



VOS RÉF

ELECTRICITE DE FRANCE

NOS RÉF D4171/NJ/2002-00623-A/CHD

C.N.P.E. de CIVAUX

B.P. 69

86320 CIVAUX

INTERLOCUTEUR Philippe GELADE   
(Tél. : 04 78 71 42 64, Fax : 04 72 33 55 49)

A l'attention de MM. VERMERSCH et RAYEZ  
(A.M.T./N.O.)

OBJET Rapport de synthèse  
CIVAUX Tranche 1.

LYON, le 23 avril 2002

Nous vous prions de bien vouloir trouver ci-joint le rapport de synthèse référencé D4171/RAP/2002-00016-A et intitulé :

**CNPE DE CIVAUX – Tranche 1**

**RE-EPREUVE Novembre 2001**

**Essai d'étanchéité de l'enceinte de confinement**

**MESURE DU TAUX DE FUITE**

Nous vous en souhaitons bonne réception.

Département Surveillance EAU &  
Ouvrages  
Chef du Centre d'Etanchéité et  
d'Auscultation Nucléaire 1

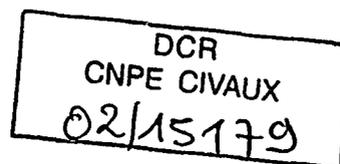
  
M-C GRANDJEAN

P.J. : 1 rapport.

Copies : - M LASNE - DPN/GAP  
- M. COLADANT DNP/FTC/GMC  
- M VALFORT - SEPTEN  
- M TERRAILLON - CAPE - GENV  
- M. PASTOR - C I P N  
- M BEAUDOUX - D S E.O. Grenoble  
- M ALLARY - D S E O. Lyon  
- M C GRANDJEAN - P GROSSETETE ( CEAN 1)  
- P CHAMBRIARD (CEAN 2)

EDF PÔLE INDUSTRIE

DIVISION PRODUCTIONS THERMIQUES ET  
HYDRAULIQUES



Auteur(s) : GELADE Philippe

Date : 07/01/2002

**CNPE DE CIVAUX – Tranche 1**

**RE-EPREUVE Novembre 2001**

**Essai d'étanchéité de l'enceinte de confinement**

**MESURE DU TAUX DE FUITE**

**Rapport de synthèse**

Réf.: D4171/RAP/2002-00016-A

Indice : A

82 pages

0 annexe(s)

Entité émettrice :

Documents associés : Voir en annexe 1 la liste des documents de référence.

Résumé :

L'essai d'étanchéité de l'enceinte de confinement de CIVAUX 1, réalisé pendant la VC1, s'est déroulé du 6 au 12 Novembre 2001 après différentes réparations.

Au cours de cette épreuve, les mesures suivantes ont été réalisées :

- mesures du débit de fuite global de l'enceinte interne (Qm), aux pressions relatives de 0 MPa, 0,1 MPa et 0,43 MPa,
- mesure de la fuite de la paroi externe (Qe),
- mesure de la fuite transitant par le radier (Qr),
- mesure des fuites non transitantes (Qnt) avant et après noyage du radier.

La méthode SUGTEN a été mise en œuvre au cours des phases de gonflage et dégonflage.

A la pression nominale d'essai de 0,43 MPa relatif, le taux et le débit de fuite, radier sec, exprimés aux Conditions Nominales d'Essai du palier N4, valent :

Fm = -0,49 ± 0,02 %/j                      Qm = -71,5 ± 3,1 Nm<sup>3</sup>/h  
pour un critère de -1,1 %/j, soit -162 Nm<sup>3</sup>/h.

Mots-clés :

TAUX DE FUITE - ENCEINTE DE CONFINEMENT – ETANCHEITE - SUGTEN

Qualité surveillée :

Oui  Non

Intérêt documentaire :

Oui  Non

Conservation

Oui  Non

Documentation de référence

Oui  Non

Accessibilité

Libre

EDF-GDF

Restreinte

Confidentielle

**SOMMAIRE**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
1.1. OBJET DU PRESENT DOCUMENT .....	5
1.2. TERMINOLOGIE.....	6
<b>2. MESURE DU TAUX DE FUITE GLOBAL DE LA PAROI INTERNE</b>	<b>7</b>
2.1. DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE MESURE .....	7
2.2. COMPORTEMENT DE L'INSTRUMENTATION.....	7
2.3. CONTROLES PRELIMINAIRES.....	7
2.3.1. Contrôles des circuits électriques.....	8
2.3.2. Contrôle de la ligne de pression.....	8
2.4. DEROULEMENT DE L'ESSAI.....	8
2.4.1. Configuration d'essai .....	8
2.4.2. Déroulement chronologique de la mesure de taux de fuite global.....	9
2.5. ANALYSE DES RESULTATS.....	11
2.5.1. Palier 0 MPa relatif.....	11
2.5.2. Palier 0,1 MPa relatif.....	11
2.5.3. Palier 0,43 MPa relatif - mesure radier sec.....	12
2.5.4. Palier à 0,43 MPa relatif - mesure radier en eau.....	12
2.6. RECAPITULATIF ET ANALYSE DES RESULTATS.....	14
<b>3. EVALUATION DES FUITES NE TRANSITANT PAS PAR L'ESPACE ENTRE-ENCEINTES</b>	<b>15</b>
3.1. DISPOSITIF DE MESURE DANS L'ESPACE ENTRE-ENCEINTES .....	15
3.2. CONTROLE ET CARACTERISATION DE LA MESURE DE $Q_{EEE}$ .....	16
3.2.1. Contrôle de l'installation de mesure .....	16
3.2.2. Caractérisation du système de mesure.....	17
3.3. DEROULEMENT DE L'EVALUATION DES FUITES NON TRANSITANTES .....	17
3.4. ANALYSE ET RESULTATS .....	18
3.4.1. Palier 0,43 MPa - radier sec.....	19
3.4.2. Palier 0,43 MPa - radier en eau .....	19
<b>4. ANALYSE DE LA MESURE SUGTEN</b>	<b>20</b>
4.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE SUGTEN.....	20
4.2. DEROULEMENT DE LA MESURE SUGTEN.....	20
4.3. ANALYSE ET RESULTATS .....	21
4.3.1. Mesure SUGTEN au gonflage (0,1 MPa => 0,43 MPa relatif).....	21
4.3.2. Mesure SUGTEN au dégonflage (0,43 MPa => 0,2 MPa relatif).....	21
<b>5. MESURE DU DEBIT DE FUITE DE LA PAROI EXTERNE</b>	<b>22</b>
5.1. RAPPEL DU PRINCIPE .....	22
5.2. RESULTATS .....	23
<b>6. CONCLUSION</b>	<b>24</b>
<b>7. ANNEXES</b>	<b>26</b>
7.1. ANNEXE 1 : DOCUMENTS DE REFERENCE .....	26



## Création - Modifications

Ind.	Auteur(s)			Respons. Document			Vérificateur(s)			Approbateur		
	Nom	Signature	Date	Nom	Signature	Date	Nom	Signature	Date	Nom	Signature	Date
A	GELADE		29/03/02	GROSSETETE		01/04/02	GROSSETETE		01/04/02	GRANDJEAN		16/04/02

## Lieu de conservation

Original et sauvegarde papier

Original et sauvegarde numérique

## Copies - Diffusion interne à l'Unité

Destinataire(s) pour application	Nb	Destinataire(s) pour information	Nb
		A. BEAUDOUX	1
		D. ALLARY	1
		M C. GRANDJEAN	1
		P. GROSSETETE	1
		P CHAMBRIARD	1
		Dossier d'affaire	2
		Archives	2

## Copies - Diffusion externe à l'unité

Destinataire(s)	Organisme(s)	Nb	Destinataire(s)	Organisme(s)	Nb
M. LASNE	DPT/FTC	1			
M. COLLADANT	DPN	1			
M. TERRAILLON	MCPA	1			
M. PASTOR	CIG	1			
M. VALFORT	SEPTEN	1			
MM. VERMERSCH / RAYEZ	AMT/NO	2			

7.2. ANNEXE 2 : MESURE DU TAUX DE FUITE GLOBAL - PRINCIPE DE LA MESURE.....	27
7.3. ANNEXE 3 : MESURE DU TAUX DE FUITE GLOBAL - INCERTITUDES ASSOCIEES	29
7.3.1. Mesures de température.....	29
7.3.2. Mesures d'hygrométrie.....	29
7.3.3. Mesures de pression.....	30
7.3.4. Mesures de volume.....	30
7.3.5. Composition des incertitudes.....	31
7.4. ANNEXE 4 : EVALUATION DES FUITES NE TRANSITANT PAS PAR L'ESPACE ENTRE-ENCEINTES - PRINCIPE DE LA METHODE ET INCERTITUDES .....	32
7.4.1. Généralités .....	32
7.4.2. Mise en œuvre de la mesure .....	33
7.4.3. Caractérisation de la mesure de $Q_{eee}$ .....	33
7.4.4. Estimation des incertitudes liées à la caractérisation du système de mesure .....	34
7.4.5. Estimation des incertitudes sur $Q_{nt}$ .....	35
7.5. ANNEXE 5 : PALIER A 0 MPA RELATIF.....	37
7.6. ANNEXE 6 : PALIER A 0,1 MPA RELATIF.....	43
7.7. ANNEXE 7 : PALIER A 0,43 MPA RELATIF RADIER SEC.....	47
7.8. ANNEXE 8 : PALIER A 0,43 MPA RELATIF RADIER EN EAU .....	51
7.9. ANNEXE 9 : CARACTERISATION DE LA MESURE DE $Q_{EEE}$ .....	55
7.10. ANNEXE 10 : EVALUATION DES FUITES NON TRANSITANTES.....	59
7.11. ANNEXE 11 : SYNTHESE DES RESULTATS D'EVALUATION DES FNT.....	74
7.12. ANNEXE 12 : SCHEMA DE PRINCIPE DE L'EVALUATION DES FNT.....	76
7.13. ANNEXE 13 : MODELISATION DU DEBIT DE FUITE DE LA PAROI EXTERNE .....	77
7.14. ANNEXE 14 : MESURE SUGTEN.....	80

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. OBJET DU PRESENT DOCUMENT

Le deuxième essai d'étanchéité de l'enceinte de confinement de CIVAUX 1 a été réalisé du 6 au 12 novembre 2001 par messieurs BONVIN, LAVILLE, BUTET, BLAY, LE CORF, GELADE, GROSSETETE en collaboration avec les équipes du CNPE et de l'AMT-N.O.

La mesure du taux de fuite global s'inscrit dans le cadre de la **première visite complète** de la tranche 1 du CNPE de CIVAUX. Cette deuxième épreuve a été réalisée après la pause d'une peau d'étanchéité dans le bâtiment réacteur.

Ce rapport fournit une synthèse des différentes mesures effectuées :

- mesure du taux de fuite global ( $F_m$ ) de l'enceinte interne,
- mesure de la fuite transitant par le radier ( $Q_r$ ),
- évaluation des fuites ne transitant pas par l'espace entre-enceintes ( $F_{nt}$ ),
- mesure de la fuite de la paroi externe ( $Q_e$ ),
- analyse de la mesure SUGTEN (mesure des fuites transitant de l'enceinte interne vers l'espace entre-enceintes lors des phases de gonflage et de dégonflage).

Pour chacune des opérations sont détaillés le déroulement chronologique de l'essai ainsi que les valeurs des taux et débits de fuite mesurés aux différents paliers de pression, avec leurs incertitudes associées.

Un récapitulatif des méthodes de mesures et une description sommaire des moyens mis en œuvre sont également fournis.

## 1.2. TERMINOLOGIE

Les symboles suivants sont employés dans le présent document :

- $F$  → désigne les taux de fuite ( $\%.j^{-1}$ ),
- $Q$  → désigne les débits de fuite ( $Nm^3.h^{-1}$ ),

L'enceinte de confinement est constituée d'une **Paroi Interne (PI)**, d'une **Paroi Externe (PE)** et d'un **Espace Entre les parois de l'Enceinte** ou "espace entre-enceintes (**EEE**)".

Les différents taux ou débits de fuite sont désignés par :

- $F_m$  ou  $Q_m$  : taux ou débit de fuite global de la paroi interne de l'enceinte,
- $F_{nt(EEE)}$  ou  $Q_{nt(EEE)}$  (noté aussi  $F_{nt}$  ou  $Q_{nt}$ ) : taux ou débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes,
- $F_t$  ou  $Q_t$  : taux ou débit de fuite transitant par l'espace entre-enceintes,
- $F_{eee}$  ou  $Q_{eee}$  : taux ou débit de fuite global de l'espace entre-enceintes,
- $F_e$  ou  $Q_e$  : taux ou débit de fuite global de la paroi externe de l'enceinte,
- $F_r$  ou  $Q_r$  : taux ou débit de fuite transitant par le radier de l'enceinte,

Dans les formules de calcul, les symboles suivants représentent :

- $m_a$  : masse d'air sec contenu dans l'enceinte (kg),
- $P$  : pression absolue totale dans l'enceinte (hPa),
- $e'_w$  : pression partielle moyenne de vapeur d'eau (hPa),
- $V$  : volume libre de l'enceinte ( $m^3$ ),
- $R$  : constante universelle des gaz parfaits →  $R = 8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}$ ,
- $M_a$  : masse molaire de l'air sec →  $M_a = 28,9645.10^{-3} kg.mol^{-1}$ ,
- $T$  : température absolue moyenne de l'air de l'enceinte (K).

## 2. MESURE DU TAUX DE FUITE GLOBAL DE LA PAROI INTERNE

Les principes de calcul du taux de fuite global et des incertitudes associées sont détaillés en annexes 2 et 3.

### 2.1. DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE MESURE

Le matériel de mesure et sa mise en œuvre sont décrits en détail dans la note technique réf. [1].

Rappelons qu'il est constitué :

- de deux manomètres DESGRANGES & HUOT de type RPM1 à sortie numérique IEEE, reliés à l'enceinte par une conduite pneumatique,
- de quarante-quatre thermomètres à résistance de platine HERAEUS SENSOR (résistance nominale 100  $\Omega$  à 0°C), montage 4 fils, mesurant la température locale dans différents lieux à l'intérieur de l'enceinte, et auxquels sont affectés des volumes partiels,
- de dix hygromètres à condensation GENERAL EASTERN type DEW 10, permettant le calcul de la pression partielle de vapeur d'eau locale dans différents lieux à l'intérieur de l'enceinte, et auxquels sont affectés des volumes partiels,
- d'une centrale d'acquisition de type HP, pilotée par un ordinateur permettant le retraitement des données, à laquelle sont reliés tous les capteurs.

Les séquences de mesure sont déclenchées tous les quarts d'heure par une horloge.

Les valeurs brutes des mesures sont enregistrées sur disque dur et sur un support externe de grande capacité, les traitements sont effectués en temps réel.

