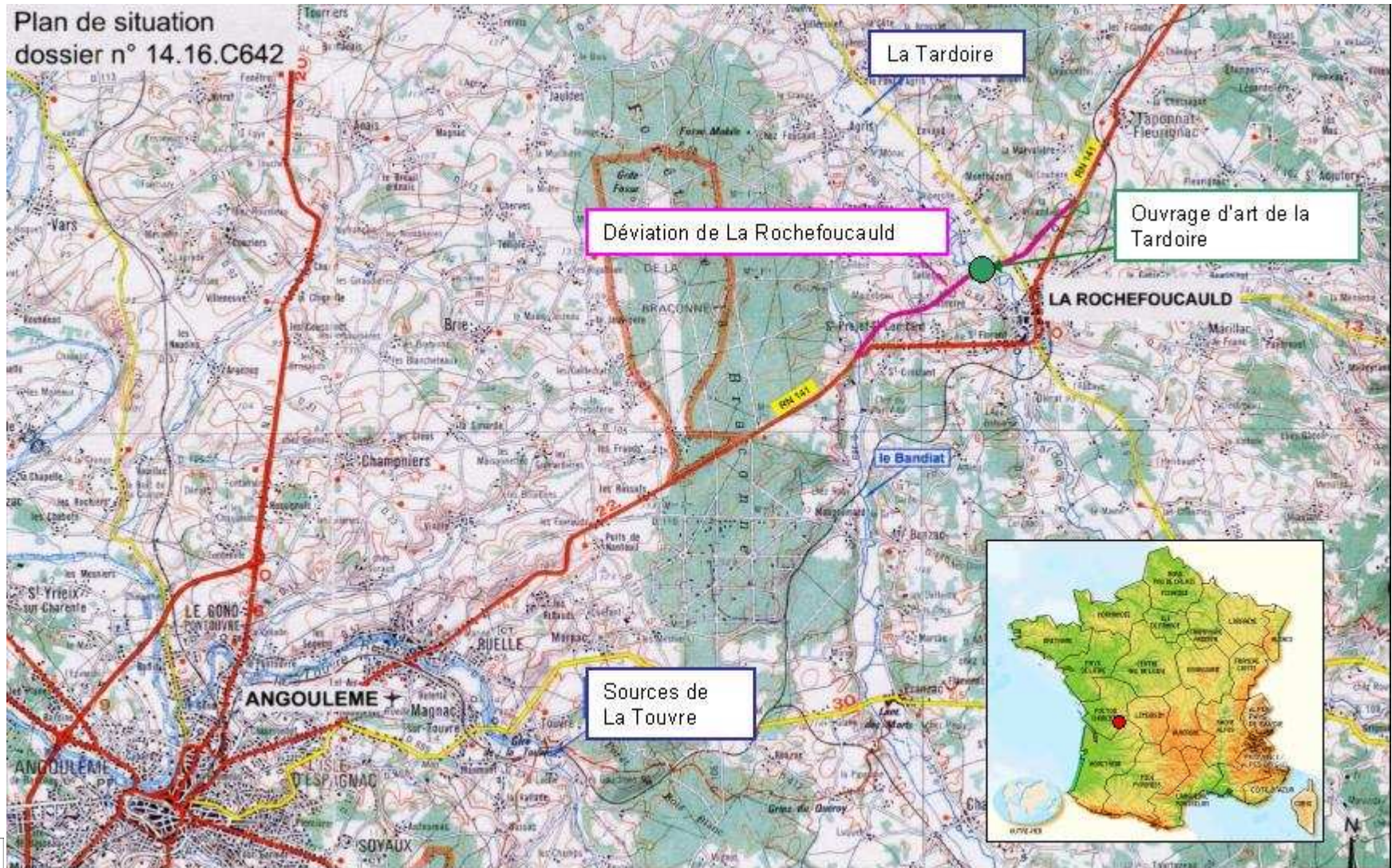
## **Déviation de la ROCHEFOUCAULD (16)**

