

La pose d'une canalisation en acier de transport de gaz par un forage dirigé sous le Jabron à Sisteron

Laurent CARRON



Figure 1. Basse vallée du Jabron

© GRTgaz

La canalisation de transport de gaz naturel "Manosque - Upaix" DN150 (6") a été posée en 1994 pour alimenter les distributions publiques et les clients industriels du Val de Durance et notamment les villes de Sisteron et de Gap. Le gaz est soutiré du stockage souterrain de Manosque puis injecté dans la canalisation à une pression maximale de 80 bars. Cette canalisation emprunte sur 2 km environ la basse vallée encaissée de la rivière "le Jabron" (Figure 1), sur la commune de Sisteron (Alpes-de-Haute-Provence), rivière traversée à 3 reprises en souille (soit par excavation sous l'eau). Au niveau de ces franchissements, la canalisation est protégée et lestée par un enrobage en béton. Les crues de cette rivière à régime torrentiel ont entraîné des affouillements et réduit la hauteur de remblai sur la canalisation. Ces désordres hydrologiques récurrents ont nécessité la mise en place de protections des berges essentiellement en enrochement. Cependant, ces enrochements induisent un impact érosif en aval par accélération de l'écoulement.

MOTS-CLÉS

Forage dirigé, Canalisation, Gaz naturel, Géotechnique, Positionnement.

La Direction Départementale des Territoires (DDT 04) a donc demandé à GRTgaz l'étude d'un tracé alternatif visant à réaliser une seule traversée du Jabron et à sortir définitivement la canalisation des berges de la rivière. La Direction de l'Ingénierie de GRTgaz a étudié la traversée de la rivière par forage dirigé afin d'ancrer la canalisation dans le substratum non érosif, tandis que le reste du tronçon serait posé en tranchée sous la RD 946 à l'abri des crues. Ces deux mises en œuvre sont bien sûr conditionnées par la nature du sol qu'il fallait déterminer en amont.

L'étude de sol

Une reconnaissance géophysique suivie d'une reconnaissance géotechnique ont ainsi été confiées au bureau d'études en géotechnique Fondasol. L'objectif de la reconnaissance géophysique est de préciser la géométrie du toit du substratum et de détecter d'éventuelles failles ou cavités. La reconnaissance géotechnique a permis d'affiner localement la profondeur du substratum et la hauteur

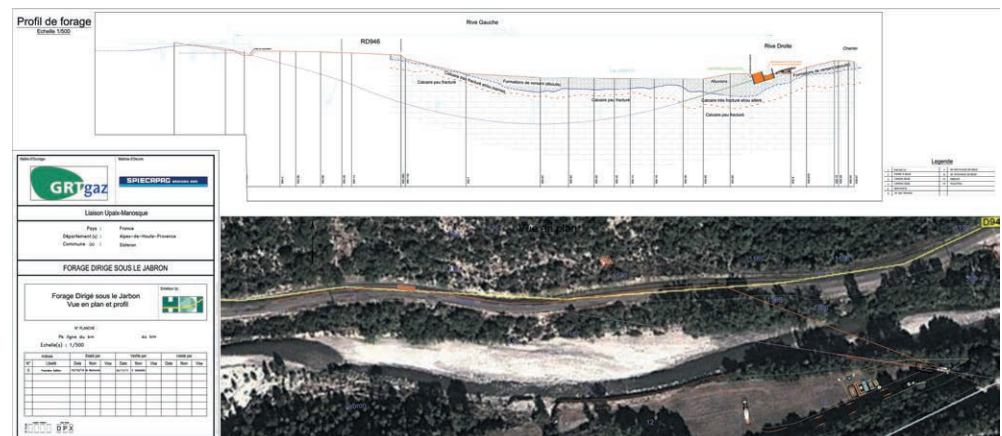


Figure 2. Profil du forage dirigé.