### 2.2. COMPORTEMENT DE L'INSTRUMENTATION

L'ensemble des capteurs ainsi que la chaîne d'acquisition et de traitement des mesures ont eu un comportement globalement satisfaisant tout au long des paliers de mesure du taux de fuite global de l'enceinte (paliers à 0 MPa, à 0,1 MPa et 0,43 MPa de pression relative). On peut remarquer toutefois sur les courbes jointes en annexe, quelques pics qui sont dus particulièrement à une mauvaise fermeture des relais de la centrale de mesure lors de l'acquisition des différents paramètres physiques. Toutefois ces perturbations restent très minimales quant au nombre total d'acquisitions réalisées pendant toute la durée de l'épreuve. De plus ces relevés ont été éliminés du calcul.

### 2.3. CONTROLES PRELIMINAIRES

Les contrôles sur site préliminaires à l'essai, ont été effectués conformément à la note technique réf. [1].

### 2.3.1. Contrôles des circuits électriques

Le contrôle du câblage de mesure donne les résultats suivants :

- Les résistances d'isolement entre 2 fils d'un même câble sont supérieures à  $1\text{ G}\Omega$  et celles du blindage par rapport à la terre sont supérieures à  $100\text{ M}\Omega$ . Ces valeurs sont donc conformes aux seuils admissibles.
- Lors de la simulation avec des résistances de précision discriminées de  $501\ \Omega$  à  $544\ \Omega$  pour les circuits de mesure de température, et de  $120\ \Omega$  à  $129\ \Omega$  pour les circuits de mesure d'hygrométrie, la dispersion maximale des mesures est la suivante :
  - $\Rightarrow \pm 21 \cdot 10^{-4}\ \Omega$  avec un écart-type maximum de  $7 \cdot 10^{-4}\ \Omega$  pour les thermomètres,
  - $\Rightarrow \pm 13 \cdot 10^{-4}\ \Omega$  avec un écart-type maximum de  $5 \cdot 10^{-4}\ \Omega$  pour les hygromètres,pour un critère de dispersion fixé à  $10^{-2}\ \Omega$  et un critère écart-type à  $5 \cdot 10^{-3}\ \Omega$ .

Ces résultats valident avant essai l'ensemble des circuits et permettent de s'affranchir des mesures de résistances unifilaires sur chacune des voies de mesure.

**Remarque :** seul le circuit du thermomètre T39 n'a pu être contrôlé. Cette sonde se trouvait dans la zone de travaux de réparation située autour du tampon matériel et son coffret électrique a été déconnecté pendant notre phase de contrôle des circuits. Toutefois, cette sonde a été rendue opérationnelle avant l'essai et a donc pu être utilisée pendant l'épreuve. Son comportement a été cohérent aux sondes voisines.

### 2.3.2. Contrôle de la ligne de pression

La fuite de la ligne de prise de pression enceinte, mesurée à la pression absolue de  $0,53\text{ MPa}$ , est de  $-2,1\text{ hPa}\cdot\text{h}^{-1}$  en moyenne calculée sur 17 h, ce qui est compatible avec le critère de baisse de pression admissible, fixé à  $-10\text{ hPa}\cdot\text{h}^{-1}$  sur une durée de 4 heures minimum.

## 2.4. DEROULEMENT DE L'ESSAI

### 2.4.1. Configuration d'essai

Le volume libre d'essai, en configuration radier sec, est de  $73\ 217\ \text{m}^3$ . La liste des principales capacités éventées ainsi que la répartition des volumes élémentaires sont indiqués en annexe 5.

La configuration d'essai est la suivante :

- piscine vide,
- niveau d'eau du circuit primaire en PTB du RRA,
- générateurs de vapeur en eau (20 cm au-dessus du trou d'homme secondaire,
- ballons SAR, REP, RDP, pressuriseur à l'équipression avec l'enceinte (en air),
- secondaire GV en eau.

## 2.4.2. Déroulement chronologique de la mesure de taux de fuite global

### Le 06/11/2001 :

- **Palier à 0 MPa relatif**

09 h 05 : fermeture du BR.

10 h 00 : début des mesures taux de fuite. Suite à une coupure électrique de l'alimentation des hygromètres du BR survenue juste avant la fermeture de celui-ci, il a été nécessaire d'attendre une heure la stabilisation des hygromètres avant de démarrer les mesures au palier 0 MPa.

14 h 00 : fin des mesures du palier 0 MPa.

14 h 05 : Problème sur le sens de rotation des sécheurs.

14 h 30 : début réel du gonflage.

22 h 30 : arrêt du gonflage à 1004 hPa relatifs. Purge du banc de gonflage.

- **Palier à 0,1 MPa relatif**

22 h 35 : début des mesures taux de fuite.

Aspersion partielle de la paroi externe du BR.

### Le 07/11/2001 :

10 h 40 : fin des mesures taux de fuite au palier 0,1 MPa.

10 h 45 : début du gonflage de 0,1 à 0,43 MPa et mesures SUGTEN.

### Le 08/11/2001 :

08 h 35 : arrêt du gonflage à 4342 hPa relatifs.

- **Palier 0,43 MPa relatif radier sec**

08 h 45 : début des mesures taux de fuite global.

09 h 45 : ouverture des portes de l'EEE et fin des mesures SUGTEN.

Aspersion complète de la paroi externe du BR.

23 h 00 : fin des mesures taux de fuite global au palier 0,43 MPa.

23 h 40 : début de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes (Fnt n°1 - radier sec).

**Le 09/11/2001 :**

03 h 00 : fin de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes.

03 h 10 : début du noyage radier.

10 h 00 : fin du noyage radier.

- **Palier 0,43 MPa relatif radier noyé**

10 h 15 : début des mesures taux de fuite global.

16 h 15 : fin des mesures taux de fuite global.

16 h 30 : début de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes (Fnt n°2 - radier noyé).

20 h 00 : fin de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes.

20 h 05 : début de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes (Fnt n°3 - radier noyé).

23 h 40 : fin de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes. Un problème est survenu au cours des mesures juste après le passage à delta P nul, où l'on peut voir sur la courbe de remontée en pression un changement de pente. Ces mesures n'étant pas exploitables, une quatrième Fnt est réalisée.

23 h 55 : début de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes (Fnt n°4 - radier noyé).

**Le 10/11/01 :**

03 h 25 : fin de la mesure du débit de fuite ne transitant pas par l'espace entre-enceintes.

03 h 30 : montage des hygromètres dans l'EEE pour mesures SUGTEN.

05 h 00 : fermeture des SAS de l'EEE et début des mesures SUGTEN descente.

**Le 12/11/01 :**

09 h 00 : fin des mesures SUGTEN descente. Pression BR = 300hPa relatifs.

09 h 15 : ouverture des SAS de l'EEE.

## 2.5. ANALYSE DES RESULTATS

Quatre mesures du taux de fuite global, dont deux à la pression de 0,43 MPa relatif, ont été réalisées.

### 2.5.1. Palier 0 MPa relatif

Ce palier montre le bon fonctionnement de l'ensemble de l'installation de mesure ainsi que l'absence d'apport significatif dans le bâtiment réacteur.

Les résultats indiqués ci-dessous sont calculés, dans les conditions d'essais, sur les 2 dernières heures du palier (relevés 9 à 17) :

Durée de la mesure	Intervalle de dépouillement	Pression relative moyenne (hPa)	Taux de fuite (%.j <sup>-1</sup> )	Débit de fuite (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
4 h 00	2 h	1,3	0,07 ± 0,02	1,9 ± 0,5

L'annexe 5 montre les variations relatives des différents paramètres mesurés dans l'enceinte : pression, température, hygrométrie, ainsi que les variations relatives de la masse d'air sec. On trouve également les résultats du taux et débit de fuite avec leurs incertitudes associées.

### 2.5.2. Palier 0,1 MPa relatif

Les résultats indiqués ci-dessous sont calculés, dans les conditions d'essais, sur les 4 dernières heures du palier (relevés 33 à 49) :

Durée de la mesure	Intervalle de dépouillement	Pression relative moyenne (hPa)	Taux de fuite (%.j <sup>-1</sup> )	Débit de fuite (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
12 h 00	4 h	992,4	-0,18 ± 0,01	-9,9 ± 0,8

Le tracé de l'évolution du débit de fuite montre que la stabilité n'a été réellement atteinte que sur les dernières heures.

Aucun seuil pour le déclenchement des opérations en vue d'une aspersion complète du parement externe de la paroi interne n'a été fixé pour cette épreuve. Effectivement, la décision d'aspersion complète au palier nominal a été prise en préalable à l'épreuve.

L'extrapolation de ces valeurs à la pression nominale d'essai (0,43 MPa relatif) donne les valeurs prévisionnelles suivantes :

$$F_m \text{ (extrapolé)} = -0,62 \text{ \%.j}^{-1}$$

$$Q_m \text{ (extrapolé)} = -90,0 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

L'annexe 6 montre les variations relatives des différents paramètres mesurés dans l'enceinte : pression, température, hygrométrie, ainsi que les variations relatives de la masse d'air sec. On trouve également l'évolution du débit de fuite et les résultats avec leurs incertitudes associées.

### 2.5.3. Palier 0,43 MPa relatif - mesure radier sec

Les résultats indiqués ci-dessous sont calculés, dans les conditions d'essais, sur les 4 dernières heures du palier (relevés 42 à 58) :

Durée de la mesure	Intervalle de dépouillement	Pression relative moyenne (hPa)	Taux de fuite (%.j <sup>-1</sup> )	Débit de fuite (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
14 h 15	4 h	4295,4	-0,48 ± 0,02	-71,4 ± 3,1

Les valeurs ramenées aux conditions nominales d'essai sont :

$$F_{m(CNE)} = -0,49 \pm 0,02 \text{ \%.j}^{-1}$$

$$Q_{m(CNE)} = -71,5 \pm 3,1 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

On constate sur le tracé de l'évolution du débit de fuite que la stabilisation de la mesure commence qu'à partir de la huitième heure d'acquisition. La stabilisation a été plus longue sur les hygromètres que sur les thermomètres.

Sur le tracé des variations relatives on peut remarquer des pics sur la courbe de température entraînant des perturbations sur la courbe de masse. Ces pics sont dus à des problèmes de contacts électriques au niveau de la centrale d'acquisition. Ils apparaissent sur 3 thermomètres différents pour les relevés 34 et 43. Ces deux relevés ont été éliminés des calculs.

Une aspersion complète du parement externe de la paroi interne a par ailleurs été réalisée dès le début du palier nominal radier sec.

L'annexe 7 montre les variations relatives des différents paramètres mesurés dans l'enceinte : pression, température, hygrométrie, ainsi que les variations relatives de la masse d'air sec. On trouve également l'évolution du débit de fuite et les résultats avec leurs incertitudes associées.

### 2.5.4. Palier à 0,43 MPa relatif - mesure radier en eau

Afin d'évaluer la part de la fuite globale transitant par le radier (collectée ou non dans l'espace entre-enceintes), une mesure a été réalisée à une pression relative d'environ 0,43 MPa, après la mise en eau de celui ci.

Cette mesure a eu lieu après la première évaluation du débit de fuite ne transitant pas dans l'espace entre-enceintes (cf. récapitulatif chronologique au § 2.4). Compte tenu du niveau de la fuite globale et de la chute de pression en résultant, il n'a pas été nécessaire de procéder à un regonflage de l'enceinte interne. Un calcul préventif a été effectué afin de s'assurer que la pression de fin d'essai soit au-dessus du critère admissible, à savoir 50hPa maximum en dessous de la pression nominale.

Les résultats de la fuite globale **après noyage** sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Ils sont calculés, dans les conditions d'essais, sur les 3 dernières heures du palier (relevés 13 à 25) :

Durée de la mesure	Intervalle de dépouillement	Pression relative moyenne (hPa)	Taux de fuite (%.j <sup>-1</sup> )	Débit de fuite (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
6 h 00	3 h	4278,3	-0,41 ± 0,02	-59,8 ± 2,6

Les valeurs ramenées aux conditions nominales d'essai sont :

$$F_{m(CNE)} = -0,41 \pm 0,02 \text{ \%.j}^{-1}$$

$$Q_{m(CNE)} = -60,1 \pm 2,6 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Pendant ce palier, on a observé un pic sur les thermomètres correspondant au relevé n°21. Ce relevé a été éliminé des calculs.

La stabilisation des différents paramètres a été relativement rapide malgré la mise en eau du radier.

L'annexe 8 montre les variations relatives des différents paramètres mesurés dans l'enceinte : pression, température, hygrométrie, ainsi que les variations relatives de la masse d'air sec. On trouve également l'évolution du débit de fuite et les résultats avec leurs incertitudes associées.

Ces deux paliers permettent d'estimer la fuite du radier, calculée par rapport aux Conditions Nominales d'Essai afin de s'affranchir des variations de pression d'une mesure à l'autre.

La fuite radier est donc de :

$$Q_r = Q_{m(\text{radier sec})} - Q_{m(\text{radier en eau})} = -11,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}.$$

Remarque : la différence entre  $Q_m$  (radier sec) et  $Q_m$  (radier en eau) est qualifiée par commodité de "fuite radier". En réalité, cette différence peut intégrer des fuites cheminant par le gousset et qui ont été masquées par le noyage.

**2.6. RECAPITULATIF ET ANALYSE DES RESULTATS**

Afin de comparer les résultats entre plusieurs épreuves successives ou sur des tranches différentes d'un même palier, on ramène les résultats obtenus dans les conditions d'essai aux **Conditions Nominales d'Essai (CNE)** :

- pression théorique du palier (4300 hPa),
- volume standard d'exploitation de l'enceinte.

Pour les enceintes internes du palier N4, ce volume est de 72 700 m<sup>3</sup>.

Les résultats aux conditions nominales d'essai sont les suivants :

Pression théorique d'essai (MPa)	Pression relative d'essai (hPa)	Taux de fuite CNE (%.j <sup>-1</sup> )	Débit de fuite CNE (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
0	1,3		
0,1	992,4		
0,43 (radier sec)	4295,4	-0,49 ± 0,02	-71,5 ± 3,1
0,43 (radier noyé)	4278,3	-0,41 ± 0,02	-60,1 ± 2,6

Les résultats au palier 0,43 MPa radier sec, ramenés aux conditions nominales d'essai, sont donc :

$$\text{Taux de fuite } F_m \text{ (CNE)} = -0,49 \pm 0,02 \text{ \%.j}^{-1}$$

$$\text{Débit de fuite } Q_m \text{ (CNE)} = -71,5 \pm 3,1 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Ces valeurs sont inférieures au critère de taux de fuite admissible sur les enceintes du palier N4 à savoir -1,00 %.j<sup>-1</sup>. Pour la **ré-épreuve de CIVAUX 1**, le critère a été fixé à -1,1 %.j<sup>-1</sup>.