**Ouvrage d'art non courant  
en site karstique :  
Le franchissement de la Tardoire**

---

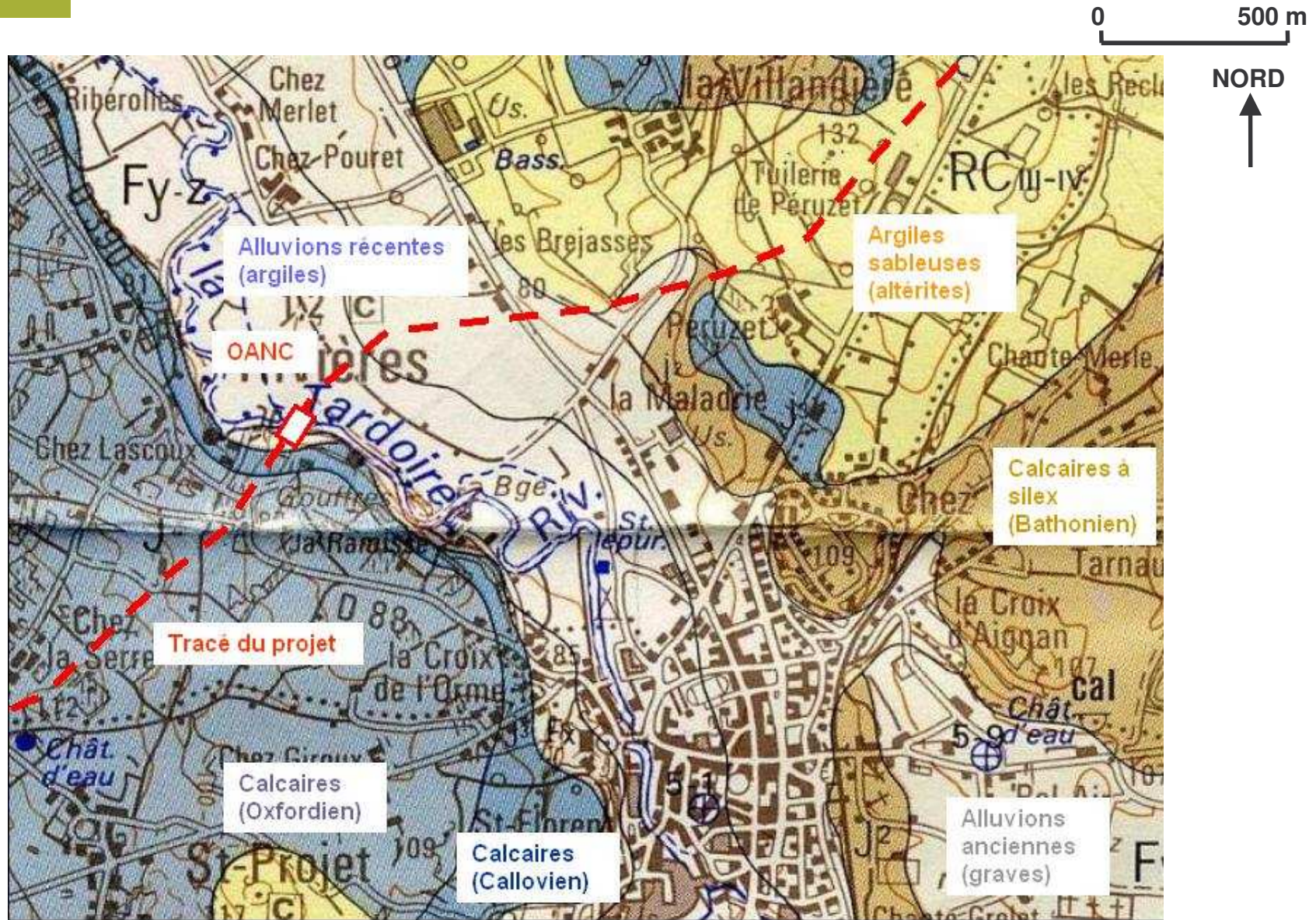
**Assistance en phase travaux**

## PLAN DE SITUATION



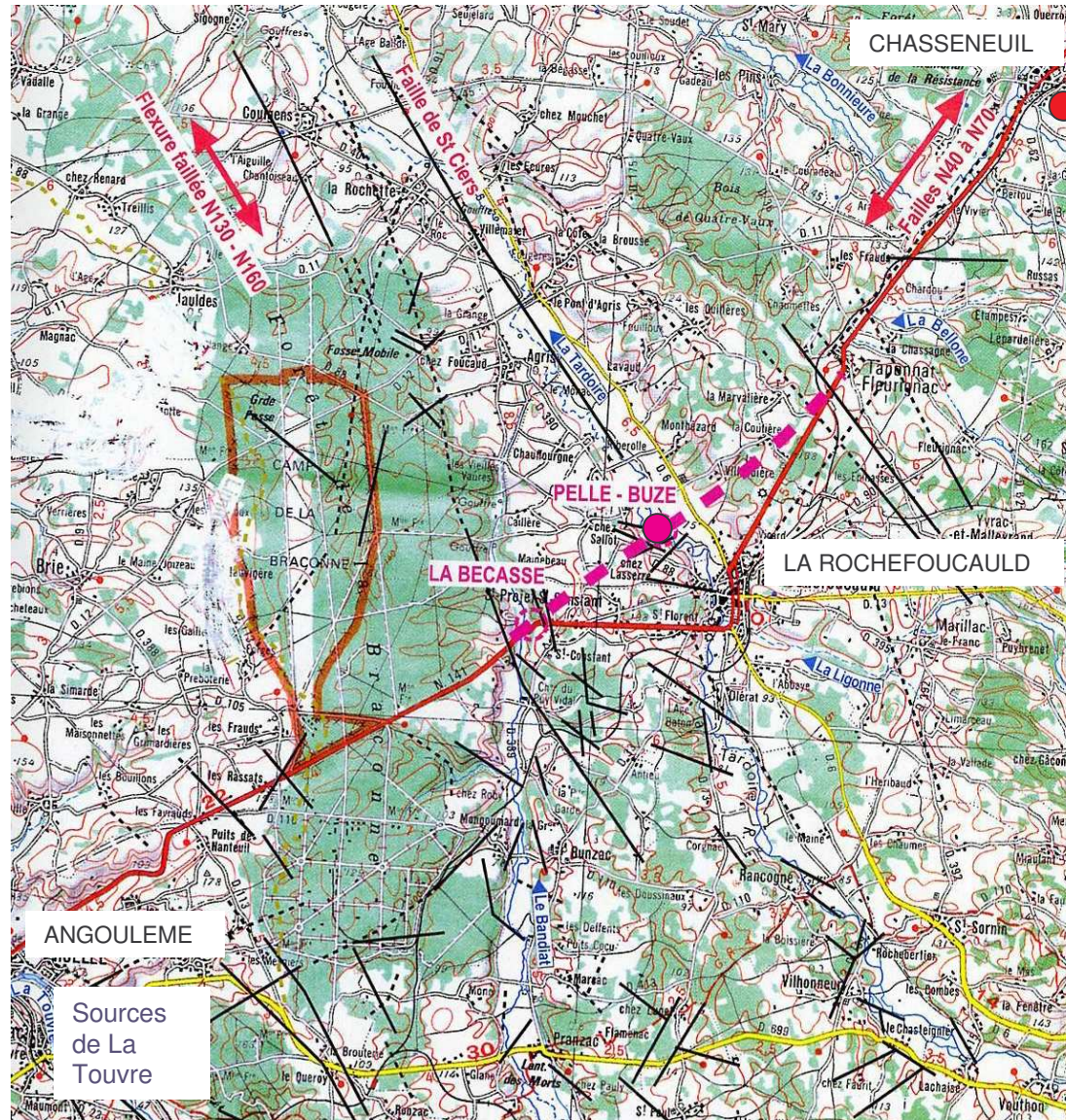


## CONTEXTE GEOLOGIQUE





# CONTEXTE STRUCTURAL

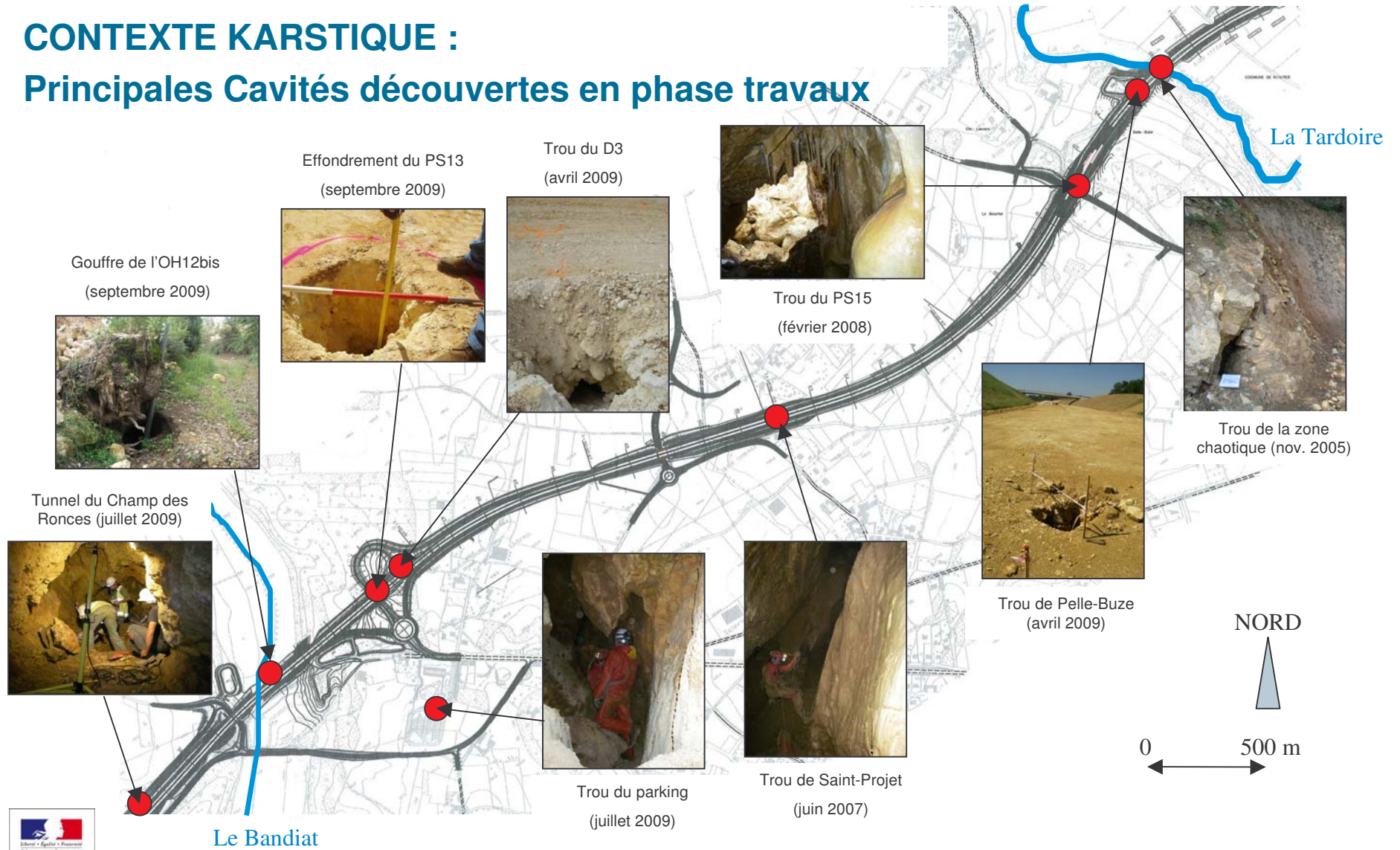


Cavité « La Fie »