Données d'entrée :

SPECIFICATIONS DU TUBE					
Canalisation	Acier	Grade	L360NB/MB	Diamètre (")	6,00
Diamètre (mm)	168,28	Épaisseur (mm)	5,60	Densité	7,85
Revêtement Extérieur		Potpropylène		Revêtement Intérieur	
Épaisseur (mm)	7,00	Densité	0,92	Épaisseur (mm)	0,00
CALCUL DU VOLUME (l/m)			CALCUL DU VOLUME (l/m)		
Volume Externe de la canalisation nue			Volume Externe de la canalisation revêtue		
22			26		
Volume Interne de la canalisation nue			Volume Interne de la canalisation revêtue		
19			19		
CALCUL DU POIDS (kg/m)					
Canalisation nue	22	Revêtement Extérieur	4	Revêtement Intérieur	0
				TOTAL	25,99

CALCUL DU PROFIL DU TROU PILOTE					
DONNEES GEOMETRIQUES					
Type de Sol	Roche		Rayon de désign recommandé par le DCA :		
			231		
			Rayon minimum toléré selon le DCA - avec un coeff de sécurité de 1.5 :		
			145		
Angle d'entrée (°)	17,00	Longueur Horizontale (m)	275,00	Rayon de Courbure Entrée en m	250,00
Angle de sortie (°)	15,00	Profondeur Section Horizontale (m)	22,90	Rayon de Courbure Sortie en m	250,00
Angle de jonction entre C2 - C3 (°)	0,00	Direction du Chaignage (1 or -1)	1,00	Ecart de côte Entrée - Sortie	-11,85

	C0	C1	C2	C3	C4	C5
DELTA X		39,17	73,09	0,13	64,70	97,90
X	0,00	39,17	112,27	112,40	177,10	275,00
DELTA Z		-11,98	-10,92	0,00	8,52	26,23
Z	452,60	440,62	429,70	429,70	438,22	464,45
DELTA L		40,96	74,18	0,13	65,45	101,35
L	0,00	40,96	115,14	115,27	180,72	282,07

Calcul de la force de tirage :

ESTIMATION DES FORCES DE TIRAGE EN	FORCE DE TIRAGE INDUITE PAR (kN)						FORCE DE TIRAGE	
	Tronçon sur les rouleaux	Tronçon et/ou les tiges de forage entre C5 & C4	Tronçon et/ou les tiges de forage entre C4 & C3	Tronçon et/ou les tiges de forage entre C3 & C2	Tronçon et/ou les tiges de forage entre C2 & C1	Tronçon et/ou les tiges de forage entre C1 & C0	Tête de Tirage (tonnes)	Rig (tonnes)
C5	4	7	0	0	11	17	0,4	1,8
C4	2	16	8	8	19	25	1,6	2,5
C3	1	15	25	25	35	41	2,6	4,2
C2	1	15	25	25	35	41	2,6	4,2
C1	1	14	24	24	36	42	3,7	4,3
C0	0	14	24	24	36	40	4,0	4,0

Force de Tirage due au Tronçon (vert) Force de Tirage due aux tiges (jaune)

Calcul des contraintes :

La contrainte équivalente pendant le tirage est estimée à 24%

DEFINITIONS			
Se	Resistance Equivalente	St	Resistance due à l'effort de Tirage
Sz	Resistance de cintrage	Sy	Resistance radiale
Sx	Resistance Longitudinale		

CARACTERISTIQUES DES TUBES			
E	Module de Young	210 000,00	MPa
Pe	Pression extérieure	0,26	MPa
n	Coefficient de poisson	0,30	
Phy	Pression hydrostatique	0,34	MPa
S	Limite élastique	358,53	MPa
D	Diamètre des tubes	168,28	mm
t	Épaisseur des tubes	5,60	mm
A	Section	2 861,93	mm ²
R	Rayon de courbure	250,00	m
f	Facteur d'étude	1,00	

CONTRAINTE EQUIVALENTE DURANT LE TIRAGE			
T= Force de Tirage maximum sur tête de tirage =	39,63	kN	= 4,04 tonnes
St = T / A	=	13,85	MPa
Sz = ED / 2R	=	70,68	MPa
Sy = -PeD / 2t	=	-3,91	MPa
Sx = St + Sz + n.Sy	=	85,70	MPa
Se = $\sqrt{Sx^2 + Sy^2} - SxSy$	=	87,71	MPa (Von Mises criteria)
Se/S = 24 %			

La contrainte équivalente pendant les essais après tirage est de 29%.