D'après la comparaison entre les valeurs des fuites, extrapolées aux conditions nominales d'essai, avant et après le noyage du radier, on en déduit la valeur du débit transitant par le radier et/ou éventuellement une partie du gousset :

$$Q_m \text{ (radier sec)} - Q_m \text{ (radier en eau)} = -11,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

### 3. EVALUATION DES FUITES NE TRANSITANT PAS PAR L'ESPACE ENTRE-ENCEINTES

Les principes de l'évaluation des débits de fuites ne transitant pas par l'espace entre-enceintes avec leurs incertitudes associées sont détaillés en annexe 4.

Un schéma explicatif des échanges se produisant au niveau des deux parois en béton de l'enceinte de confinement est fourni en annexe 12.

#### 3.1. DISPOSITIF DE MESURE DANS L'ESPACE ENTRE-ENCEINTES

L'espace entre-enceintes n'étant pas équipé de circuits de mesure permanents, une installation de câblage mobile a été développée par l'échelon DTG de LYON.

Cette installation assure les liaisons électriques entre les thermomètres, les hygromètres implantés dans l'espace entre-enceintes, et le bungalow où se trouve la centrale d'acquisition.

Pour la centrale de CIVAUX, la galerie des drains n'étant pas en communication avec l'espace entre-enceintes, le capteur de température (T1) initialement prévu dans cette galerie a été installé dans le BR au niveau 0m.

La mesure du  $\Delta P$  est effectuée par l'intermédiaire de deux lignes de pression : l'une provenant de l'EEE, l'autre à l'extérieur à proximité du bungalow de mesure.

Toutes les liaisons EEE-Extérieur transitent par une traversée de la paroi externe (T150), située au niveau du sol, approximativement à l'aplomb du tampon matériel.

Le matériel de mesure et sa mise en œuvre sont décrits en détail dans la note technique réf. [3] en annexe 1.

Pour CIVAUX il est principalement constitué de :

- d'un manomètre de précision, double voie, assurant la mesure de la pression absolue de l'espace entre-enceintes de type 2100 Marque CROUZET,
- 2 manomètres différentiels de type 44 Marque CROUZET, assurant la mesure du  $\Delta P$  entre l'espace entre-enceintes et l'atmosphère,
- 14 thermomètres à résistance de platine  $100 \Omega$  à  $0^\circ\text{C}$  de Marque Heraeus Sensor, montage 4 fils, mesurant la température à différents niveaux de l'espace entre-enceintes et auxquels sont affectés des volumes partiels,
- 4 hygromètres à chlorure de lithium, permettant le calcul de la pression partielle de vapeur d'eau à différents niveaux de l'espace entre-enceintes et auxquels sont affectés des volumes partiels,
- 1 centrale d'acquisition et de retraitement des données de type HP pilotée par un ordinateur, à laquelle sont reliés tous les capteurs.

### 3.2. CONTROLE ET CARACTERISATION DE LA MESURE DE $Q_{EEE}$

Le matériel dédié à la mesure du taux de fuite de l'espace entre-enceintes est complété par un ensemble d'appareils de mesure utilisés pendant la phase de caractérisation, pour réguler et quantifier les débits de référence injectés dans l'espace entre-enceintes.

Ce matériel et sa mise en œuvre sont décrits en détail dans la note technique réf. [3] annexe 1.

Il est principalement constitué :

- d'une ligne de mesure de débit, composée de 2 turbines de référence associées à 2 thermomètres et à 2 manomètres qui permettent de ramener le débit injecté aux conditions normales de température et de pression,
- d'une chaîne d'acquisitions et de traitement des données pilotée par un ordinateur (la même que pour les mesures de taux de fuite), complétée par des cartes de comptage d'impulsions assurant les mesures des fréquences en sortie des turbines,
- d'un régulateur de débit permettant le réglage et la stabilisation du débit injecté dans l'espace entre-enceintes.

#### 3.2.1. Contrôle de l'installation de mesure

Bien que l'installation implantée dans l'espace entre-enceintes soit provisoire, elle doit répondre aux mêmes exigences métrologiques que celles utilisées pour les mesures de la fuite globale de la paroi interne. Les contrôles préliminaires à l'essai doivent donc satisfaire aux mêmes critères.

Les contrôles sur site du câblage électrique de mesure et des circuits pneumatiques donnent les résultats suivants :

- les résistances d'isolement relevées sont en partie supérieures à 1 G $\Omega$ . Ces valeurs sont conformes aux limites admissibles citées dans la procédure (1 G $\Omega$  et 100 M $\Omega$  terre/blindage). Seules quelques sondes ont un isolement légèrement inférieur au critère. Néanmoins, ce résultat n'est pas préjudiciable pour la suite du contrôle.
- lors de la simulation de mesure avec des résistances de précision de 501  $\Omega$  à 514  $\Omega$  à la place des thermomètres et de 120  $\Omega$  à 123  $\Omega$  à la place des hygromètres, la dispersion maximale des mesures est la suivante :
  - $\Rightarrow \pm 19.10^{-4} \Omega$  avec un écart-type maximum de  $6.10^{-4} \Omega$  pour les thermomètres,
  - $\Rightarrow \pm 13.10^{-4} \Omega$  avec un écart-type maximum de  $5.10^{-4} \Omega$  pour les hygromètres.

On constate que toutes les voies (thermomètres et hygromètres), excepté la voie du thermomètre T11, sont dans le critère admissible (critère dispersion :  $10^{-2} \Omega$ , critère écart-type :  $5.10^{-3} \Omega$ ). Ce contrôle valide complètement le test précédent. La voie du thermomètre T11 montre une dispersion légèrement supérieure au critère admissible ( $\pm 1,55.10^{-2} \Omega$  avec un écart-type de  $4,7.10^{-3} \Omega$ ). L'équipe DTG a validé, à la suite de plusieurs mesures, le comportement de cette sonde par comparaison avec des sondes situées dans la même zone.

- après mise en pression de la ligne pneumatique à 0,2 MPa, la fuite calculée sur 9h est de  $-10,0 \text{ hPa.h}^{-1}$  pour un critère fixé à  $-10 \text{ hPa.h}^{-1}$ .

### 3.2.2. Caractérisation du système de mesure

La phase de caractérisation du système de mesure a été réalisée par la file 50ZV du système EDE, commandée automatiquement à partir de la salle de commande.

Vingt huit points de caractérisation de l'EEE ont été réalisés du 15 au 25 octobre 2001 sur la tranche 1 de CIVAUX. On peut constater une dispersion un peu moins importante que pendant la première épreuve (voir annexe 9).

Pendant toute la phase d'étalonnage, la configuration d'essai a été la suivante :

- enceinte interne isolée par rapport à l'espace entre-enceintes, le bâtiment réacteur est approximativement à la pression atmosphérique,
- enceinte externe isolée par rapport à l'extérieur, les sas d'accès à l'espace entre-enceintes sont condamnés fermés.

La pression dans l'espace entre-enceintes varie au gré des cycles de pression créés par l'alternance entre les injections de débits de référence et les mises en dépression par le système EDE.

Les débits injectés sont quantifiés par l'intermédiaire de deux turbines étalons, dont les références sont données en annexe 9.

Le système de mesure de  $Q_{eee}$  est dans sa configuration définitive d'essai.

Un suivi de la pression BAN, réalisé à partir d'un manomètre mis en place par le CNPE, a été réalisé durant toute la phase d'étalonnage et de l'essai proprement dit.

L'annexe 9 présente un tableau des points de caractérisation, ainsi que

le graphique de dispersion des valeurs de  $\frac{Q_{eee(mesuré)} - Q_{inj}}{Q_{inj}}$ , écarts relatifs entre le débit calculé

et le débit moyen injecté, tracé en fonction du débit calculé (Q mesuré).

Le résultat de la caractérisation avec 26 points validés donne un facteur de correction  $k = 0,998$  et un écart type  $s = 2,228\%$ .

### 3.3. DEROULEMENT DE L'EVALUATION DES FUITES NON TRANSITANTES

L'évaluation des fuites non transitantes par l'espace entre-enceintes a été réalisée pendant l'épreuve enceinte, au cours du palier à la pression nominale d'essai (0,43 MPa).

Le déroulement chronologique des mesures de Fnt a été le suivant :

**Le 08/11/2001 :**

- **Point N°1 (radier sec)**

23 h 30 : début des mesures de taux de fuite global pour Fnt,  
mise en dépression de l'EEE jusqu'à -9 hPa,  
pas d'injection supplémentaire du BR vers l'EEE,  
début des mesures de taux de fuite dynamique.

**Le 09/11/2001 :**

03 h 00 : fin du point N°1 radier sec.

- **Point N°2 (radier en eau)**

16 h 30 : début des mesures de taux de fuite global pour Fnt,  
mise en dépression de l'EEE jusqu'à -8 hPa,  
début des mesures de taux de fuite dynamique.

20 h 00 : fin du point N°2 radier en eau.

- **Point N°3 (radier en eau)**

20 h 05 : début des mesures de taux de fuite global pour Fnt,  
mise en dépression de l'EEE jusqu'à -5 hPa,  
début des mesures de taux de fuite dynamique.

23 h 40 : fin du point N°3 radier en eau.

Ce point n'a pas été retenu du fait d'un changement de pente anormal sur la courbe de masse après le passage à delta P nul. Aucune explication particulière n'a été trouvée pour identifier ce phénomène malgré notre recherche auprès de l'AMT et du CNPE.

- **Point N°4 (radier en eau)**

23 h 50 : début des mesures de taux de fuite global pour Fnt,  
mise en dépression de l'EEE jusqu'à -5 hPa,  
début des mesures de taux de fuite dynamique.

**Le 10/11/2001 :**

03 h 10 : fin du point N°4 radier en eau.

### 3.4. ANALYSE ET RESULTATS

Compte-tenu du débit de fuite  $Q_m$  obtenu au palier nominal ( $Q_m$  est dans la plage de caractérisation de l'EEE), aucune fuite supplémentaire n'a été créée de la paroi interne vers l'espace entre-enceintes pour la mesure des fuites non transitantes.

Pendant cette phase d'essai, deux mesures simultanées sont réalisées. La mesure du débit de fuite global de la paroi interne ( $Q_m$ ) et la mesure du taux de fuite dynamique de l'espace entre-enceintes ( $F_{eee}$ ,  $Q_{eee}$ ).

Pour chacune de ces valeurs, les périodes de calcul prises en compte représentent un intervalle d'environ  $\pm 1$  heure par rapport à l'instant de passage à  $\Delta P$  nul entre l'espace entre-enceintes et l'atmosphère (cf. annexe 4).

La valeur prise en compte de  $Q_m$  est celle calculée dans les conditions d'essai (valeur réelle du débit sortant de la paroi interne). La quantification de cette valeur  $Q_m$  se fait, comme pour  $Q_{eee}$ , par calcul de la dérivée de la fonction [masse d'air enceinte interne =  $f(t)$ ], exprimée sous la forme d'un polynôme de régression aux moindres carrés d'ordre 2, à l'instant de passage à  $\Delta P = 0$ . Ceci permet de prendre en compte la légère influence de la variation du  $\Delta P$  entre la paroi interne et l'espace entre-enceintes sur  $Q_m$  au cours des cycles de pression.

Pour  $Q_{eee}$ , la valeur prise en compte est celle du débit calculé à partir des mesures de taux de fuite dynamique de l'espace entre-enceintes, corrigée d'un facteur de correction  $k'$ .

Remarque : en accord avec l'appui technique du parc (cf. fiche de dérogation D4171/IMP/2001-01700-A), ce coefficient  $k'$  a été obtenu avec une méthodologie optimisée de calcul des incertitudes Fnt (d'après la note DRD HP 12.99/064-A) cf. courbe en annexe.

L'évaluation de  $Q_{nt}$  est obtenue en additionnant algébriquement ces deux valeurs (cf. annexe 4).

L'annexe 10 présente successivement, pour l'ensemble des points, le graphe des variations relatives des paramètres de mesure dans l'espace entre-enceintes ( $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$ ,  $m_a$  et  $\Delta P$ ), les variations relatives  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$  de l'enceinte interne, l'évolution du débit de fuite ainsi que les calculs relatifs à  $Q_m$ . Pour chacun des points le bilan des fuites est le suivant :

### 3.4.1. Palier 0,43 MPa - radier sec

Point N°1 :

$Q_{eee}$ brut (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_{eee}$ corrigé (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_{eee})$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_m$ (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_m)$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_{nt}$ (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_{nt})$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
62,7	<b>64,5</b>	1,7	<b>-72,0</b>	2,9	<b>-7,5</b>	<b>4,5</b>

Le programme établi pour cette ré-épreuve prévoit systématiquement la phase de noyage du radier, quelque soit le résultat de la fuite non transitante radier sec. Par ailleurs, le regonflage du BR n'a pas été nécessaire.

### 3.4.2. Palier 0,43 MPa - radier en eau

Point N°2 :

$Q_{eee}$ brut (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_{eee}$ corrigé (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_{eee})$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_m$ (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_m)$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_{nt}$ (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_{nt})$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
53,6	<b>55,9</b>	1,7	<b>-60,9</b>	2,3	<b>-5,0</b>	<b>4,1</b>

Le point n°3 n'a pas été retenu pour les raisons indiquées dans le déroulement de l'essai.

Point N°4 :

$Q_{eee}$ brut (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_{eee}$ corrigé (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_{eee})$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_m$ (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_m)$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$Q_{nt}$ (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	$U(Q_{nt})$ ± (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
51,4	<b>53,8</b>	1,7	<b>-59,5</b>	2,0	<b>-5,7</b>	<b>3,9</b>

Ces valeurs mesurées successivement sont cohérentes. Elles montrent que le noyage du radier a permis de réduire les fuites non transitantes d'environ  $2 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Par convention, la valeur de la fuite retenue est prise égale à la moyenne des grandeurs et, par conservatisme, l'incertitude retenue est égale à la plus forte des incertitudes, soit :

$$Q_{nt} (\text{radier en eau}) = -5,4 \pm 4,1 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Une synthèse des résultats est présentée en annexe 11.

## 4. ANALYSE DE LA MESURE SUGTEN

### 4.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE SUGTEN

La méthode SUGTEN (**SU**ivi en **G**onflage du **T**aux de fuite de l'**EN**ceinte interne) a pour but de suivre l'évolution, lors de la mise en pression de 0,1 MPa à la pression nominale d'essai de l'enceinte interne, du débit de fuite qui transite de l'enceinte interne vers l'espace entre-enceintes.

Partant du principe que les fuites non transitantes sont faibles et que l'essentiel de la fuite globale est collectée dans l'espace entre-enceintes, la mesure SUGTEN permet donc d'avoir une bonne idée du comportement de l'enceinte interne en terme d'étanchéité lors de sa mise en pression.