# I - ANALYSE DE LA PROBLEMATIQUE KARSTIQUE

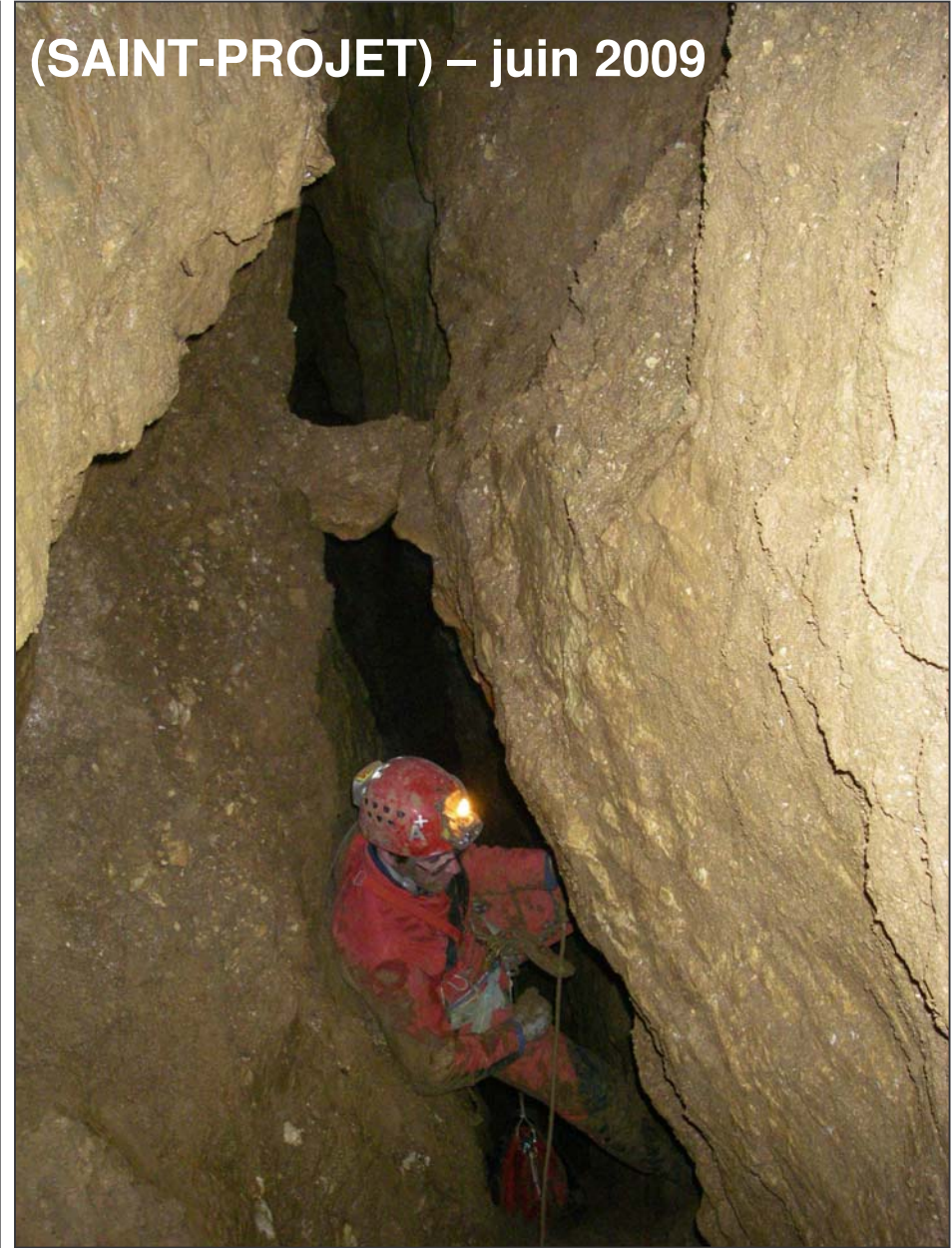


## CONTEXTE KARSTIQUE : Principales Cavités découvertes en phase travaux

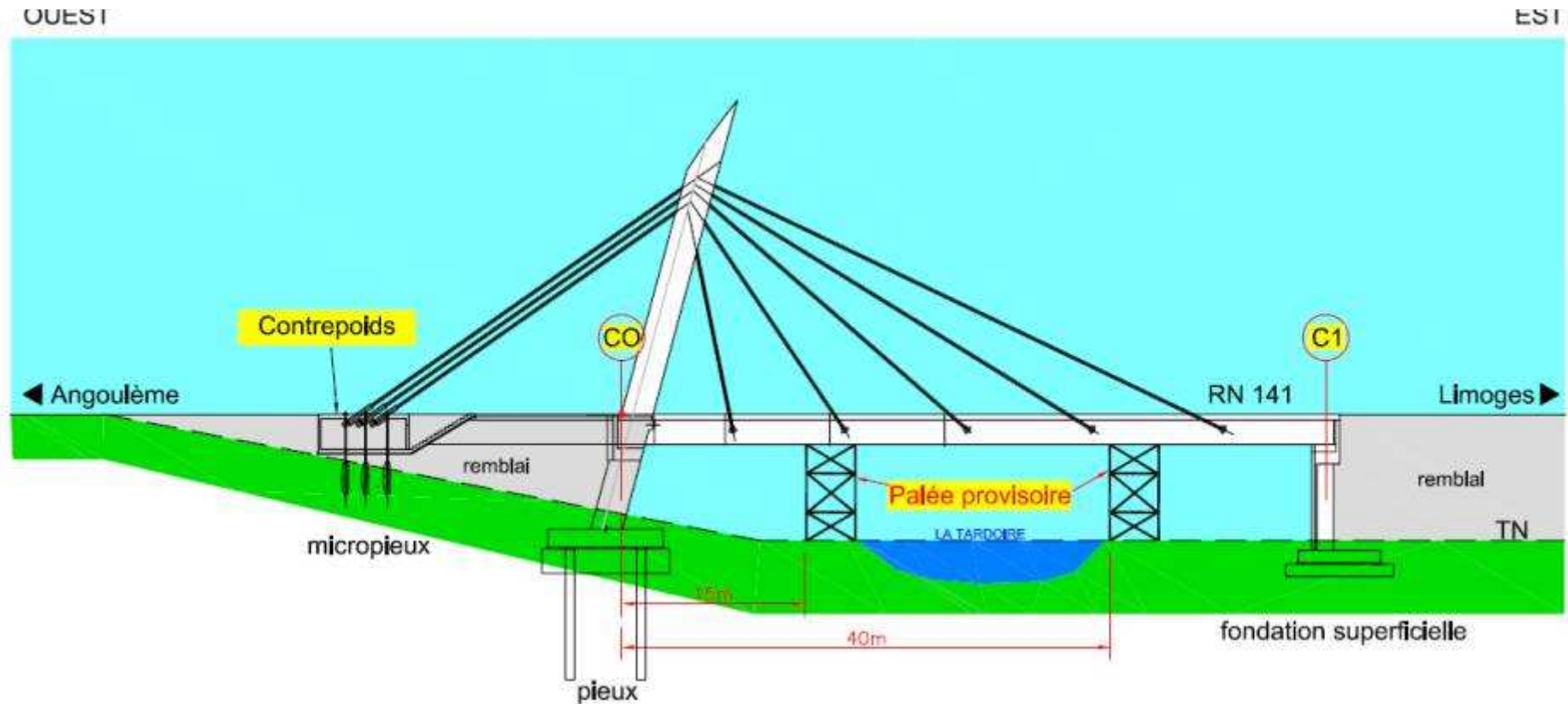




Cavité du château d'eau (SAINT-PROJET) – juin 2009

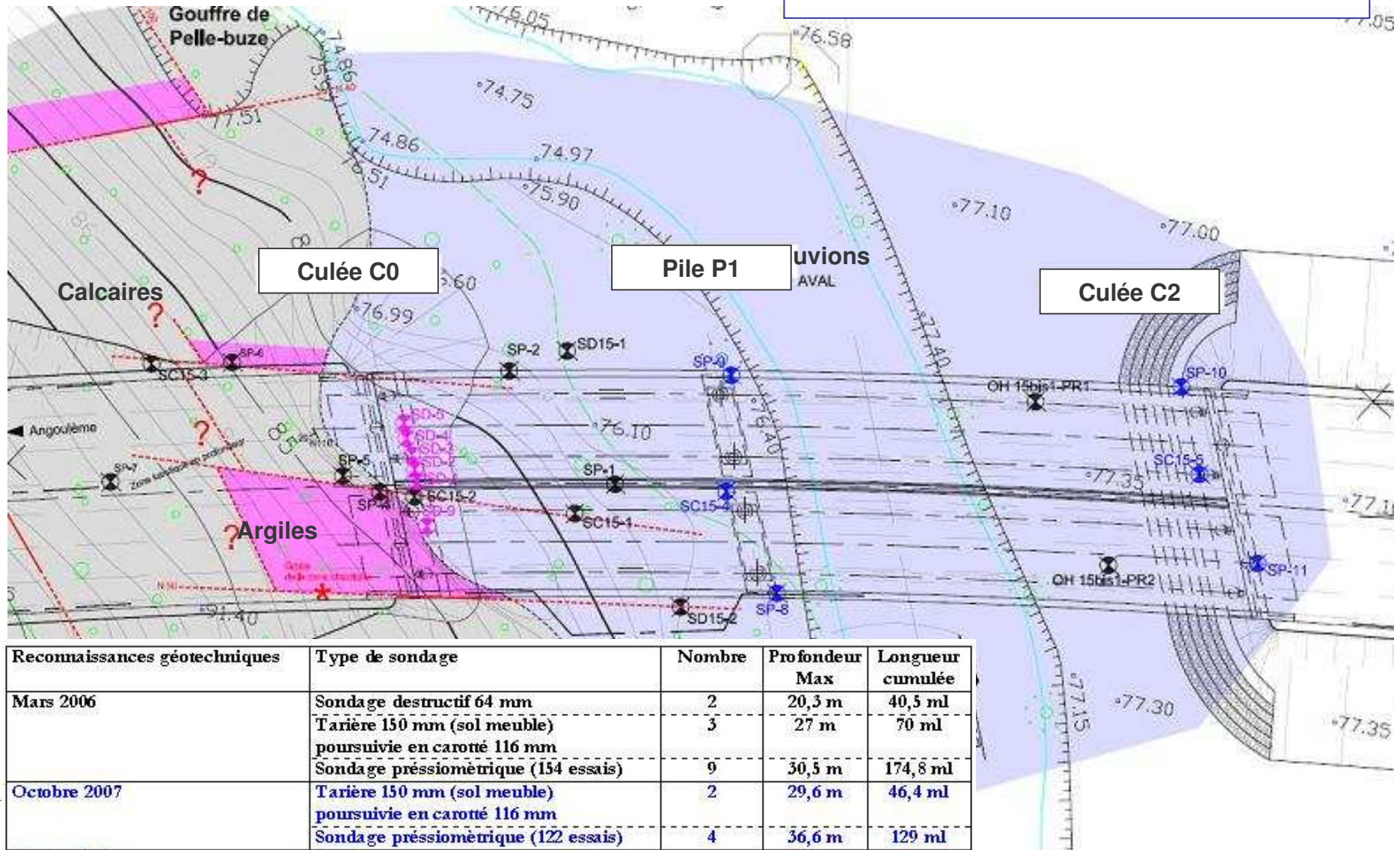


## FRANCHISSEMENT DE LA TARDOIRE: OUVRAGE PREVU INITIALEMENT



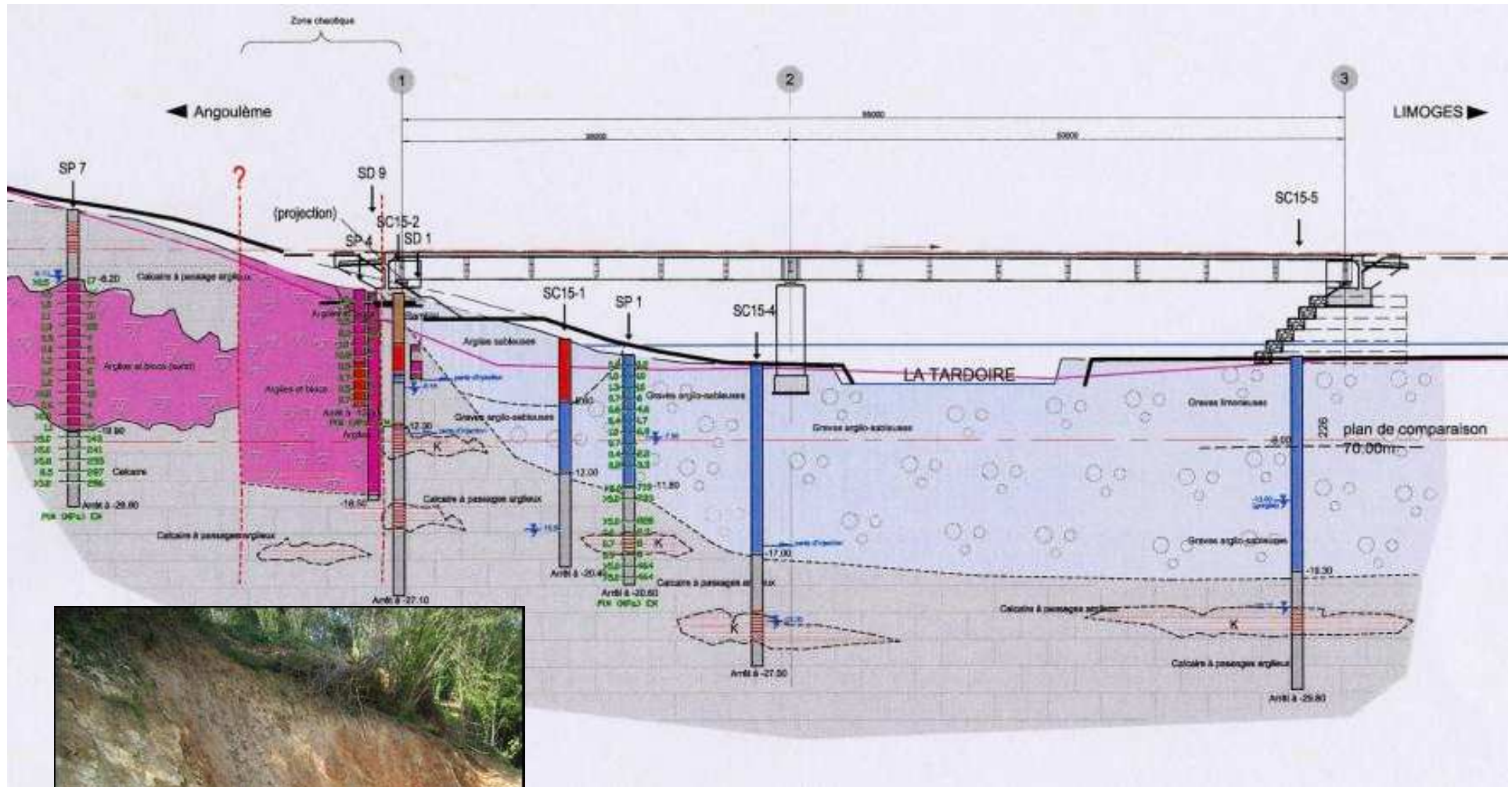


**LES CAMPAGNES DE  
SONDAGES**



Reconnaitances géotechniques	Type de sondage	Nombre	Profondeur Max	Longueur cumulée
Mars 2006	Sondage destructif 64 mm	2	20,3 m	40,5 ml
	Tarière 150 mm (sol meuble) poursuivie en caroté 116 mm	3	27 m	70 ml
	Sondage préssiométrique (154 essais)	9	30,5 m	174,8 ml
Octobre 2007	Tarière 150 mm (sol meuble) poursuivie en caroté 116 mm	2	29,6 m	46,4 ml
	Sondage préssiométrique (122 essais)	4	36,6 m	129 ml
Février 2008	Sondage destructif 64 mm	6	18,5 m	44,5 ml
<b>TOTAL</b>		<b>26</b>		<b>505,2 ml</b>

## PROFIL EN LONG GEOTECHNIQUE & NOUVEL OUVRAGE (phase ETUDE)





### Les alluvions récentes (1,6 à 5,6 m d'épaisseur)

-  $0,2\text{MPa} \leq \text{Pl}^* \leq 1,3\text{MPa}$   $\text{Pl}_{\text{moy}}^* = 0,6\text{MPa}$

-  $3,7\text{MPa} \leq \text{Em} \leq 22,5\text{MPa}$   $\text{Em}_{\text{moy}} = 8,4\text{MPa}$