CONTRAINTE EQUIVALENTE AVANT TIRAGE			
DURANT PRE-ESSAIS			
L = Distance entre supports (m)	10,00	Q = Poids du tube sur supports (kg / m)	45,37
M ₀ = Moment de cintrage au support (kN m) = 2 . Q . L ² / 2	3,71	M ₁ = Moment de cintrage entre rouleaux (kN m) = Q . L ² / 2	1,85
W = Resistance au moment (mm ³) = 2 I / D = π . (D4 - d4) / (32 D)			112 651,01
P (test) = Pression d'essais =	8,00	Mpa	= 80,00 bars
St = contraintes résiduelles avant installation	=	0,00	MPa
Sz = Max (M ₀ ; M ₁) / W	=	32,82	Mpa
Sy = P(test) x D / 2t	=	120,20	MPa
Sx = St + Sz + n.Sy	=	68,98	MPa
Se = $\sqrt{Sx^2 + Sy^2} - SxSy$	=	104,47	MPa (Von Mises criteria)
Se/S = 29 %			

d'alluvions. Cette reconnaissance a validé en partie la faisabilité d'un forage dirigé, technique bien adaptée dans le rocher, mais a préconisé la pose d'un casing (tubage) sur une longueur de 40 m pour franchir le banc d'alluvions (le 1^{er} horizon). En effet, les alluvions risquent de bloquer ou dévier la tête de forage.

Un profil en long géologique a été établi pour définir le profil du forage dirigé (Figure 2).

Étant donnée la géologie complexe de ce secteur des pré-Alpes, la réussite d'un forage dirigé n'était pas garantie. La remontée dans la rivière ou la perte de boue de forage faisaient partie des risques envisagés.

Compte tenu du rayon de courbure "en flexion libre" recommandé pour une canalisation DN150, soit 250 m, il était prévu un forage dirigé d'une longueur développée de 280 mètres positionné à 25 m sous le lit de la rivière. Le forage a fait l'objet d'une note de calcul détaillée (dont une mosaïque est en Figure 3); la force de tirage est estimée à 50 kN ; outre la force, le couple de rotation de la foreuse est dimensionnant.

La déformée de la canalisation sur la rampe de lancement (caténaire) fait également l'objet d'une note de calcul (Figure 4).

Relevés préliminaires

Plans existants

Archives Techniques de Pose (1995)

Réseau topographique de base en XYZ, levés complémentaires, sondages

Le cabinet de géomètres ATGTSM a effectué des relevés topographiques afin d'établir les plans projet (PRO) suivants :

- Un plan de situation Échelle 1 : 25000,
- Un plan parcellaire et de pose Échelle 1 : 2000,
- Un plan topographique Échelle 1 : 500,
- Un profil en long de la traversée du Jabron Échelle 1 : 500,
- Un plan de repérage des sommets de canalisation.

La canalisation de gaz existante en service a été détectée en XYZ et piquetée par l'Exploitant GRTgaz. Le cabinet

Figure 3. Note de calcul détaillée.



GEOMETRIE DE LA RAMPE DE LANCEMENT					
HYPOTHESES DE BASE					
EXCAVATION		ROULEAUX		RAYON DE COURBURE	
Profondeur de l'excauation de sortie	2,00	Hauteur des rouleaux	0,40	Rayon mini DCA	63
Profondeur de l'axe de la canalisation (Hp)	1,91	Hauteur de la cana à l'axe (Hr)	0,49	Rayon Horizontal Imposé	200
				Rayon Vertical adopté (Rcat)	100
CALCUL DES DISTANCES HORIZONTALES					
Début de la caténaire au point de sortie (Lp)	7,12	Point de sortie au sommet (Lcatt)	18,76	Sommet au premier rouleau (2 x Lact2)	20,05
CALCUL DES HAUTEURS DE LEVAGE ET DE L'ANGLE DE JONCTION					
Hauteur maxi atteinte par la canalisation (Hcat)	1,50	Angle de jonction (rad)	0,1	Sommet au premier rouleau	1,01



Figure 4. La déformée de la canalisation sur la rampe de lancement.

de géomètres ATGTSM a relevé les points piquetés pour faire figurer cette canalisation avec une précision de classe A (soit 40 cm en XY) sur les plans PRO.