En particulier, SUGTEN permet de détecter des dégradations de l'ouvrage affectant l'étanchéité globale (exemple : fissures débitantes à proximité du tampon matériel). Le seuil de détection de ces dégradations, si la mise en œuvre de SUGTEN est correcte, est de  $5 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Le principe théorique de SUGTEN est détaillé dans la note technique réf. [5]. On rappelle toutefois le principe de la mesure :

- à intervalles réguliers (2 à 3 minutes) est estimée la masse d'air sec contenue dans l'espace entre-enceintes, préalablement mis en dépression par le système EDE,
- cette masse est corrigée de la masse d'air échangée par la paroi externe (dans le cas de l'espace entre-enceintes en dépression, il s'agit d'un apport) ; ceci nécessite d'avoir au préalable établi le modèle de fuite de la paroi externe, qui est un modèle linéaire en fonction de la différence de pression entre-enceintes / atmosphère,
- on calcule le débit ayant réellement transité de l'enceinte interne vers l'espace entre-enceintes en calculant, par ajustement linéaire aux moindres carrés sur une fenêtre de 30 minutes ou moins, la variation de la masse d'air corrigée des échanges par la paroi externe.

### 4.2. DEROULEMENT DE LA MESURE SUGTEN

SUGTEN a été mis en œuvre pendant la phase de mise en pression (de 0,1 MPa à 0,43 MPa relatif) de l'enceinte interne et pendant la phase de dégonflage (de 0,43 MPa à 0,03 MPa relatif).

L'analyse du tracé des voies d'acquisition de l'ensemble des capteurs montre qu'ils ont parfaitement fonctionné sur toute la durée de la mesure SUGTEN.

**SUGTEN gonflage de l'enceinte interne :**

**Le 07/11/2001 :**

08 h 30 : montage des hygromètres dans l'EEE.

10 h 55 : début de la mesure SUGTEN à la montée,  
dépressurisation de l'EEE à -12 hPa.

**Le 08/11/2001 :**

01 h 20 : nouvelle dépressurisation de l'EEE à - 5 hPa.

05 h 40 : nouvelle dépressurisation de l'EEE à - 5 hPa.

09 h 45 : fin de la mesure SUGTEN. La mesure a été prolongée pendant les 2 premières heures du palier 0,43 MPa.

**SUGTEN dégonflage de l'enceinte interne :**

**Le 10/11/2001 :**

05 h 00 : début de la mesure SUGTEN à la descente.

**Le 12/11/2001 :**

09 h 00 : fin de la mesure SUGTEN.

### 4.3. ANALYSE ET RESULTATS

Les graphes de l'évolution du débit SUGTEN à la montée et à la descente sont fournis en annexe 14.

#### 4.3.1. Mesure SUGTEN au gonflage (0,1 MPa => 0,43 MPa relatif)

L'analyse de la courbe d'évolution du débit de fuite transitant par l'entre-enceinte (noté QSUGTEN) permet de dégager les tendances suivantes :

**De 0,1 à 0,38 MPa relatif :**

De 0,1 MPa à environ 0,38 MPa relatif, l'évolution du débit de fuite transitant (QSUGTEN) est globalement linéaire en fonction de  $(P_{enceinte}^2 - P_{eee}^2)$ .

**De 0,38 à 0,43 MPa relatif :**

Au delà de 0,38 MPa, la courbe de débit s'infléchit pour atteindre un débit transitant d'environ :  $85 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  à 0,433 MPa relatif.

#### 4.3.2. Mesure SUGTEN au dégonflage (0,43 MPa => 0,2 MPa relatif)

Le suivi de SUGTEN au dégonflage était prévu entre 0,4265 et 0,2 MPa relatif (conformément au programme d'épreuve).

L'espace entre-enceintes n'étant pas requis dès l'arrivée à 0,2 MPa, les mesures SUGTEN ont été poursuivies jusqu'à la dépose de l'instrumentation, soit 0,03 MPa (cf. fig 2).

L'analyse de la figure 2 montre que la courbe SUGTEN descente est proche de la courbe obtenue au gonflage.

Les premières valeurs de débit SUGTEN descente sont toutefois inférieures à celles obtenues en fin de gonflage. Cette différence s'explique par le noyage radier ( $-11,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  sur  $Q_m$ ), ainsi que par la légère baisse de pression relative depuis la fin du gonflage.

## 5. MESURE DU DEBIT DE FUITE DE LA PAROI EXTERNE

### 5.1. RAPPEL DU PRINCIPE

Le principe de mesure du débit de fuite de la paroi externe des enceintes de confinement à double paroi béton est décrit dans la note réf. [6].

On rappellera brièvement les grands principes de cette méthode de mesure :

- au terme de la caractérisation de la mesure du débit transitant dans l'espace entre-enceintes,  $Q_{eee}$ , sont dépouillés les points de caractérisation dits « longs », c'est-à-dire durant lesquels la dépressurisation de l'espace entre-enceintes a été importante. Ces points ont l'avantage de présenter un grand nombre de mesures exploitables,
- sur une fenêtre glissante de deux heures (60 mesures) sont calculés :
  1. la différence de pression moyenne entre l'espace entre-enceintes et l'atmosphère,
  2. le débit corrigé de gaz entrant dans l'espace entre-enceintes,  $k \cdot Q_{eee}$ . Ce débit est la somme du débit injecté et du débit de fuite (compté algébriquement) de la paroi externe.

On en déduit une caractéristique d'étanchéité de la paroi externe de CIVAUX 1 qui est, dans une plage de différence de pression entre l'espace entre-enceintes et l'atmosphère allant de -15 hPa à +10 hPa, linéaire en fonction de cette pression différentielle :

$$Q_e = A \cdot \Delta P + B$$

Les incertitudes respectives sur la pente  $A$  et sur l'ordonnée à l'origine  $B$ , sont évaluées et permettent de déduire l'incertitude sur la valeur de débit de fuite de la paroi externe, calculée à une pression différentielle donnée :

$$U(Q_e) = \sqrt{U^2(A) \cdot \Delta P^2 + U^2(B)}$$

#### Remarque 1 :

On exprime généralement le débit de fuite de la paroi externe à une différence de pression entre l'espace entre-enceintes et l'atmosphère de -3 hPa. Les formules de calcul sont donc :

$$Q_e = 3 \cdot A + B$$

$$U(Q_e) = \sqrt{9 \cdot U^2(A) + U^2(B)}$$

**Remarque 2 :**

Les valeurs de  $A$  et  $B$  obtenues sont directement utilisées dans le cadre de la mesure SUGTEN.

**5.2. RESULTATS**

Six points « longs » ont été exploités pour le calcul du débit de fuite de la paroi externe de CIVAUX 1, dans le cadre de la ré-épreuve, aux débits d'injection suivants :

50 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

75 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

110 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

130 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

160 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

200 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>

Les résultats obtenus sont cohérents et donnent la modélisation moyenne suivante pour une plage de delta P exploitable de -15 à 10 hPa :

$$A = -9,25 \pm 0,21 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$$

$$B = -2,07 \pm 1,26 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

On en déduit le débit de fuite de la paroi externe de CIVAUX 1, exprimé à la dépression de -3 hPa :

$$Q_e = +25,7 \pm 1,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

On trouvera en annexe 13 le graphe de la modélisation du débit de fuite de la PE, ainsi qu'un tableau avec les différents résultats.

## 6. CONCLUSION

### Taux de fuite de la paroi interne :

Les valeurs du taux de fuite de la paroi interne, calculées aux conditions nominales d'essai, sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Taux de fuite } F_m \text{ (CNE)} &= -0,49 \pm 0,02 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1} \\ \text{Débit de fuite } Q_m \text{ (CNE)} &= -71,5 \pm 3,1 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Ces résultats sont obtenus pour un volume libre standard d'exploitation de 72 700 m<sup>3</sup> et pour la pression de dimensionnement de l'enceinte, soit 0,43 MPa relatif.

Ces valeurs sont inférieures au critère de taux de fuite fixé pour cette épreuve à **-1,1 %·j<sup>-1</sup>**, soit un débit de fuite de **-162 Nm<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>**.

Une aspersion complète du parement externe de la paroi interne a par ailleurs été réalisée dès le début du palier nominal radier sec.

Les mesures de débit de fuite réalisées avant et après noyage du radier indiquent une fuite par le radier (et éventuellement une partie du gousset) de :

$$Q_r = -11,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

### Débit des fuites non transitoires :

Le débit des fuites non transitoires est estimé à :

$$\begin{aligned} \text{Qty radier sec} &= -7,5 \pm 4,5 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \\ \text{Qty radier en eau} &= -5,4 \pm 4,1 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

pour un critère de fuites non transitoires radier en eau fixé à **-13 Nm<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>**.

### Fuite de la paroi externe :

Le débit de fuite de la paroi externe, pour une dépression de -3 hPa entre l'EEE et l'extérieur est de :

$$Q_e = +25,7 \pm 1,4 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

pour un critère de 50 Nm<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

**SUGTEN :****Mesure réalisée à la montée :**

Le suivi en gonflage du taux de fuite de l'enceinte interne montre une évolution globalement linéaire du débit de fuite jusqu'à 0,38 MPa, puis une inflexion de la courbe pour atteindre un débit d'environ  $85 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

**Mesure réalisée à la descente :**

Le suivi en dégonflage du taux de fuite de l'enceinte interne montre une courbe très proche de celle obtenue au gonflage.

## 7. ANNEXES

### 7.1. ANNEXE 1 : DOCUMENTS DE REFERENCE

**réf. [1] :**

D4137/NT/1999-01331-A

P. CHAMBRIARD

Mesure du taux de fuite de l'enceinte interne de confinement - Paliers P4, P'4 et N4 -  
Procédure de préparation d'essai

**réf. [2] :**

D4137/NT/1999-01330-A

P. CHAMBRIARD

Mesure du taux de fuite de l'enceinte interne de confinement - Paliers P4, P'4 et N4 -  
Procédure d'essai

**réf. [3] :**

D4130/DTG-EM-2EC/93-020-B

P. MERINO

Mesure du taux de fuite - Enceintes à double paroi  
Fuites ne transitant pas par l'espace entre-enceintes (Fnt)

**réf. [4] :**

EDF Direction Etudes et Recherches, site de CHATOU

HP/266/80/23, juillet 1980

J.-L. GERMAIN

Mesure du taux de fuite des enceintes de confinement.  
Etude d'une méthode de calcul des incertitudes de mesure

**réf. [5] :**

D4137/NT/1998-01210-B

C. MASSIS / L. COUDERT

SUivi en Gonflage du Taux de fuite de l'ENceinte interne (SUGTEN)  
Etude de faisabilité

**réf. [6] :**

D4137/NT/1999-01112-A

L. COUDERT

Enceintes à double paroi béton  
Mesure du débit de fuite de la paroi externe  
Principe de mesure - calcul de l'incertitude associée

## 7.2. ANNEXE 2 : MESURE DU TAUX DE FUITE GLOBAL - PRINCIPE DE LA MESURE

La mesure du taux de fuite est effectuée avec la méthode dite "absolue".

Elle consiste à mesurer l'évolution de la masse d'air sec contenue dans l'enceinte pour différentes valeurs de la pression, notamment celle qui correspond à l'accident de perte du réfrigérant primaire, soit 0,43 MPa de pression effective.

Le taux de fuite est la variation relative de cette masse par unité de temps ; il est exprimé en %/jour.

La masse d'air sec est calculée à partir de l'équation des gaz parfaits :

$$m_a = M_a \frac{(P - e'_w) \cdot V}{R \cdot T}$$

La pression  $P - e'_w$  est obtenue à l'aide des mesures de la pression totale dans l'enceinte  $P$ , et de la pression partielle moyenne de vapeur d'eau dans l'enceinte,  $e'_w$ .

L'enceinte étant compartimentée, les mesures de température moyenne et de pression partielle moyenne de vapeur d'eau demandent un grand nombre de capteurs. Chaque capteur donne une valeur représentative du volume qui lui est affecté.

Pour déterminer la valeur du taux de fuite, on calcule à chaque relevé la masse  $m_a$ , puis la pente de variation de ces valeurs par un ajustement linéaire aux moindres carrés.

Cette pente, rapportée à la masse moyenne  $\overline{m_a}$  de l'air présent dans l'enceinte durant la période de calcul prise en compte, donne la valeur du taux de fuite.

Rappelons qu'une valeur positive correspond à un apport de gaz dans l'enceinte, et une valeur négative à une fuite vers l'extérieur de l'enceinte.

Une interprétation physique de la fuite est donnée par le débit de fuite volumique normal de l'enceinte en normaux mètres-cubes par heure ( $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). Ce débit correspond au volume d'air de l'enceinte, ramené aux conditions normales de température et de pression, qui a fui en une heure.

Le volume normal d'air sec contenu dans l'enceinte vaut :

$$V_{Na} = V \cdot \frac{P - e'_w}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$$

La pente de variation de cette grandeur calculée par ajustement linéaire aux moindres carrés donne le débit de fuite moyen d'air sec.

### **Suivi de la fuite globale pendant l'essai :**

Par ailleurs, pour suivre graphiquement en temps réel l'évolution des termes  $P$ ,  $e'_w$ ,  $T$  et  $m_a$ , nous admettons que leurs variations sont faibles. Dans cette hypothèse, la variation relative de masse est donnée par l'expression :

$$\frac{\Delta m_a}{m_{a0}} = \frac{\Delta(P - e'_w)}{(P - e'_w)_0} + \frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\Delta T}{T_0}$$

L'indice zéro (0) correspond au premier relevé d'une période de mesure. Le terme  $\frac{\Delta V}{V_0}$  est en général négligeable (sauf si exceptionnellement des apports ou des retraits de liquides ont eu lieu pendant les mesures).

On a donc :

$$\frac{\Delta m_a}{m_{a0}} = \frac{\Delta P}{(P-e'_w)_0} \frac{\Delta e'_w}{(P-e'_w)_0} \frac{\Delta T}{T_0}$$

Cette relation met en évidence l'influence directe de chaque grandeur mesurée sur le taux de fuite.

Nous tracerons donc l'évolution temporelle des termes :

$\frac{\Delta P}{(P-e'_w)_0}$ ,  $\frac{\Delta e'_w}{(P-e'_w)_0}$ ,  $\frac{\Delta T}{T_0}$  et leur combinaison  $\frac{\Delta m_a}{m_{a0}}$  pour chaque palier.

### 7.3. ANNEXE 3 : MESURE DU TAUX DE FUITE GLOBAL - INCERTITUDES ASSOCIEES

Le calcul des incertitudes est présenté dans la note technique réf. [1].

La description détaillée de cette méthode de calcul est donnée dans le rapport réf. [4].

Le résumé de la méthode est le suivant :

- Pour chaque type de mesure (variation de température, d'hygrométrie, de pression et éventuellement du volume libre), on dresse une liste complète des principales causes d'erreurs.
- Les éventuelles erreurs à caractère systématique sont évaluées, on détermine la correction correspondante et l'erreur aléatoire résiduelle.
- Si le nombre de mesures est suffisant, les erreurs indépendantes entre mesures d'un même type sont estimées par une analyse statistique.

Les paragraphes suivants détaillent la liste des principales sources d'erreurs.