### Les alluvions graveleuses (jusqu'à 25m) dans la plaine alluviale

- Graves sableuses devenant Argiles sableuses

-  $0,2\text{MPa} \leq \text{Pl}^* \leq 2,3\text{MPa}$   $\text{Pl}_{\text{moy}}^* = 1,1\text{MPa}$

-  $1,6\text{MPa} \leq \text{Em} \leq 22,3\text{MPa}$   $\text{Em}_{\text{moy}} = 7,3\text{MPa}$

### Les colluvions de pente (blocs et argiles jusqu'à 15,5m d'épaisseur)

-  $0,1\text{MPa} \leq \text{Pl}^* \leq 2,3\text{MPa}$   $\text{Pl}_{\text{moy}}^* = 1\text{MPa}$

-  $1,4\text{MPa} \leq \text{Em} \leq 100\text{MPa}$   $\text{Em}_{\text{moy}} = 15,1\text{MPa}$

## Les argiles de remplissages karstiques (argiles sableuses à galets siliceux jusqu'à 4,5m d'épaisseur)

- en bordure de fractures affectant le calcaire et en remplissage
- $0,4\text{MPa} \leq \text{PI}^* \leq 1\text{MPa}$      $\text{PI}^*_{\text{moy}} = 0,6\text{MPa}$
- $2,3\text{MPa} \leq \text{Em} \leq 8,3\text{MPa}$      $\text{Em}_{\text{moy}} = 5,5\text{MPa}$

## Les blocs de remplissage karstique (argiles et blocs jusqu'à 13,7m d'épaisseur)

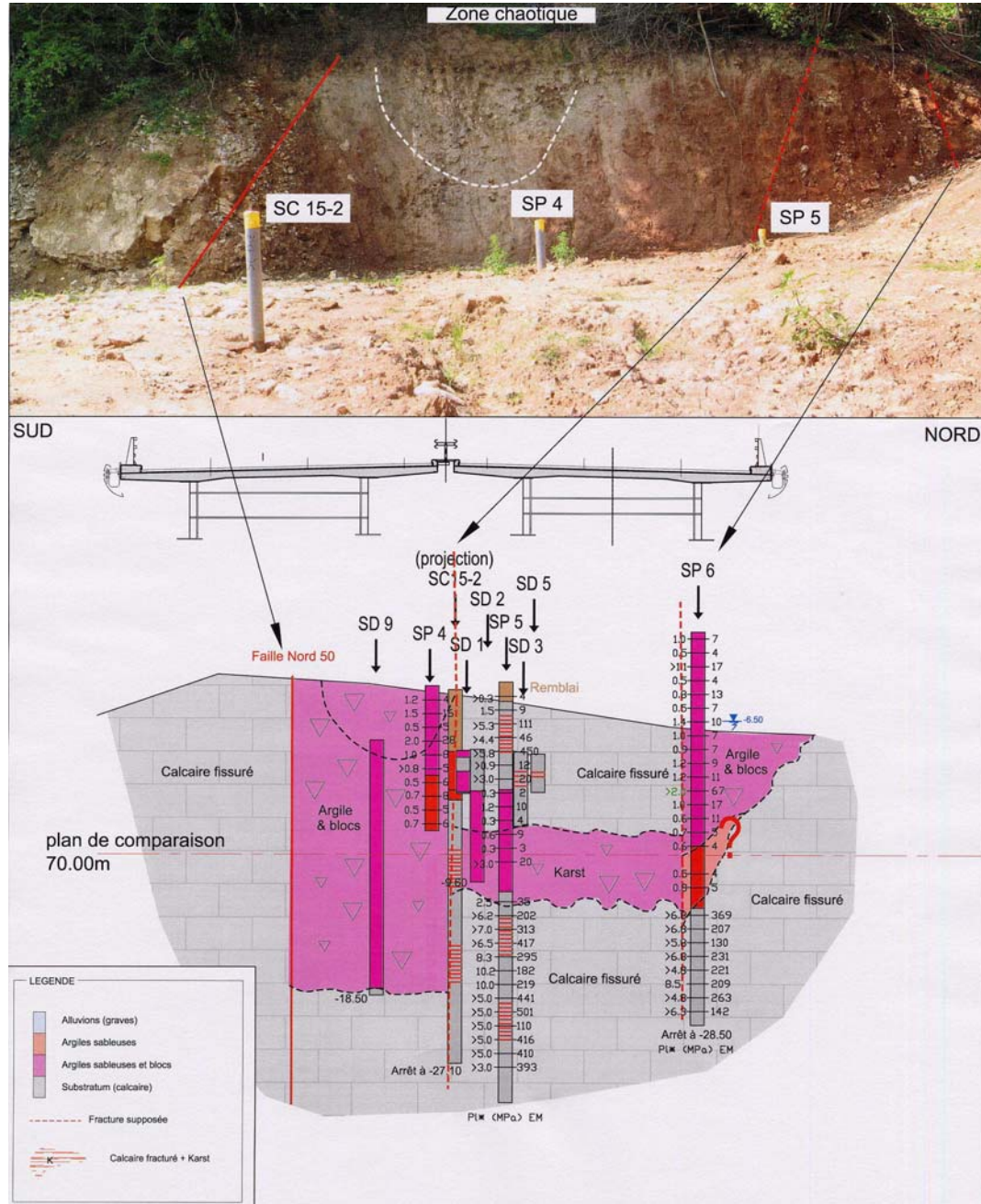
- blocs calcaires de taille hétérogène
- $0,3\text{MPa} \leq \text{PI}^* \leq 1,6\text{MPa}$      $\text{PI}^*_{\text{moy}} = 0,9\text{MPa}$
- $2,1\text{MPa} \leq \text{Em} \leq 39,5\text{MPa}$      $\text{Em}_{\text{moy}} = 10,6\text{MPa}$