Des sondages à la pelle mécanique (jusqu'à une profondeur de 50 cm au-dessus de la canalisation), puis à la pelle à mains ont été réalisés pour relever avec précision les points de raccordements.

Aspect construction avec les tolérances topographiques

La spécification GRTgaz pour les forages dirigés impose la tolérance suivante :

Le forage du trou pilote consiste à suivre rigoureusement le profil théorique prédéterminé.

En tous points, la précision obtenue doit être latéralement inférieure à 1 % de la longueur du forage.

En outre, des seuils limites sont fixés pour les écarts latéraux et verticaux :

- l'écart latéral entre le profil réel et le profil théorique approuvé doit être systématiquement inférieur à 5 mètres,
- l'écart vertical doit être inférieur à 1 mètre au-dessus du profil théorique approuvé.

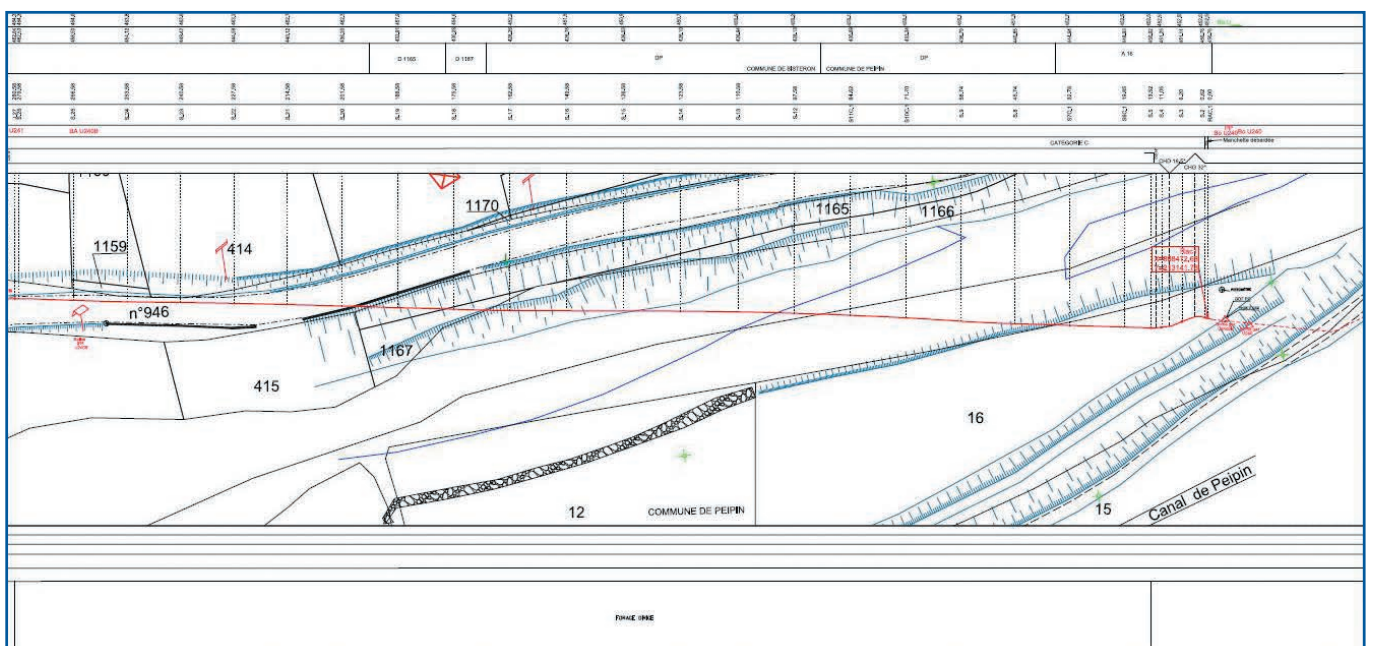


Figure 5. Relevés après pose, vue en plan.