#### 7.3.1. Mesures de température

Erreurs indépendantes entre thermomètres →  $s_1$  (erreurs indépendantes liées à la prise en compte des coefficients standards de la norme CEI 751, fluctuations des thermocouples parasites, fluctuations de l'auto-échauffement, résolution du voltmètre, représentativité des points de mesure).

- L'incertitude globale due à ces erreurs est estimée par une analyse statistique des pentes de variations mesurées par chaque sonde (méthode des « strates »). Elle est spécifique à chaque palier, car elle dépend de l'hétérogénéité de l'atmosphère de l'enceinte.
- Erreurs d'étalonnage des sondes →  $u_2$  : une incertitude relative sur la variation de la température moyenne est calculée à partir des caractéristiques de la norme CEI 751.
- Erreurs dues au temps de réponse et au rayonnement thermique. Ces erreurs sont négligeables après quelques heures de palier si les sondes ont un temps de réponse inférieur à trois minutes et si elles sont protégées du rayonnement par un capuchon ou un écran en aluminium poli et brillant.

#### 7.3.2. Mesures d'hygrométrie

- Erreurs indépendantes entre hygromètres →  $s_3$  (erreurs de représentativité, écart par rapport à la courbe d'étalonnage standard, fluctuations locales de la vitesse de l'air sur les sondes, résolution du voltmètre).
- L'incertitude globale est estimée par une analyse statistique des pentes de variations mesurées par chaque sonde. Les valeurs calculées dépendent de l'hétérogénéité de l'atmosphère de l'enceinte, donc des conditions propres à chaque palier.

- Erreur due aux variations de la tension d'alimentation des sondes →  $u_4$ . Cette erreur est de l'ordre de  $0,07^{\circ}\text{C}$  de température de rosée par Volt de variation de l'alimentation 24 V pour les hygromètres à chlorure de lithium. **Pour les hygromètres à condensation (type DEW 10), cette erreur est négligeable.**

### 7.3.3. Mesures de pression

- Erreur due aux variations de la température ambiante autour des capteurs →  $u_5$ . L'incertitude correspondante est estimée à :  $(2 \cdot 10^{-5}$  de la pleine échelle +  $2 \cdot 10^{-5}$  de la mesure)/j.
- Erreur due aux variations de la tension d'alimentation →  $u_6$ . Pour une variation moyenne de la tension de 9 %/j, l'incertitude correspondante est de :  $(2 \cdot 10^{-5}$  de la pleine échelle +  $1,5 \cdot 10^{-5}$  de la mesure)/j.

**Pour les manomètres DESGRANGES & HUOT de type RPM1 utilisés pour l'essai de CIVAUX 1, cette incertitude est considérée comme négligeable.**

- Erreur due à l'étalonnage →  $u_7$ . L'incertitude correspondante est estimée par  $5 \cdot 10^{-3}$  de la pente de variation moyenne de pression rencontrée pendant le palier.
- Erreur due à une variation de température de la ligne de prise de pression →  $u_8$ . Elle est à recalculer suivant la hauteur de cette ligne (7 m pour les enceintes type N4) et les variations de température qui peuvent s'y produire (on considère une variation de  $4^{\circ}\text{C}$  par jour).
- Erreurs indépendantes entre capteurs →  $u_9$ . L'incertitude correspondante est estimée à :
  - $0,2 \text{ hPa/j}$  ( $0,3 \text{ hPa/j}$  si l'on utilise 1 seul capteur) pour les paliers de plus de 10 heures de durée et pour le palier 0 MPa effectif,
  - $0,3 \text{ hPa/j}$  ( $0,4 \text{ hPa/j}$  pour 1 seul capteur) pour les autres paliers.

### 7.3.4. Mesures de volume

- Erreur sur le volume libre de l'enceinte →  $i_{10}$  (1 % pour le palier N4) qui entraîne une incertitude sur le débit de fuite exprimé en  $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et sur la variation relative du volume libre  $u_{10}$ , **au cas où celui-ci aurait été modifié.** L'erreur d'estimation du volume libre n'entraîne pas d'erreur sur la mesure du taux de fuite.
- Erreur sur la pente de variation du volume libre →  $u_{11}$ . L'incertitude correspondante sera estimée d'après les caractéristiques des indicateurs utilisés pour réaliser ces mesures éventuelles.

### 7.3.5. Composition des incertitudes

Sauf pour les composantes  $u_4$  et  $u_6$  qui ont la même cause (variations de la tension d'alimentation), toutes les erreurs sont indépendantes. On a donc :

$$U(F_m) = \sqrt{s_1^2 + u_2^2 + s_3^2 + (u_4 + u_6)^2 + u_5^2 + u_7^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{10}^2 + u_{11}^2}$$

Comme  $Q_m = F_m \cdot \frac{1}{2400} \cdot V \cdot \frac{P - e'_w}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$ , on obtient par composition des variances l'incertitude sur le débit de fuite global :

$$U(Q_m) = \frac{1}{2400} \cdot V \cdot \frac{P - e'_w}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \sqrt{U(F_m)^2 + F_m^2 \cdot i_{10}^2}$$

On remarque ici que l'incertitude sur le débit de fuite sera d'autant plus importante que le taux de fuite sera important

## 7.4. ANNEXE 4 : EVALUATION DES FUITES NE TRANSITANT PAS PAR L'ESPACE ENTRE-ENCEINTES - PRINCIPE DE LA METHODE ET INCERTITUDES

Pour les enceintes de confinement à double paroi en béton, la fuite globale de la paroi interne,  $Q_m$  peut se décomposer de la façon suivante :

- les fuites transitant par l'EEE, collectées par cet espace :  $Q_t$ ,
- les fuites ne transitant pas par l'EEE :  $Q_{nt}$ .

$Q_{nt}$  constitue une **évaluation majorante des fuites non collectées**, dans la mesure où une partie de ces fuites ne transitant pas par l'espace entre-enceintes débouche dans des bâtiments périphériques (BAN, BK, etc.).

### 7.4.1. Généralités

Le seuil d'acceptabilité des fuites non collectées dans l'espace entre-enceintes étant exprimé en débit normal d'air sec, nous exprimerons leurs estimations grâce à  $Q_{nt}$  ( $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ).

$Q_{nt}$  ne peut être quantifié directement. La méthode de mesure de la fuite de la paroi interne ( $Q_m$ ) étant connue et appliquée, l'objectif est de quantifier  $Q_t$ , la part de  $Q_m$  qui transite par l'espace entre-enceintes. La différence entre ces deux valeurs permet une évaluation des fuites qui ne transitent pas par l'espace entre-enceintes,  $Q_{nt}$  :

$$Q_{nt} = Q_m - Q_t$$

Il existe en permanence un débit s'écoulant au travers de la paroi externe ( $Q_e$ ). On peut donc écrire :

$$Q_t = - (Q_{eee} + Q_e)$$

Lorsque l'écart entre la pression dans l'espace entre-enceintes et la pression atmosphérique est nul, le débit s'écoulant au travers de la paroi externe est nécessairement nul  $\rightarrow Q_e = 0$ . On a alors :

$$Q_t = - Q_{eee}$$

Grâce à la mesure du débit de fuite global de la paroi interne ( $Q_m$ ), qui est mesuré par ailleurs, on obtient alors  $Q_{nt}$  :

$$Q_{nt} = Q_m + Q_{eee}$$

Les valeurs de débit sont comptées algébriquement, soit des valeurs négatives pour des débits sortants. Le débit  $Q_m$  sera donc négatif, tandis que  $Q_{eee}$  sera positif, avec  $|Q_m| \geq |Q_{eee}|$ .

### 7.4.2. Mise en œuvre de la mesure

Pour pouvoir quantifier  $Q_{eee}$ , la méthode absolue a été adaptée aux particularités des mesures dans l'espace entre-enceintes. La fréquence d'acquisition des données a été augmentée et l'on crée, à l'aide du système EDE, des cycles de pression entre - 30 et + 30 hPa pour disposer des conditions de mesure requises (passage à  $\Delta P = 0$ ).

Au cours de ces cycles, le taux de fuite global de l'espace entre-enceintes,  $F_{eee}$ , est égal à la pente de variation  $\left(\frac{\partial m_a}{\partial t}\right)_{t=t_0}$  de la masse d'air sec au passage à  $\Delta P = 0$ , ramenée à la masse totale d'air sec présente dans l'espace entre-enceintes :

$$F_{eee} = \left(\frac{\partial m_a}{\partial t}\right)_{t=t_0} \cdot \frac{1}{m_a(t_0)} \quad (\% \cdot j^{-1})$$

$t_0$  étant le temps de passage à  $\Delta P = 0$ .

Pour calculer cette pente on détermine l'équation de la courbe d'évolution de la masse en fonction du temps, par régression parabolique aux moindres carrés. L'intervalle de calcul des coefficients de la parabole de régression est calculé sur  $[t_{\min}; t_{\max}]$  avec :

- $t_{\max} = t_0 + 1$  heure,
- $t_{\min} \approx t_0 - 1$  heure.

On a  $m_a(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2$ , d'où  $\left(\frac{\partial m_a}{\partial t}(t)\right)_{t=t_0} = a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot t_0$ , qui est la pente de la tangente à la courbe en  $t_0$ .

Le débit de fuite global de l'espace entre-enceintes ( $Q_{eee}$ ) est alors :

$$Q_{eee} = F_{eee} \times \frac{V_{eee}}{2400} \times \frac{273,15}{T(t_0)} \times \frac{P(t_0) - e'_w(t_0)}{1013,25}$$

### 7.4.3. Caractérisation de la mesure de $Q_{eee}$

La quantification du débit de fuite  $Q_{eee}$  passe par la connaissance du volume de l'espace entre-enceintes. L'incertitude sur ce volume a un impact direct sur l'incertitude sur  $Q_{eee}$ .

D'autre part, la difficulté présentée par une détermination rigoureuse du  $\Delta P = 0$  entre l'espace entre-enceintes et l'atmosphère, qui peut dépendre de la localisation des points de mesure, rend délicate l'application directe de la méthode globale.

Pour pallier ces difficultés, il est nécessaire de procéder à une **caractérisation du système de mesure** sur site, préalablement à l'essai ou dans les jours qui suivent l'évaluation des fuites non collectées dans l'espace entre-enceintes.

Après installation complète du système de mesure dans sa configuration d'essai définitive, des injections de débits sont réalisées dans l'espace entre-enceintes pour simuler un apport de la paroi interne. Ces débits de référence sont mesurés par des débitmètres volumiques de grande précision.

Leur comparaison avec les apports calculés par le système de mesure du taux de fuite dynamique permet de calculer un **facteur de correction d'étalonnage (k)** qui sera appliqué pendant l'essai pour corriger la valeur brute du débit  $Q_{eee}$  mesuré dans l'espace entre-enceintes :

$$Q_{eee(\text{réel})} = k \cdot Q_{eee(\text{mesuré})} \quad (1)$$

En effet, les turbines de référence fournissent une indication sur le débit moyen injecté,  $Q_{inj}$ . Ce débit correspond au débit d'apport réel dans l'espace entre-enceintes, soit  $Q_{eee(\text{réel})}$ . Si l'on introduit la grandeur d'écart  $x$ , avec :

$$x = \frac{Q_{eee(\text{mesuré})} - Q_{inj}}{Q_{inj}} \quad (2)$$

on a, avec (1), la relation :  $k = 1 - \frac{x}{100}$ .

Au cas où la caractérisation du système de mesure est faite après l'évaluation de  $Q_{nt}$ , on prend initialement  $k = 1$ , puis on recalcule a posteriori l'apport réel de gaz dans l'espace entre-enceintes.

Cette phase d'étalonnage a un double objectif. D'une part, elle permet la réduction des erreurs systématiques sur la mesure de  $Q_{eee}$ , par la détermination de la correction à apporter au calcul de cet apport ; d'autre part, elle permet de globaliser les incertitudes dues aux erreurs aléatoires, aux effets des grandeurs d'influence, aux composants du système de mesure, etc.

L'étalage dans le temps et un nombre suffisant de points de caractérisation du système de mesure permet de prendre en compte une dispersion des grandeurs d'influences englobant les conditions dans lesquelles seront effectuées les évaluations des débits de fuites non collectées dans l'espace entre-enceintes.

La plage des débits d'apport dans l'espace entre-enceintes habituellement rencontrés lors des essais ( $50$  à  $250 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) est balayée de façon à obtenir une quinzaine de points de caractérisation exploitables. Si la caractérisation est faite a posteriori, une dizaine de points sera effectuée autour de la valeur d'apport mesurée sans correction.

#### 7.4.4. Estimation des incertitudes liées à la caractérisation du système de mesure

La caractérisation du système de mesure des débits de fuites non collectées dans l'espace entre-enceintes met en œuvre :

- un débit de référence, mesuré par deux débitmètres volumiques FAURE HERMANN,
- un système de mesure de l'apport global dans l'espace entre-enceintes, composé de 14 thermomètres, 4 hygromètres, 2 capteurs de pression différentielle, une centrale d'acquisition reliée à un voltmètre.

Nous avons vu au § précédent qu'effectuer une dizaine à une quinzaine de points de caractérisation du système de mesure permettait d'englober les incertitudes dues au système d'acquisition, aux variations des grandeurs d'influence, etc.

On calcule pour chacun de ces points  $x = \frac{Q_{eee(mesur\acute{e})} - Q_{inj}}{Q_{inj}}$  ; la dispersion des valeurs de  $x$  en % donne directement une quantification de ces incertitudes. On appellera  $s_{caract}$  cette dispersion (égale à l'écart-type expérimental des  $x$  calculés).

On trouvera en annexe 9 les valeurs de  $x = \frac{Q_{eee(mesur\acute{e})} - Q_{inj}}{Q_{inj}}$  pour la caractérisation de CIVAUX 1, et le calcul de l'écart-type associé,  $s_{caract}$ .

#### 7.4.5. Estimation des incertitudes sur $Q_{nt}$

Nous rappelons que, lorsque l'écart entre la pression dans l'espace entre-enceintes et la pression atmosphérique est nul, on a :

$$Q_{nt} = Q_m + k \cdot Q_{eee}$$

Les composantes entrant dans le calcul de l'incertitude finale sont donc :

- l'incertitude sur le débit de fuite global de la paroi interne,  $Q_m$ ,
- l'incertitude sur l'apport réel de gaz dans l'espace entre-enceintes,  $k \cdot Q_{eee}$ .

##### Incertitude sur $Q_m$ :

Le calcul de l'incertitude associée à  $Q_m$ ,  $U(Q_m)$ , est détaillé en annexe 3. Cette incertitude étant élargie avec un facteur d'élargissement de 2, on prendra comme incertitude-type correspondante  $u_1 = \frac{U(Q_m)}{2}$ . L'ordre de grandeur de  $U(Q_m)$  varie de 2 à 6 Nm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

##### Incertitude sur $k \cdot Q_{eee}$ :

Cette incertitude provient de l'erreur commise sur la valeur de  $k$ . Elle prend en compte :

- l'incertitude sur les valeurs de débit injecté lors de la caractérisation,  $u_2$ ,
- l'incertitude sur les valeurs de  $k \cdot Q_{eee}$ .