## Les calcaires

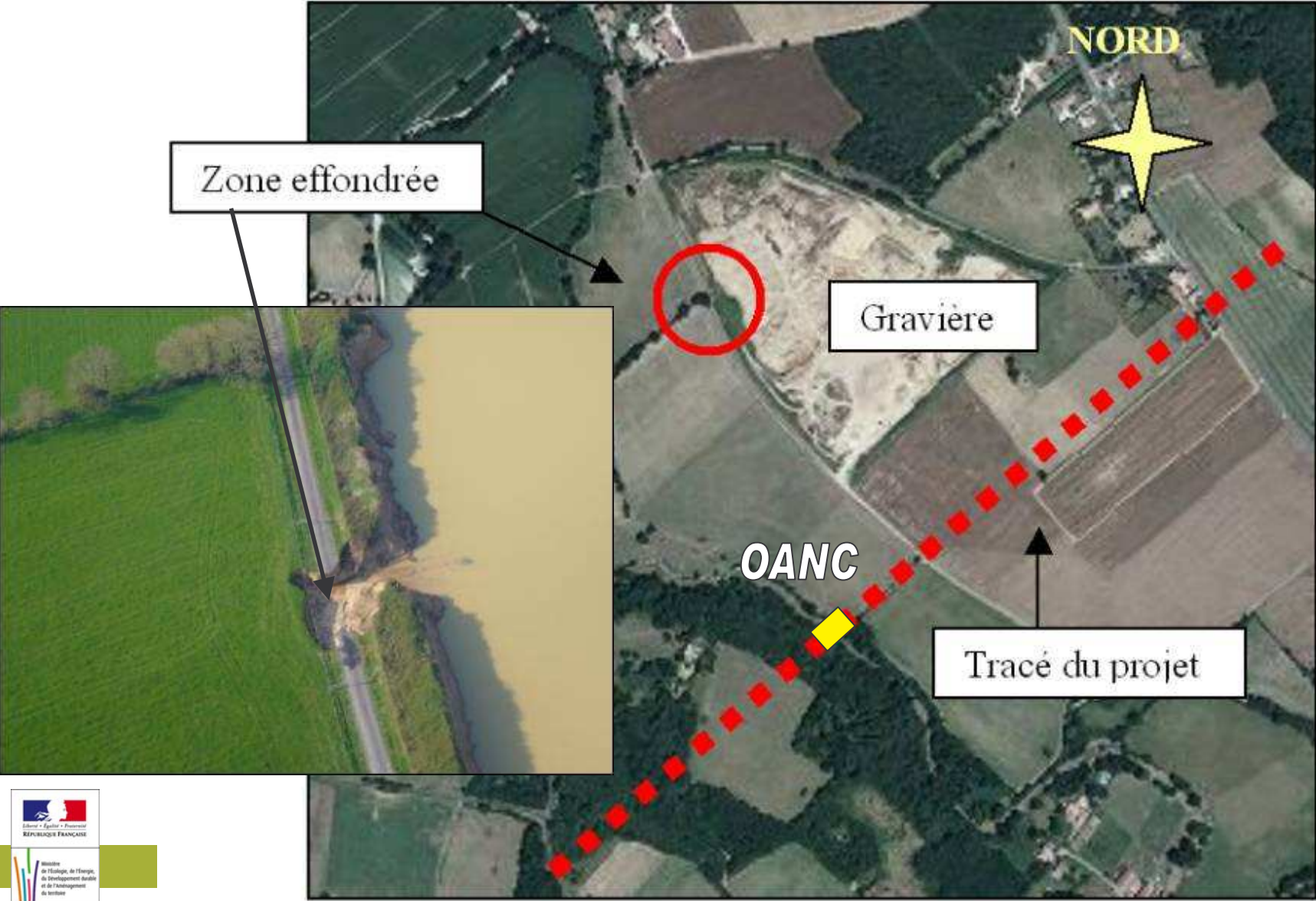
- $0,9\text{MPa} \leq \text{PI}^* \leq 10,8\text{MPa}$      $\text{PI}^*_{\text{moy}} = 6,4\text{MPa}$
- $9,1\text{MPa} \leq \text{Em} \leq 1033\text{MPa}$      $\text{Em}_{\text{moy}} = 344\text{MPa}$
- $1,7\text{MPa} \leq \text{Rc} \leq 19,6\text{MPa}$      $\text{Rc}_{\text{moy}} = 6,8\text{MPa}$



**Coupe transversale  
de la culée rive gauche  
(phase ETUDE)**

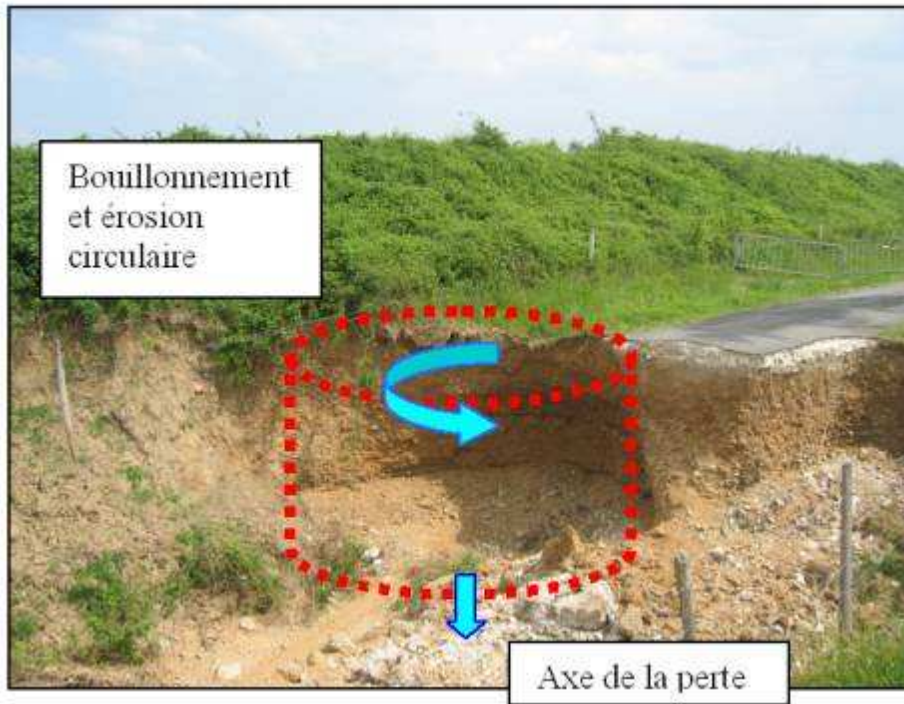


# EFFONDREMENT DE LA GRAVIERE (avril 2007)



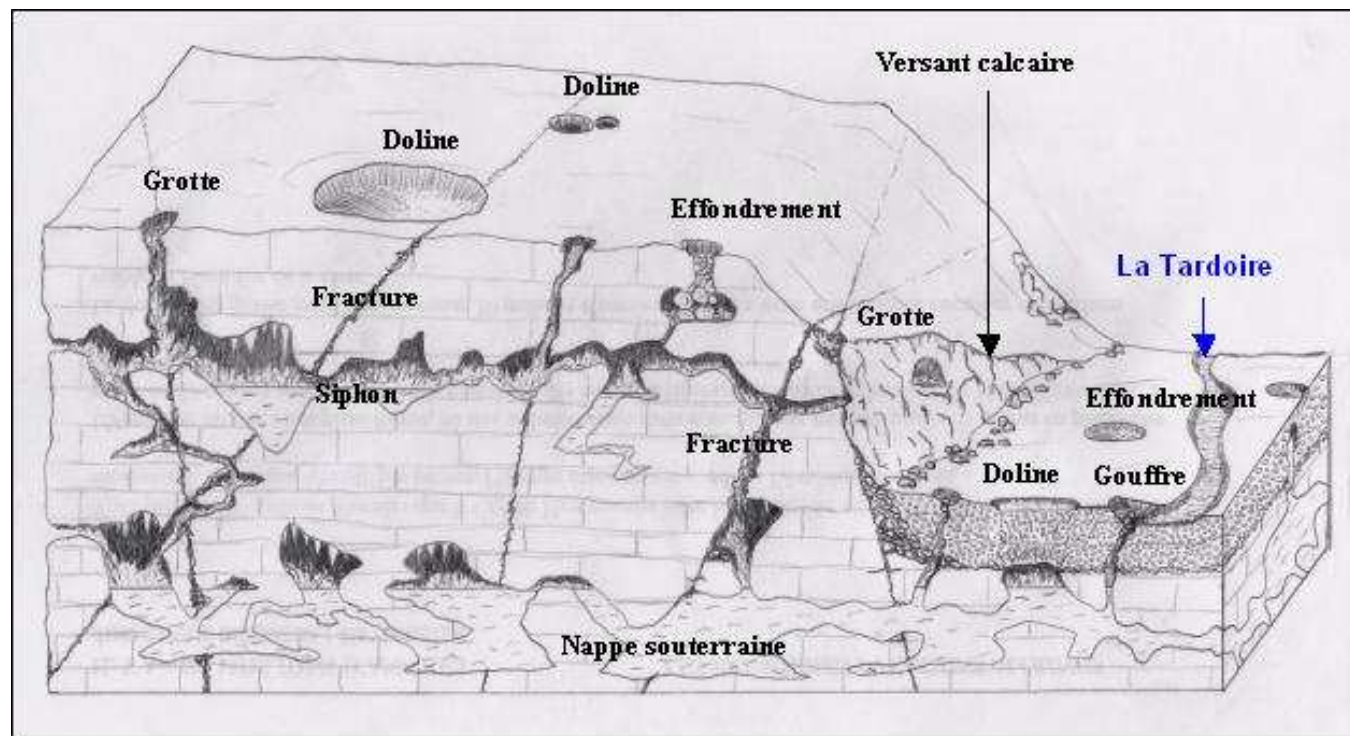


## UN EFFONDREMENT D'ORIGINE KARSTIQUE



## ETUDE DU RISQUE KARSTIQUE

- **Commande** : Caractériser le risque karstique au droit de l'ouvrage de franchissement de la Tardoire et dans une zone de  $\varnothing = 1\text{km}$
- Les différents types d'évènements d'origine karstique:





## METHODOLOGIE DE L'ETUDE

- **Recueil des données:**

Recherche bibliographique, analyse d'orthophotographies ,visite de terrain, enquête, fracturation, interprétation des sondages.