La première composante se calcule directement à partir de l'incertitude  $U(Q_{inj})$  sur la lecture de débit par les débitmètres volumiques, maximisée en prenant en compte un certain pourcentage de la pleine échelle (0,5 % de la pleine échelle pour les turbines FAURE HERMANN). Cette incertitude étant élargie avec un facteur d'élargissement de  $\sqrt{3}$ , on prendra comme incertitude-

$$\text{type : } u_2 = \frac{U(Q_{inj})}{\sqrt{3}}$$

L'utilisation de deux turbines permet de réduire cette incertitude-type à  $u_2 = \frac{U(Q_{inj})}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}}$ .

La seconde composante est obtenue en multipliant la dispersion des valeurs de  $x$ ,  $s_{caract}$ , par la valeur mesurée de l'apport de gaz dans l'entre-enceintes,  $Q_{eee}$ . On obtient un écart-type  $s_1$  avec  $s_1 = s_{caract} \cdot Q_{eee}$ .

Ces composantes sont liées (une erreur sur la valeur de débit injecté lors de la caractérisation du système de mesure ayant un impact direct sur les valeurs de  $x$ ), donc l'incertitude-type sur  $k \cdot Q_{eee}$  vaut :

$$u_{k \cdot Q_{eee}} = \frac{U(Q_{inj})}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} + s_{caract} \cdot Q_{eee}$$

Incertitude finale sur la valeur de  $Q_{nt}$  :

Les mesures de  $k \cdot Q_{eee}$  et de  $Q_m$  étant indépendantes, on obtient, avec un coefficient d'élargissement de 2 correspondant à un niveau de confiance de 0,5%, l'incertitude  $U(Q_{nt})$  sur la valeur du débit de fuite non transitant dans l'espace entre-enceintes :

$$U(Q_{nt}) = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{U(Q_m)}{2}\right)^2 + \left(\frac{U(Q_{inj})}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} + s_{caract} \cdot Q_{eee}\right)^2}$$

**REMARQUE :**

Dans le cadre de l'épreuve enceinte de CIVAUX 1, la méthode d'estimation des incertitudes sur les fuites non transitées, a été légèrement différente de celle définie ci-dessus.

En effet, la méthode utilisée a été celle développée dernièrement par la DRD (cf. note DRD HP 12.99/064-A). Elle consiste à un changement de repère de la courbe de caractérisation de l'EEE. Cette courbe est centrée sur la valeur de  $Q_{eee}$  obtenue lors de la mesure des Fnt. A terme cette méthode sera utilisée systématiquement pour le calcul des incertitudes sur les Fnt.

L'utilisation de cette méthode pour l'épreuve enceinte de CIVAUX 1 a fait l'objet d'une fiche de dérogation qui a été acceptée par le client.

## 7.5. ANNEXE 5 : PALIER A 0 MPA RELATIF

Annexe comprenant :

- répartition des capacités ouvertes sur l'enceinte,
- volumes élémentaires affectés aux sondes T et H (2 pages),
- variations relatives des grandeurs  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$ ,
- résultats et incertitudes.

CIRCUIT OU CAPACITE EVENTE	LOCAL	VOLUMES REPARTIS (m3)	SONDES CONCERNEES
Ballon SAR	RE 0502	14	T2 / H1
Ballon RPE	RD 0501	11	T7 / H1
Ballon RDP	RB 0503	60	T14 / H2
Tuyauteries et échangeur RRA	RB 0603-RC 0601		T15 / H2
Accumulateurs RIS 1 et 2	RB 0906-RC 0906		T30 / H5
Accumulateurs RIS 3 et 4	RE 0906-RD 0906		T33 / H5
Pressuriseur	RE 1004	60	T28 / H5
Cuve		172	T25 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 4)		14	T16 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 1)		14	T20 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 2)		14	T21 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 3)		14	T25 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 4)		36	T18 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 1)		36	T19 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 2)		36	T23 / H3
Circuit primaire (tuyaux et GV 3)		36	T24 / H3
Secondaire GV1	RB 1001		T29 / H6
Secondaire GV1 - tuyauteries			T37 / H8
Secondaire GV2	RC 1003		T31 / H6
Secondaire GV2 - tuyauteries			T38 / H8
Secondaire GV3	RD 1001		T32 / H6
Secondaire GV3 - tuyauteries			T39 / H8
Secondaire GV4	RE 1003		T27 / H6
Secondaire GV4 - tuyauteries			T36 / H8

EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 14:24

## IMPRESSION VALIDITE ET VOLUMES DES CAPTEURS

Campagne : CVX Ibis  
Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001  
Numéro de l'essai : 30  
Intitulé de l'essai : PALIER OMPa 06/11/01  
Zone : 0

## LISTE DES THERMOMETRES ET HYGROMETRES ( VOLUME TOTAL: 73217.00 ) :

REFERENCE CAPTEUR	VOLUME COURANT	VOLUME INITIAL
B0	0.00	0.00
T1	1049.00	1049.00
T2	505.00	505.00
T3	439.00	439.00
T4	1049.00	1049.00
T5	225.00	225.00
T6	425.00	425.00
T7	534.00	534.00
T8	472.00	472.00
T9	1506.00	1506.00
T10	430.00	430.00
T11	429.00	429.00
T12	1490.00	1490.00
T13	422.00	422.00
T14	284.00	284.00
T15	132.00	132.00
T16	263.00	263.00
T17	1618.00	1618.00
T18	303.00	303.00
T19	392.00	392.00
T20	262.00	262.00
T21	262.00	262.00
T22	1588.00	1588.00
T23	392.00	392.00
T24	303.00	303.00
T25	435.00	435.00
T26	528.00	528.00
T27	711.00	711.00
T28	906.00	906.00
T29	711.00	711.00
T30	2954.00	2954.00
T31	711.00	711.00
T32	711.00	711.00
T33	2939.00	2939.00
T34	855.00	855.00
T35	1206.00	1206.00
T36	4390.00	4390.00
T37	4459.00	4459.00
T38	4459.00	4459.00
T39	4453.00	4453.00
T40	4398.00	4398.00
T41	4398.00	4398.00
T42	4398.00	4398.00
T43	4398.00	4398.00



EDF-DTG

MEDITE V2.28

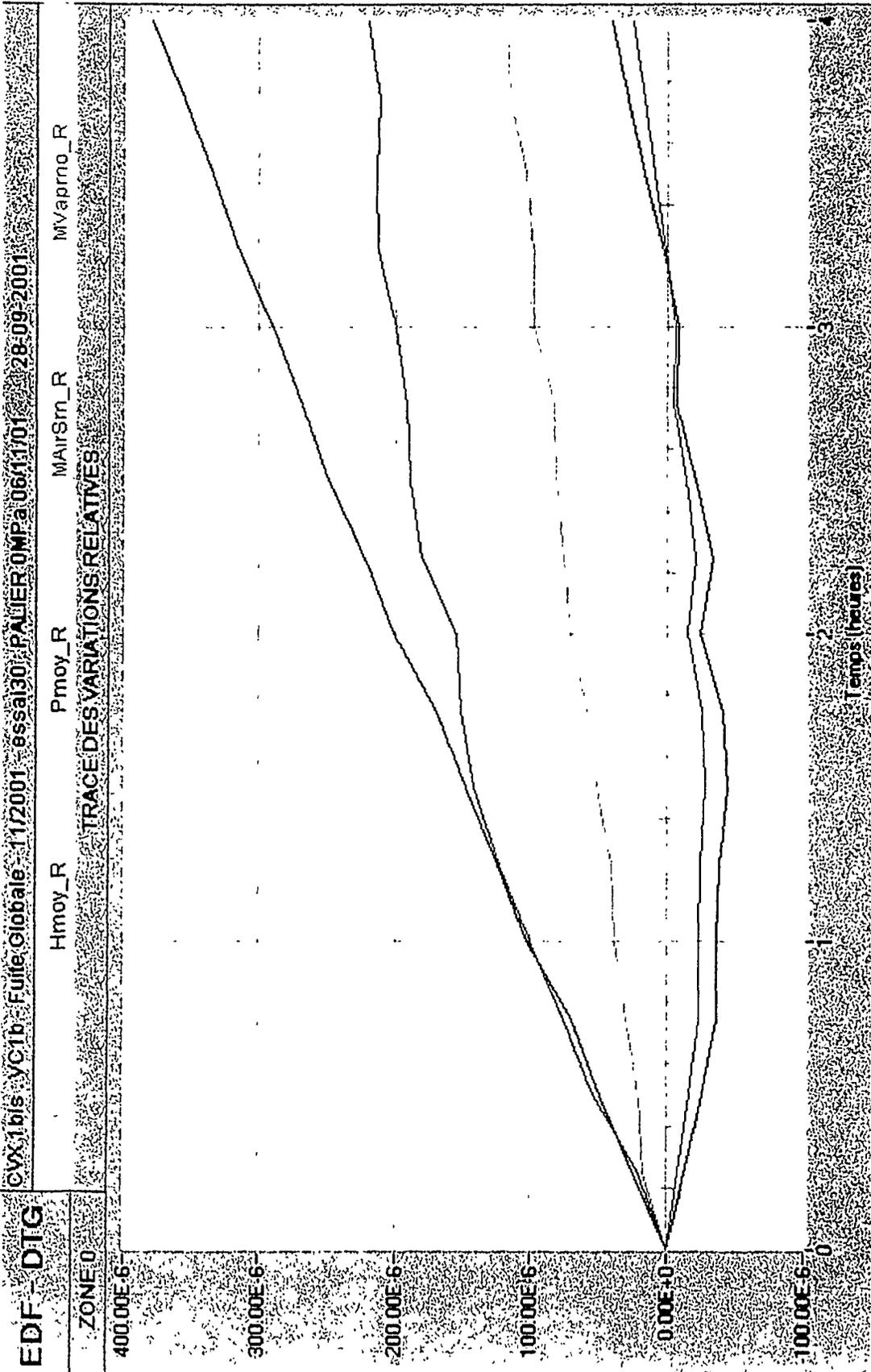
Le 15-04-2002 à 14:24

IMPRESSION VALIDITE ET VOLUMES DES CAPTEURS

Campagne : CVX 1bis  
Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001  
Numéro de l'essai : 30  
Intitulé de l'essai : PALIER OMPa 06/11/01  
Zone : 0

LISTE DES THERMOMETRES ET HYGROMETRES ( VOLUME TOTAL: 73217.00 ):

REFERENCE CAPTEUR	VOLUME COURANT	VOLUME INITIAL
T44	10423.00	10423.00
Tlocal	0.00	0.00
H1	4226.00	4226.00
H2	5165.00	5165.00
H3	3140.00	3140.00
H4	3206.00	3206.00
H5	6799.00	6799.00
H6	2844.00	2844.00
H7	2061.00	2061.00
H8	17761.00	17761.00
H9	17592.00	17592.00
H10	10423.00	10423.00



EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 11:09

**MESURE DES TAUX DE FUITE**

Campagne : CVX Ibis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 30

Intitulé de l'essai : PALIER OMPa 06/11/01

Zone : 0

Premier relevé 9 Dernier relevé 17

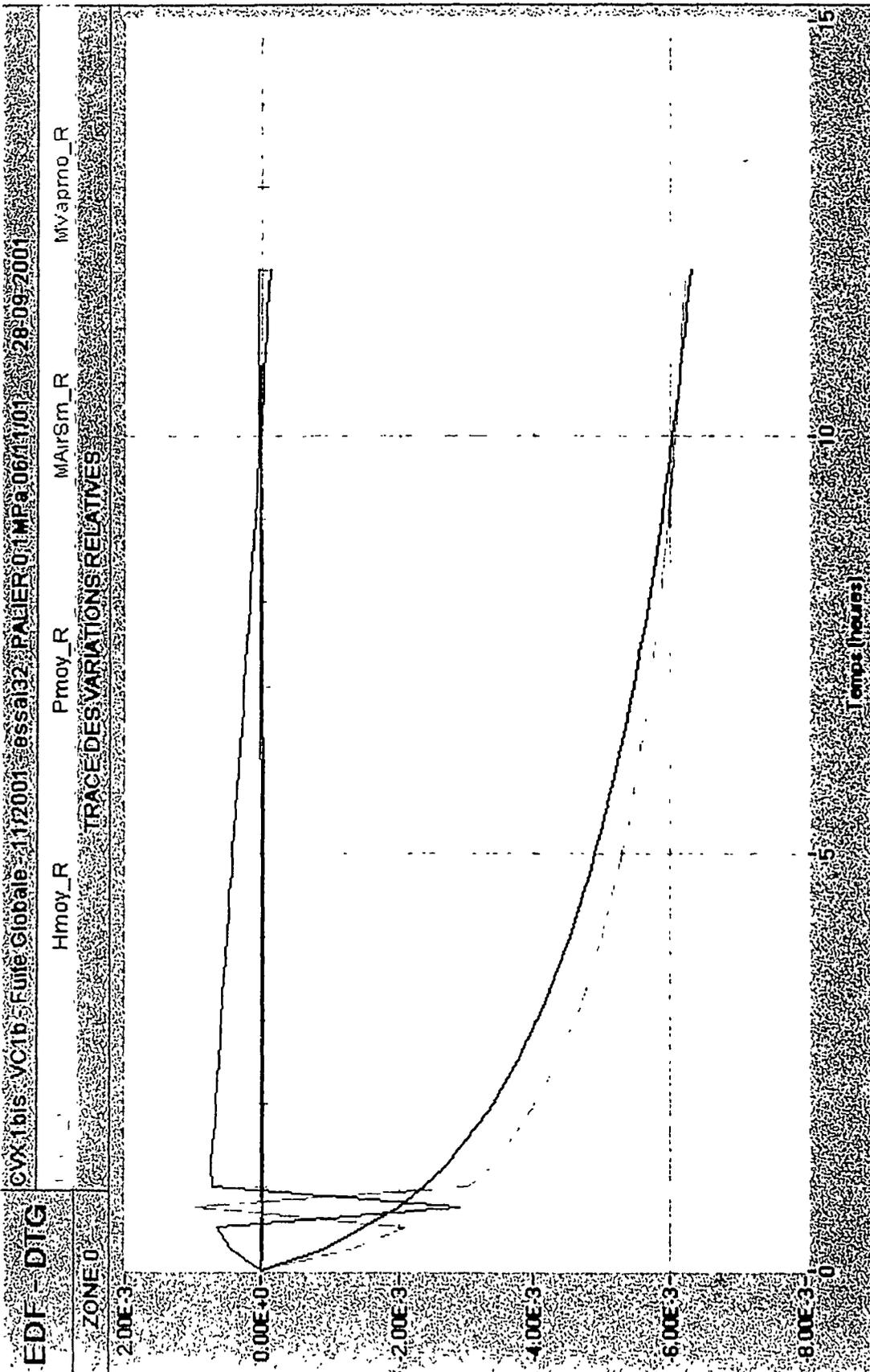
	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm <sup>3</sup> /h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	0.0384
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 1016.12 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 1.27 (hPa)		
Pente de variation pression	: 2.15 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0011	0.0302
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.0319
Erreurs indépendantes	:	0.0141	0.3975
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 9.89 (hPa)		
Pente de variation e'w	: 0.87 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes	:	0.0061	0.1727
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 19.47 (°C)		
Pente de variation	: 0.17 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0001	0.0034
Erreurs indépendantes	:	0.0098	0.2764