- **Descriptions des évènements:**

Nature et type de phénomènes, dimension, période d'activité, nature des dégâts....

- **Résultats:**

93 évènements recensés dont 18 parfaitement renseignés (fiches).

- **Cartographie:**

Localisation des évènements recensés et des indices issus de la photo-interprétation et de l'analyse structurale.

## EXEMPLE DE FICHES RENSEIGNEES SUITE A L'ENQUETE DE TERRAIN

**RN 141--"Déviation de LA ROCHEFOUCAULD"**  
**FICHE DE COLLECTE DE DONNEES RISQUE KARSTIQUE**

**FICHE n° : 8**

Date : ..20 mai 2008.. Commune de : ...RIVIERES...

Nom et adresse de la personne questionnée : **Monsieur VAUVILLIER**  
16160 GOND-PONTOUVRE

**1- NATURE DU TERRAIN :**

→ type de sol en général :  perméable  imperméable  
 → drainage des terrains ?  oui  non  
 → inondation :  non  oui observation : rive gauche du lit mineur de la Tardoire  
 → sources :  non  oui, localisation .....  
 → remontées de nappe à faible profondeur (moins de 1 mètre) ?  oui  non

**2- DESCRIPTION DE L'EVENEMENT :**

type d'évènement :  grotte  gouffre / perte  effondrement  affaissement / doline

→ localisation : en rive gauche de la Tardoire – berge du cours d'eau

→ date de l'évènement : AVANT 1960 (arrivée riverain)

Archives / études : Colorations et études du karst  photos : voir anciennes études

→ activité de l'évènement :  nulle après 1<sup>er</sup> évènement  faible  
 importante  
 période d'activité : actif à chaque arrivée d'eau  
 occurrence : recul de la berge de 3 m

→ Taille et profondeur (en mètres) : ouverture de 0,30 m et profondeur de 2 m


forme circulaire  forme elliptique / allongée  forme quelconque : linéaire (fracture)

→ état actuel (comblé, bouché, libre ...) : libre (noyé)

→ nature des dégâts : érosion de berge

Observations diverses :  
 Zone d'infiltration et de perte karstique appelée "Gouffre de Pelle-Buze". On observe une perte principale très active le long d'une fracture dans la roche calcaire, et 2 pertes annexes inactives (colmées par des sédiments fins). L'infiltration dans le karst crée une zone de tourbillon des eaux.

*Photo de l'évènement*  
*(20.05.08)*



**RN 141--"Déviation de LA ROCHEFOUCAULD"**  
**FICHE DE COLLECTE DE DONNEES RISQUE KARSTIQUE**

**FICHE n° : 12**

Date : ..10 juin 2008.. Commune de : ...RIVIERES...

Nom et adresse de la personne questionnée : **Monsieur DUBOIS**  
Le taillis de Pénaud  
16110 RIVIERES

**1- NATURE DU TERRAIN :**

→ type de sol en général :  perméable  imperméable  
 → drainage des terrains ?  oui  non  
 → inondation :  non  oui observation : Vallée de la Tardoire inondable presque entièrement  
 → sources :  non  oui, localisation .....  
 → remontées de nappe à faible profondeur (moins de 1 mètre) ?  oui  non

**2- DESCRIPTION DE L'EVENEMENT :**

type d'évènement :  grotte  gouffre / perte  effondrement  affaissement / doline

→ localisation : Rive droite de la Tardoire – proche de l'ancienne gravière et des ouvrages de décharge

→ date de l'évènement : vers 1995 (ouverture de la gravière)

Archives / études :  photos : .....

→ activité de l'évènement :  nulle après 1<sup>er</sup> évènement  faible  
 importante  
 période d'activité : période de crue  
 occurrence : A chaque inondation de la vallée.....

→ Taille et profondeur (en mètres) : diamètre actuel de 5 à 6 m et profondeur de 1 m  
 (lors de l'effondrement, diamètre de plus de 10 m et environ 5 m de profondeur)


forme circulaire  forme elliptique / allongée  forme quelconque :

→ état actuel (comblé, bouché, libre ...) : bouché en partie par des blocs divers

→ nature des dégâts : effondrement de sol (pré)

Observations diverses :  
 Doline en bordure d'une ancienne zone d'emprunt de matériaux alluvionnaire (exploitation de M. DUBOIS – abandonnée vers 1950). L'affaissement est contemporain d'un ancien forage alimentant la gravière (abaissement rapide de la nappe).

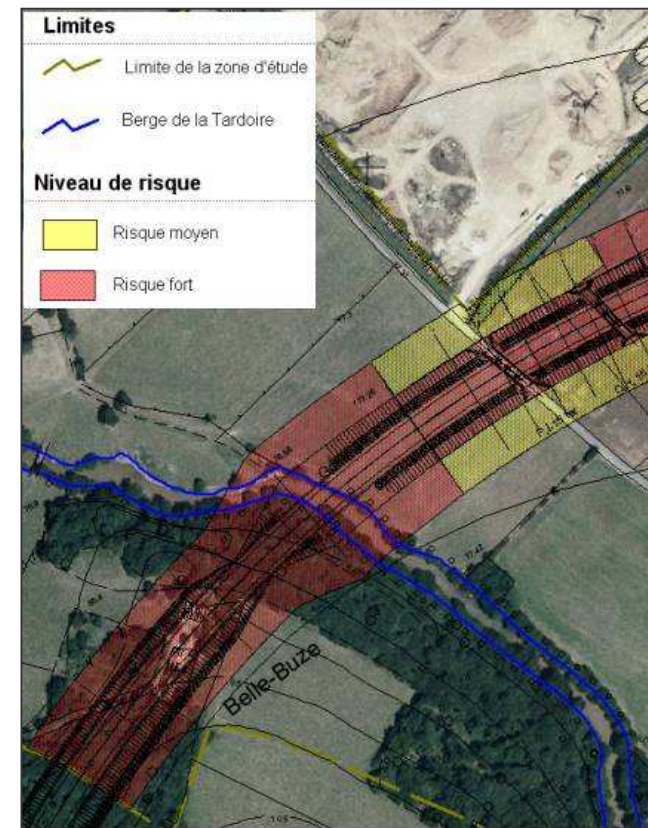
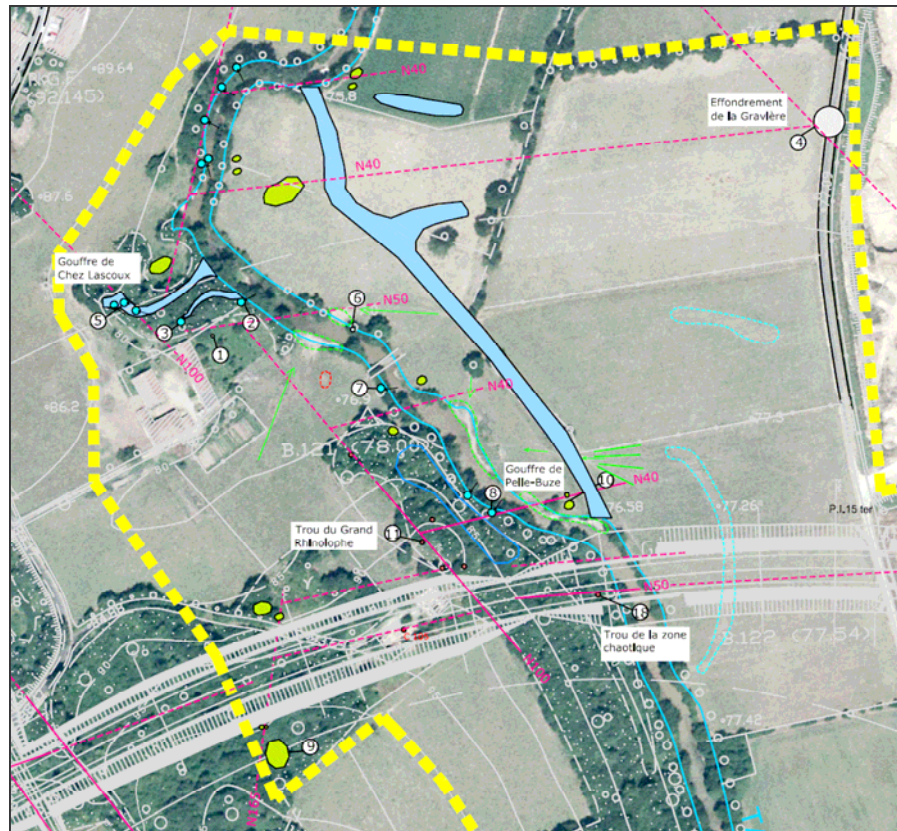
*Photo de l'évènement*  
*(10.06.08)*





## ZOOM AU DROIT DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE LA TARDOIRE

CARTE DES EVENEMENTS → APPROCHE QUALITATIVE → CARTE DES RISQUES



# Probabilité d'apparition d'un événement au droit de l'OANC

## . Recensement des évènements (enquête de terrain) :

- 26,6 % de évènements sont apparus après l'année 2000 sur toute la zone de 53,8 ha (4 sur 15 évènements avec fiche - hors grottes)
- zone homogène de 54250 m<sup>2</sup> (5,4 ha) entre OANC et Lascoux
- 4 nouveaux évènements recensés en 18 ans, soit  $t = 0,22 / \text{an}$   
(1 tous les 4,5 ans)



Série statistique des évènements passés (app.

- méthode des fréquences



OANC = Zone homogène de 3600 m<sup>2</sup> : 15 fois plus petite =  $0,22 / 15 = 0.0146$   
(1 évènement apparaît tous les 68 ans)

## . Probabilité d'occurrence sur une année au droit de l'ouvrage (BOURGES LCPC – NANTES – 1993)



$= 14,6 \cdot 10^{-3} \gg ELU = 10^{-5}$   
 $= 1,46 \cdot 10^{-2} \gg FIS \text{ rares} = 10^{-2}$

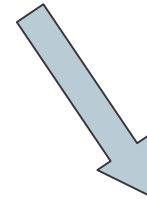
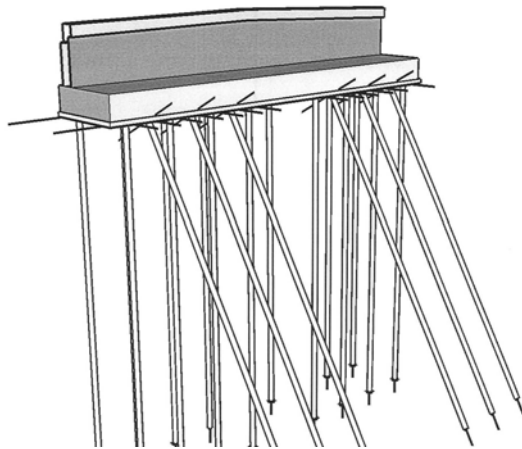
Laboratoire Régional des Ponts-et-Chaussées de Bordeaux – S. GARDET – F. CLEMENT



## INCIDENCE SUR LA CULEE RIVE GAUCHE C0

fondation mixte comportant un semelle de 30 m x 10m x 1 m  
fortement ferraillé fondé sur 24 micropieux (rappel: fondation initiale  
de type pieux forés 8 \* 1400 mm – Contrepoids (11 MN) sur tirants-  
micropieux 10 \* 250 mm)

Objectif : Reprendre les efforts verticaux et horizontaux provenant de  
l'ouvrage



**DCE : Reconnaissance géotechnique  
complémentaire par l'entreprise**

## **II - FRANCHISSEMENT DE LA TARDOIRE: PHASE Travaux**

**(2009)**



## **TRAVAUX DE FONDATION DE LA CULEE C0 :**

### **Mission d'assistance géotechnique – Contrôle extérieur**

- Validation des notes de calculs « structure » par DOA - avril 2009
- Définition de la campagne de reconnaissance complémentaire – avril 2009
- Suivi de l'exécution des forages de reconnaissance (destructifs) – mai 2009
- Avis sur l'exploitation des résultats de la campagnes de reconnaissance – juin 2009
- Suivi des travaux de micropieux – juin et juillet 2009
- Avis sur les plans de récolement – août 2009

- **Sondages destructifs préalables (identification des couches)**

- Implantation des SD Ø 73 mm au droit des 24 micropieux (6 inclinés à 30°)
- Procédure d'exécution indiquée dans PAQ de l'entreprise



- . Enregistrement des paramètres de foration – essai à vide - rotation pure – injection d'eau

- . Estimatif des linéaires de sondages - calage selon le modèle géotechnique de la phase ETUDE et les efforts aux ELU (calcul du cumul des frottements latéraux par horizons – fascicule 62)

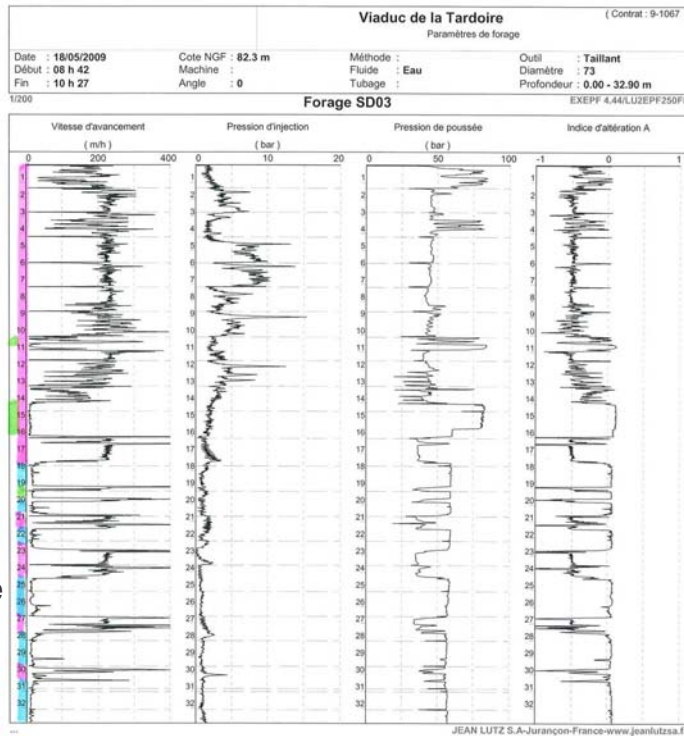
- . Critères d'arrêt :

- minimum 10 m de forage dans le calcaire
- longueur minimale du sondage de 15 m
- 5 m de calcaire franc sous la base du micropieu (risque de karst)



## Suivi de Chantier des SD :

- Calcul à l'avancement des cumuls de frottements latéraux, par sondage (modification du modèle)



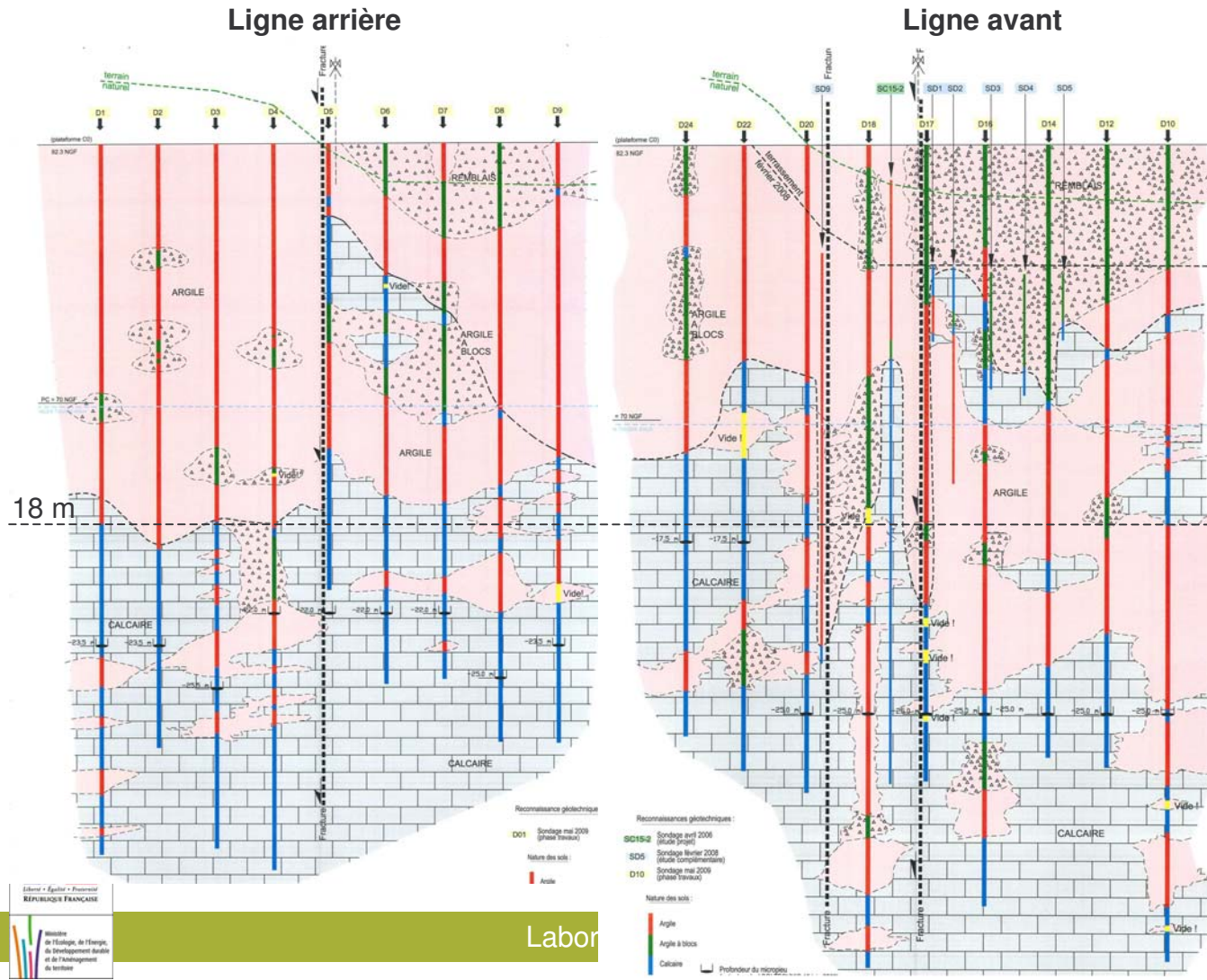
Appui	C0				
Sondage représentatif	SD07				
<b>Remblais graveleux</b>					
Epaisseur (m)	0				
qs (MPa) IGUVU	0,04				
			<b>Effort à reprendre</b>	<b>137,7 t (ELU)</b>	
<b>Argile sableuse - Alluvions</b>					
Epaisseur (m)	7,1				
qs (MPa) IGU	0,04	$Q_c = 0.5Q_{pu} + 0.7Q_{su}$ (foré)	soit	$Q_c = 1,27$ MN	avec pointe nulle
<b>Argiles à blocs - colluvions</b>					
Epaisseur (m)	8,5				
qs (MPa) IGU	0,09				
		Q max aux E.L.S. (MN)			
		- combinaisons rares		<b>1,15 MN en combis rares soit</b>	<b>115,4 tonnes</b>
		- comb. quasi-permanentes		0,91 MN au ELS quasi-permanente ou	90,7 tonne
<b>Calcaire sain</b>					
Epaisseur (m)	4,2				
qs (MPa) IRS	0,3				
		Q max aux E.L.U. (MN)			
		- comb. Fondamentales		<b>1,30 MN au ELU fondamentales ou</b>	<b>129,5 tonne</b>
		- comb. Accidentelles		1,51 MN	
<b>Vide - fracture (m)</b>					
		longueur totale forage		19,8 m	
		Somme qs * epaisseur		2,309 MPa	
		<b>Qsu</b>		<b>1,81 MN</b>	
		soit		181,35 Tonne	
				$\pi = 3,1415927$	
				ropieux	<b>250 mm</b>

- Problème d'épaisseur de Calcaire dur :  
Adaptation du critère d'arrêt : 2 m de calcaire sous la base du micropieu (soit 8 Ø)



Tricône  
juillet 2009

• **Modification du modèle géotechnique – Coupes transversales (phase TRAVAUX)**



- Zone de fractures

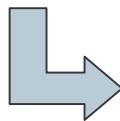
- Profondeur du toit du substratum variable

- Nombreux karsts (vides ou argileux)

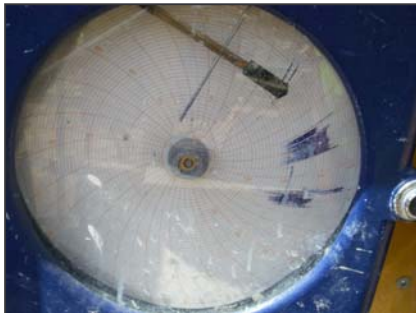


## • Méthode de réalisation des micropieux proposée par l'entreprise

- Choix des linéaires de micropieux à réaliser en fonction du nouveau modèle géotechnique (note de calcul de l'entreprise)
- Forage au tricône Ø 250 mm
- Injection IGU sur 2 zones



- . Mise en œuvre du coulis de gaine
- . Descente du tube armature (longueur 9 à 13 m)
- . Prise du coulis
- . Injection (pression d'injection > 2 MPa dans le substratum  
pression d'injection > 1 MPa dans sols de recouvrement)
- . Critères d'arrêt :
  - pressions > 1 ou 2 MPa
  - volume maximum = 200 l
  - en cas de perte d'injection, arrêt et reprise ultérieure (délai d'attente non précisé)



## • Suivi de chantier des micropieux – Remarques du contrôle extérieur

- Longueurs de micropieux exécutés différentes des longueurs théoriques
- Précision d'azimut et d'inclinaison
- perte de coulis (volume localement  $> 1000$  l)
- Descente du tube armature de longueur  $> 13$  m (16 m estimé)
- injection du coulis tardive - claquage du coulis de gaine à vérifier



**Demande de réalisation  
d'un essai de contrôle**



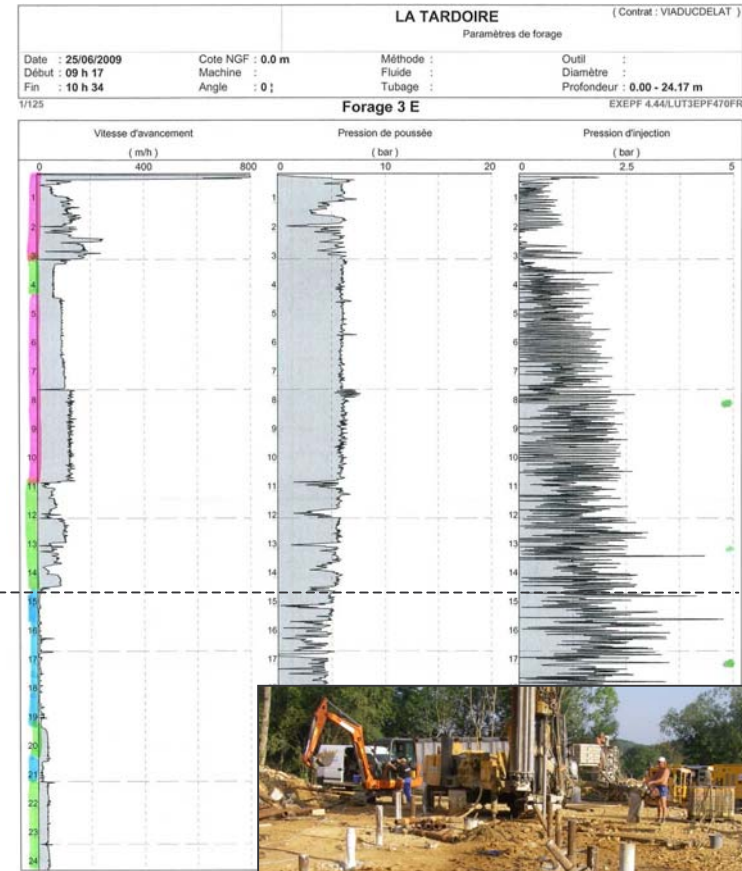
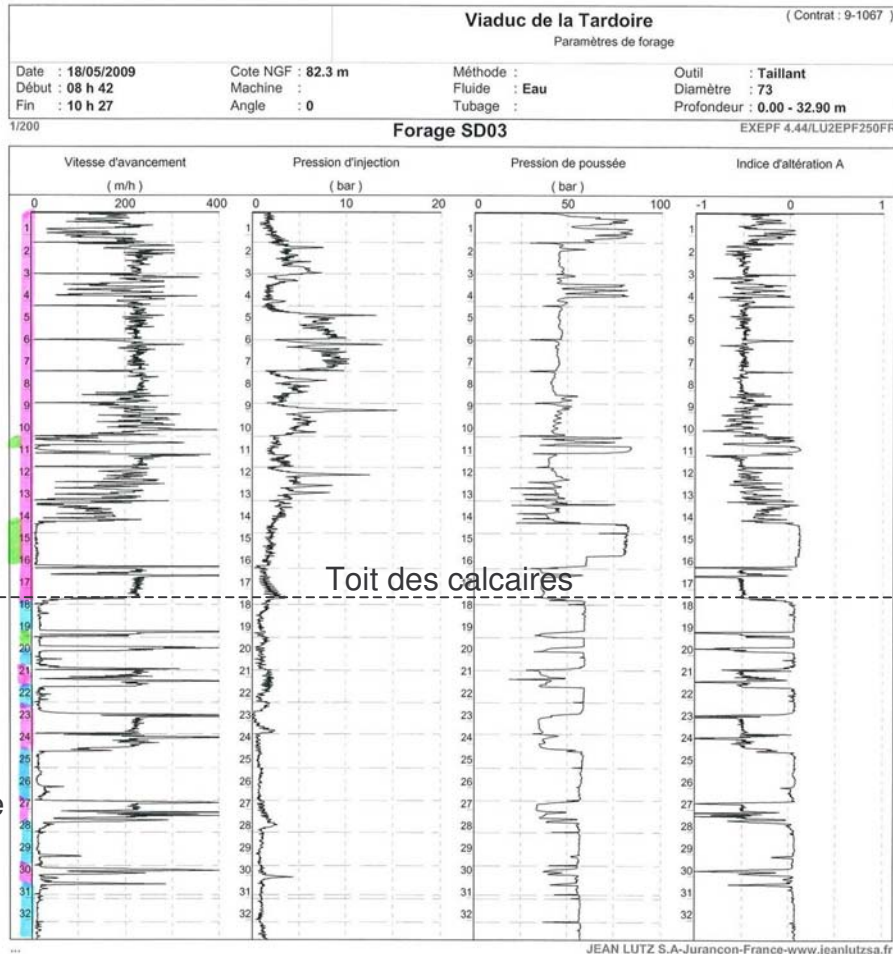
- **Réalisation d'un essai de traction (norme NF P 94-150-2)**
  - Choix d'un micropieu significatif
  - Essai de contrôle (et non essai à la rupture)
  - Charge maximale de l'essai : 78,2 t (1,25 x ELS caractéristiques)
  - barre de scellement dans tube armature du micropieu, agréée par la Maîtrise d'oeuvre
  - effort de traction appliqué par un vérin – 5 paliers successifs correspondant à 20 % de la charge maximale, chacun d'une heure)
  - mesures par comparateurs



Résultat :

- . 9,8 mm sous 782 kN (principalement élongation du tube armature – pas de fluage)
- . Levé du point d'arrêt

• **Analyse des documents de récolement**



- Calculs du cumul des frottements latéraux par micropieu
- Vérification de la reprise des efforts théoriques
- Avis sur les plans de récolement