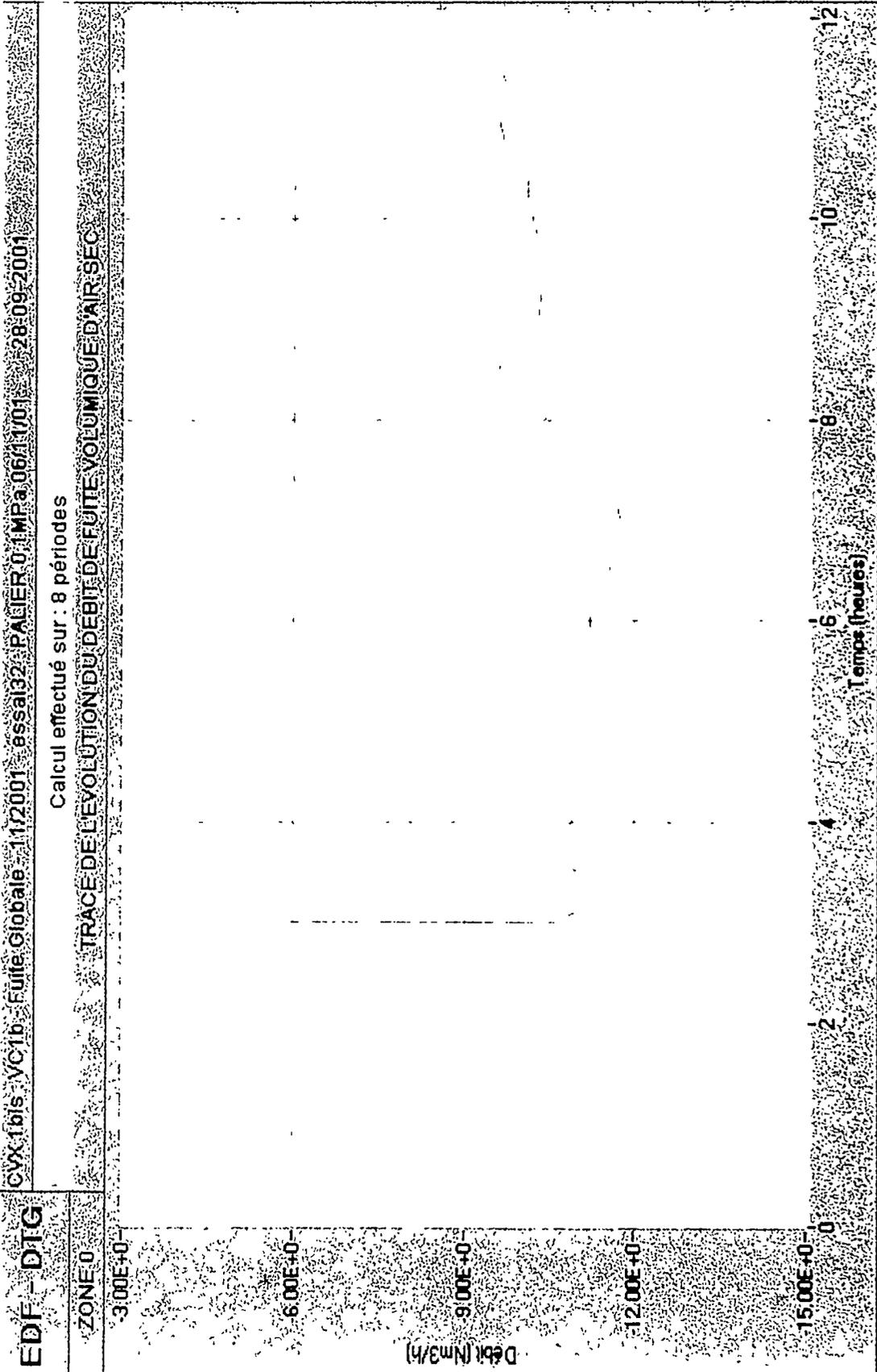
RESULTATS :	(%/j)	(Nm <sup>3</sup> /h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: 0.0678 +/- 0.0182	
Débit de fuite vol air sec (CE)		: 1.9181 +/- 0.5173
Débit de fuite mas air sec (CE)		: 2.4787 +/- 0.6685
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.8081 +/- 0.0182	
Débit de fuite vol air sec (CNE)		: -22.3311 +/- 0.5173
Taux de fuite vapeur (CE)	: 8.6666 +/- 0.0115	
Débit de fuite vol vapeur (CE)		: 2.4151 +/- 0.0483
Débit de fuite mas vapeur (CE)		: 1.9412 +/- 0.0388

## 7.6. ANNEXE 6 : PALIER A 0,1 MPA RELATIF

Annexe comprenant :

- variations relatives des grandeurs  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$ ,
- tracé de l'évolution du débit de fuite,
- résultats et incertitudes.





EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 11:12

**MESURE DES TAUX DE FUITE**

Campagne : CVX Ibis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 32

Intitulé de l'essai : PALIER 0,1MPa 06/11/01

Zone : 0

Premier relevé : 33 Dernier relevé : 49

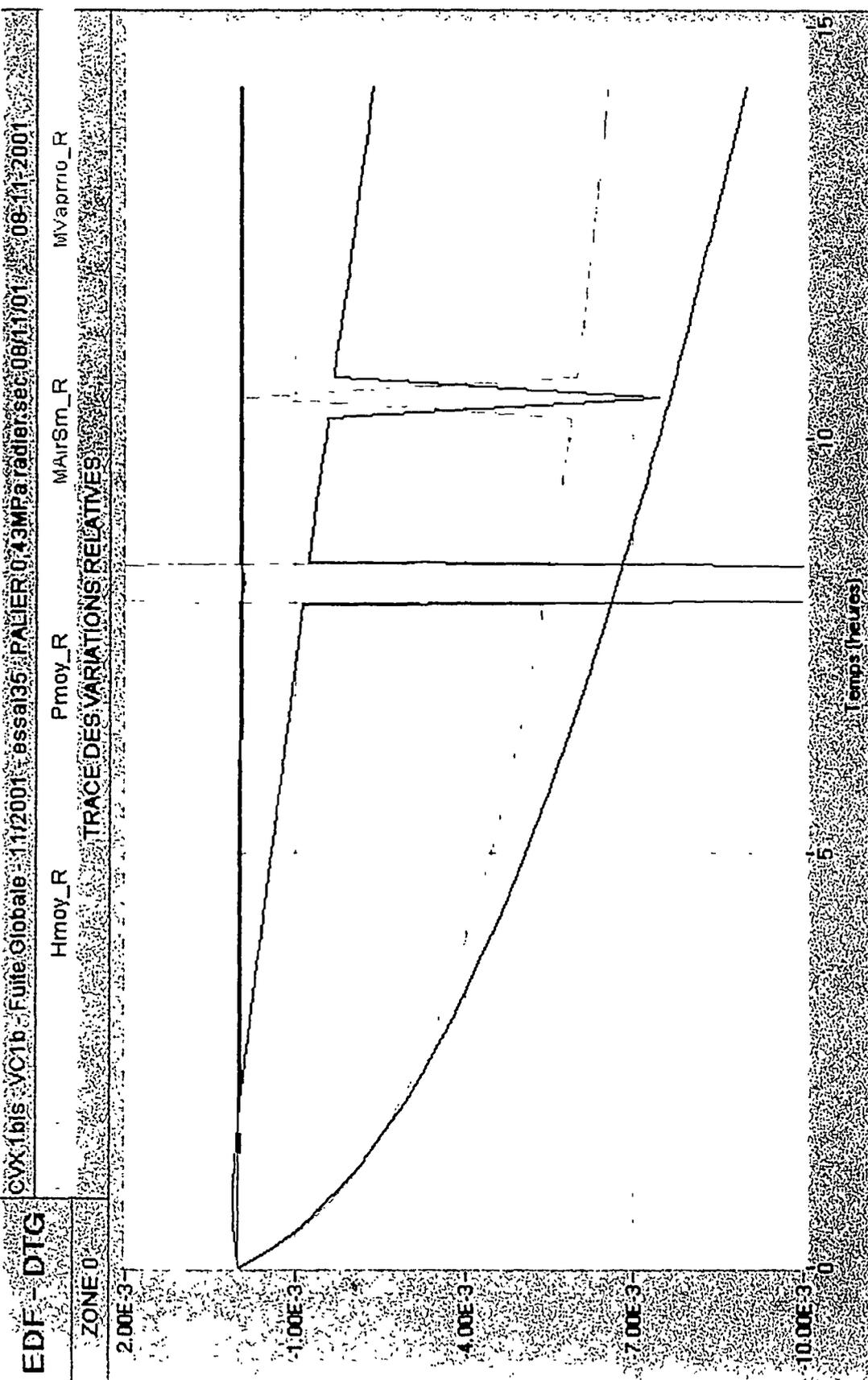
	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	0.1986
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 2005.23 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 992.43 (hPa)		
Pente de variation pression	: -7.41 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0019	0.1039
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.0625
Erreurs indépendantes		0.0071	0.3965
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 11.01 (hPa)		
Pente de variation e'w	: 0.64 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes		0.0071	0.3984
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.18 (°C)		
Pente de variation	: -0.66 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0005	0.0253
Erreurs indépendantes		0.0103	0.5742

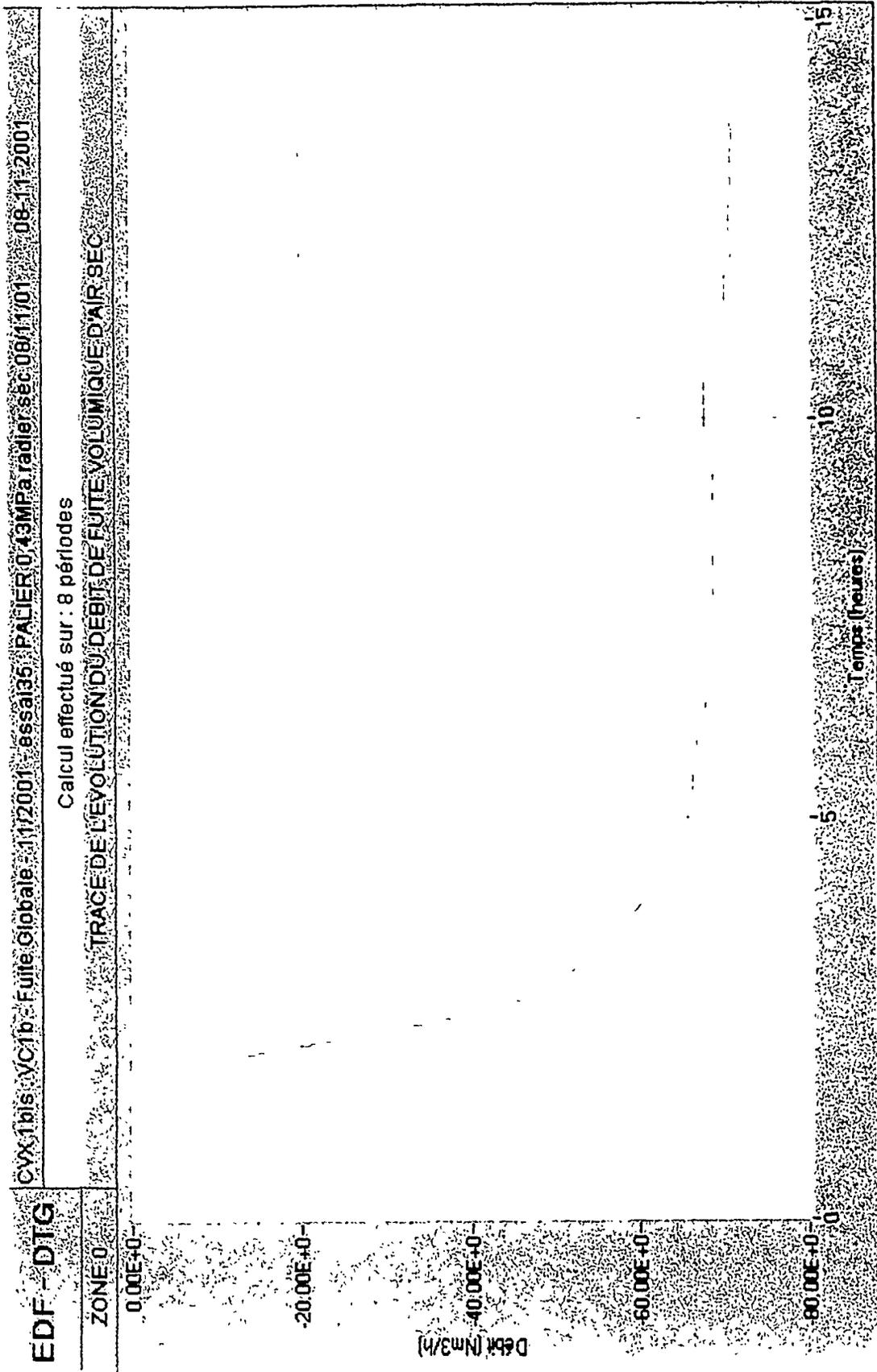
RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.1776 +/- 0.0145	
Débit de fuite vol air sec (CE)		: -9.9285 +/- 0.8369
Débit de fuite mas air sec (CE)		: -12.8304 +/- 1.0815
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.1782 +/- 0.0145	
Débit de fuite vol air sec (CNE)		: -9.8679 +/- 0.8369
Taux de fuite vapeur (CE)	: 5.9924 +/- 0.0125	
Débit de fuite vol vapeur (CE)		: 1.8593 +/- 0.0372
Débit de fuite mas vapeur (CE)		: 1.4945 +/- 0.0299

## 7.7. ANNEXE 7 : PALIER A 0,43 MPA RELATIF RADIER SEC

Annexe comprenant :

- variations relatives des grandeurs  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$ ,
- tracé de l'évolution du débit de fuite,
- résultats et incertitudes.





EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 11:13

**MESURE DES TAUX DE FUITE**

Campagne : CVX 1bis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 35

Intitulé de l'essai : PALIER 0,43MPa radier sec 08/11/01

Zone : 0

Premier relevé : 42    Dernier relevé : 58

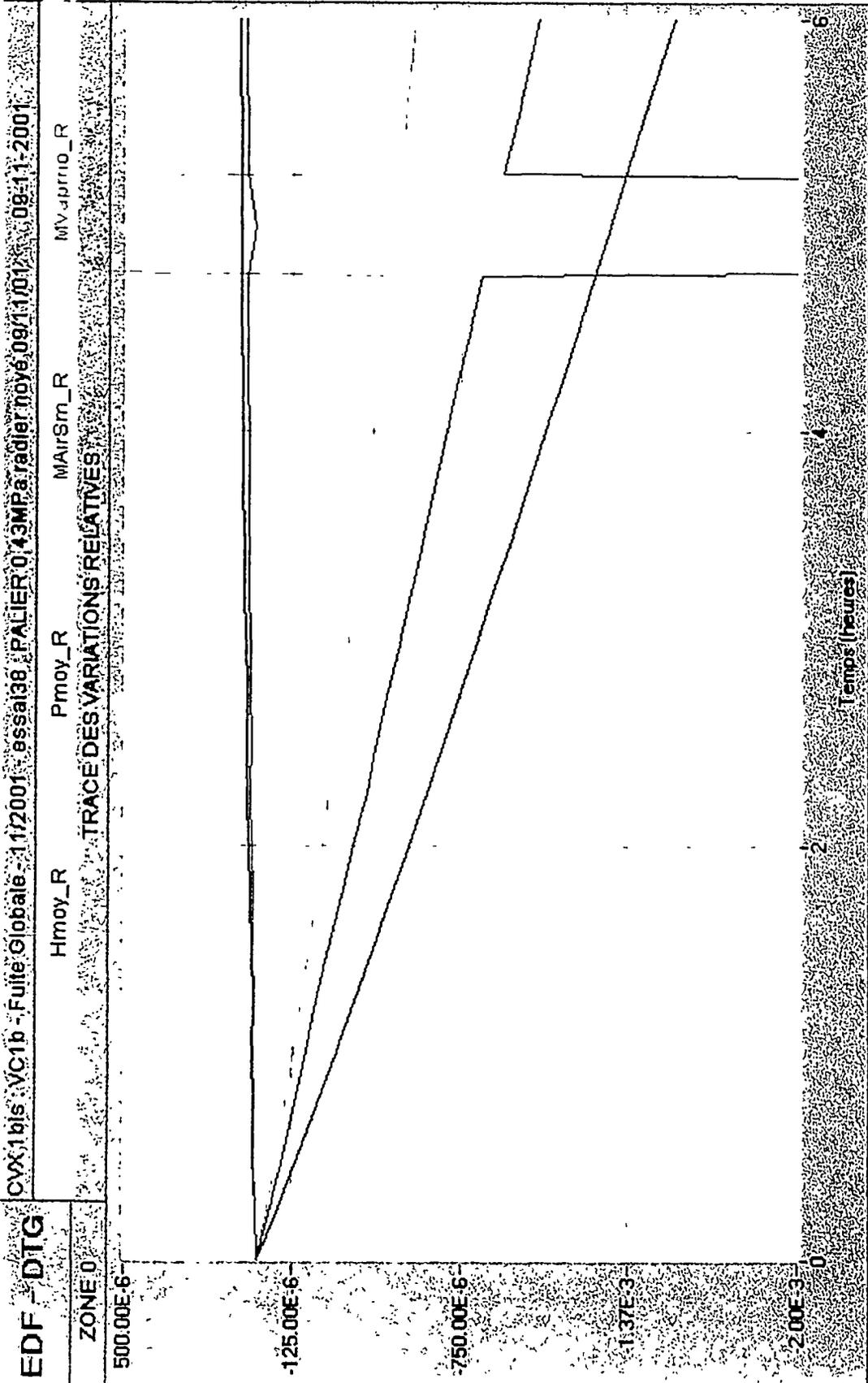
	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	1.4291
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 5301.33 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 4295.35 (hPa)		
Pente de variation pression	: -46.29 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0044	0.6472
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.1640
Erreurs indépendantes		0.0027	0.3955
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 15.43 (hPa)		
Pente de variation e'w	: -0.06 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes		0.0083	1.2329
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.93 (°C)		
Pente de variation	: -1.15 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0008	0.1158
Erreurs indépendantes		0.0158	2.3355

RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.4834 +/- 0.0186	
Débit de fuite vol air sec (CE)		-71.4260 +/- 3.1036
Débit de fuite mas air sec (CE)		-92.3022 +/- 4.0108
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.4871 +/- 0.0186	
Débit de fuite vol air sec (CNE)		-71.5057 +/- 3.1036
Taux de fuite vapeur (CE)	: -0.0002 +/- 0.0179	
Débit de fuite vol vapeur (CE)		-0.0001 +/- 0.0077
Débit de fuite mas vapeur (CE)		-0.0001 +/- 0.0062

## 7.8. ANNEXE 8 : PALIER A 0,43 MPA RELATIF RADIER EN EAU

Annexe comprenant :

- variations relatives des grandeurs  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$ ,
- tracé de l'évolution du débit de fuite,
- résultats et incertitudes.



EDF - DTG

ZONE 0

500.00E-6

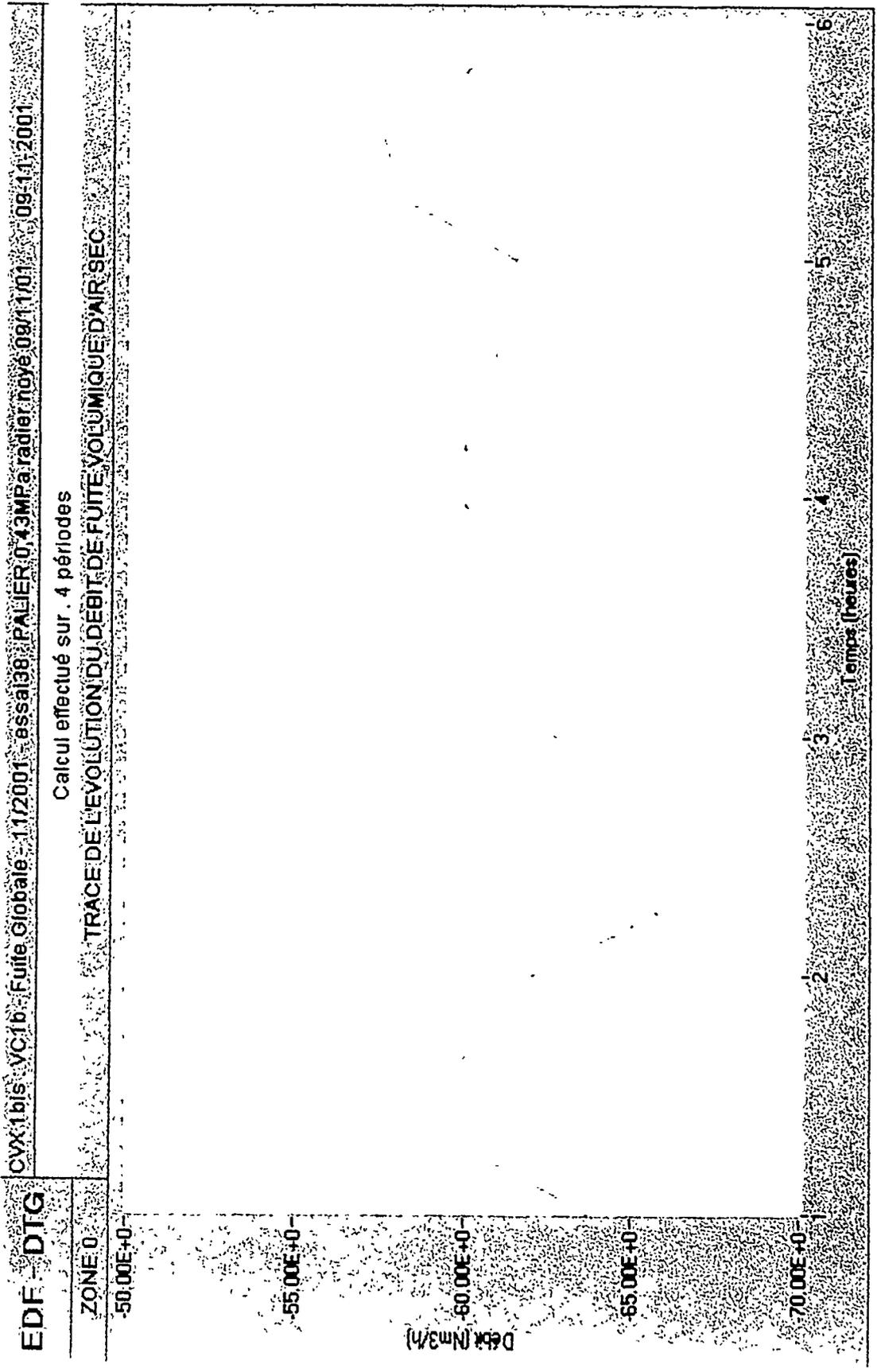
-125.00E-6

-750.00E-6

-1.37E-3

-2.00E-3

Temps (heures)



EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 11:16

**MESURE DES TAUX DE FUITE**

Campagne CVX 1bis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 38

Intitulé de l'essai : PALIER 0,43MPa radier noyé 09/11/01

Zone : 0

Premier relevé : 13    Dernier relevé : 25

	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	1.1961
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 5289.34 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 4278.34 (hPa)		
Pente de variation pression	: -30.76 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0029	0.4308
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.1645
Erreurs indépendantes		0.0040	0.5942
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 17.93 (hPa)		
Pente de variation e'w	: 0.93 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes		0.0106	1.5606
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.43 (°C)		
Pente de variation	: -0.58 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0004	0.0580
Erreurs indépendantes		0.0102	1.5039

RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.4050 +/- 0.0155	
Débit de fuite vol air sec (CE)		: -59.7891 +/- 2.5878
Débit de fuite mas air sec (CE)		: -77.2641 +/- 3.3442
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.4089 +/- 0.0155	
Débit de fuite vol air sec (CNE)		: -60.0839 +/- 2.5878
Taux de fuite vapeur (CE)	: 5.3608 +/- 0.0147	
Débit de fuite vol vapeur (CE)		: 2.7016 +/- 0.0543
Débit de fuite mas vapeur (CE)		: 2.1715 +/- 0.0437

## 7.9. ANNEXE 9 : CARACTERISATION DE LA MESURE DE $Q_{EEE}$

Annexe comprenant :

- tableau des points de caractérisation effectués,
- graphique de représentation de la dispersion des points.

Le 15-04-2002 à 11:18

MEDITE V2.28

IMPRESSION DU RECAPITULATIF DE LA CARACTERISATION

EDF-DTG

Campagne : CVX1bfnt

Intitulé de la campagne : VC1 - Fnt & SUGTEN - 11/2001

Coefficient de caractérisation k : 0.998  
 Incertitude sur le coefficient k (%): 2.228

Turbine 1: 37QVOL0001  
 Turbine 2: 37QVOL0002

Date	N° Pt	Bornes intervalle	Rel. dP=0	Qeee (Nm3/h)	Qinj (Nm3/h)	dQ/Q (%)	Qinj1 (Nm3/h)	dQ1/Q1 (%)	Qinj2 (Nm3/h)	dQ2/Q2 (%)	Validité	Commentaires
15/10/01	1	36	95	134.3	132.9	1.05	132.7	1.22	133.1	0.89	1	Pt1 Q=130 Nm3/h
15/10/01	2	80	140	75.7	77.0	-1.59	76.9	-1.46	77.1	-1.72	1	Pt2 long Q=75Nm3/h
15/10/01	3	58	118	240.0	231.5	3.67	231.1	3.86	231.9	3.48	1	Pt 3 Q = 230 Nm3/h
15/10/01	4	10	70	99.9	101.2	-1.29	101.0	-1.15	101.3	-1.44	1	Pt4 Q= 100Nm3/h
16/10/01	5	32	92	191.8	186.1	3.04	185.8	3.22	186.5	2.85	1	Pt5 Q=180Nm3/h
16/10/2001	6	90	150	113.0	111.6	1.24	111.4	1.41	111.8	1.08	1	Pt6 long Q=110Nm3/h
17/10/01	7	55	115	202.8	200.1	1.35	199.7	1.53	200.4	1.17	1	Pt7 Q=200Nm3/h
17/10/2001	8	19	79	122.9	119.9	2.49	119.7	2.66	120.1	2.33	1	Pt8 Q=120Nm3/h
17/10/01	9	25	85	50.8	50.6	0.36	50.6	0.39	50.6	0.33	1	Pt9 Q=50Nm3/h
17/10/2001	10	20	80	150.7	147.6	2.13	147.4	2.28	147.8	1.97	1	Pt10 Q=145Nm3/h
17/10/01	11	112	172	167.8	163.0	2.97	162.7	3.14	163.3	2.80	1	Pt11 long Q=160Nm3/h
18/10/2001	12	39	99	79.1	81.2	-2.54	81.0	-2.34	81.3	-2.74	1	Pt12 - Qinj=80Nm3/h
18/10/2001	13	34	94	171.8	171.6	0.12	171.3	0.28	171.8	-0.04	1	Pt13 Q=170Nm3/h
18/10/01	14	6	66	90.2	90.7	-0.55	90.5	-0.37	90.8	-0.72	1	Qinj = 90Nm3/h
18/10/01	15	182	242	210.7	203.5	3.56	203.1	3.74	203.8	3.39	1	Pt long - Qinj=200Nm
19/10/01	16	55	115	60.1	61.0	-1.51	60.9	-1.38	61.1	-1.63	1	Qinj=60Nm3/h
23/10/2001	17	17	77	105.4	106.3	-0.87	106.2	-0.72	106.5	-1.01	1	Pt17 - Qinj=105Nm3/h
23/10/01	18	27	87	138.3	138.8	-0.33	138.6	-0.18	139.0	-0.47	1	Pt 18 Qinj=140Nm3/h
23/10/2001	19	41	101	181.7	177.1	2.60	176.8	2.78	177.4	2.43	1	Pt19-Qinj = 175Nm3/h
23/10/01	20	169	229	49.0	51.3	-4.51	51.3	-4.49	51.3	-4.53	1	Pt 20 long Q=50Nm3/h
24/10/2001	21	12	72	62.5	65.4	-4.50	65.3	-4.35	65.5	-4.65	1	Pt21-Qinj=65Nm3/h
24/10/2001	22	88	148	81.6	82.7	-1.35	82.5	-1.16	82.9	-1.55	1	Pt22-Qinj=80Nm3/h
24/10/01	23	34	94	123.9	124.8	-0.71	124.6	-0.57	125.0	-0.84	1	Qinj =125Nm3/h
24/10/2001	24	164	224	133.1	131.3	1.34	131.1	1.50	131.5	1.19	1	Pt24 - Qinj=130Nm3/h

page 1

Le 15-04-2002 à 11:18

MEDITE V2.28

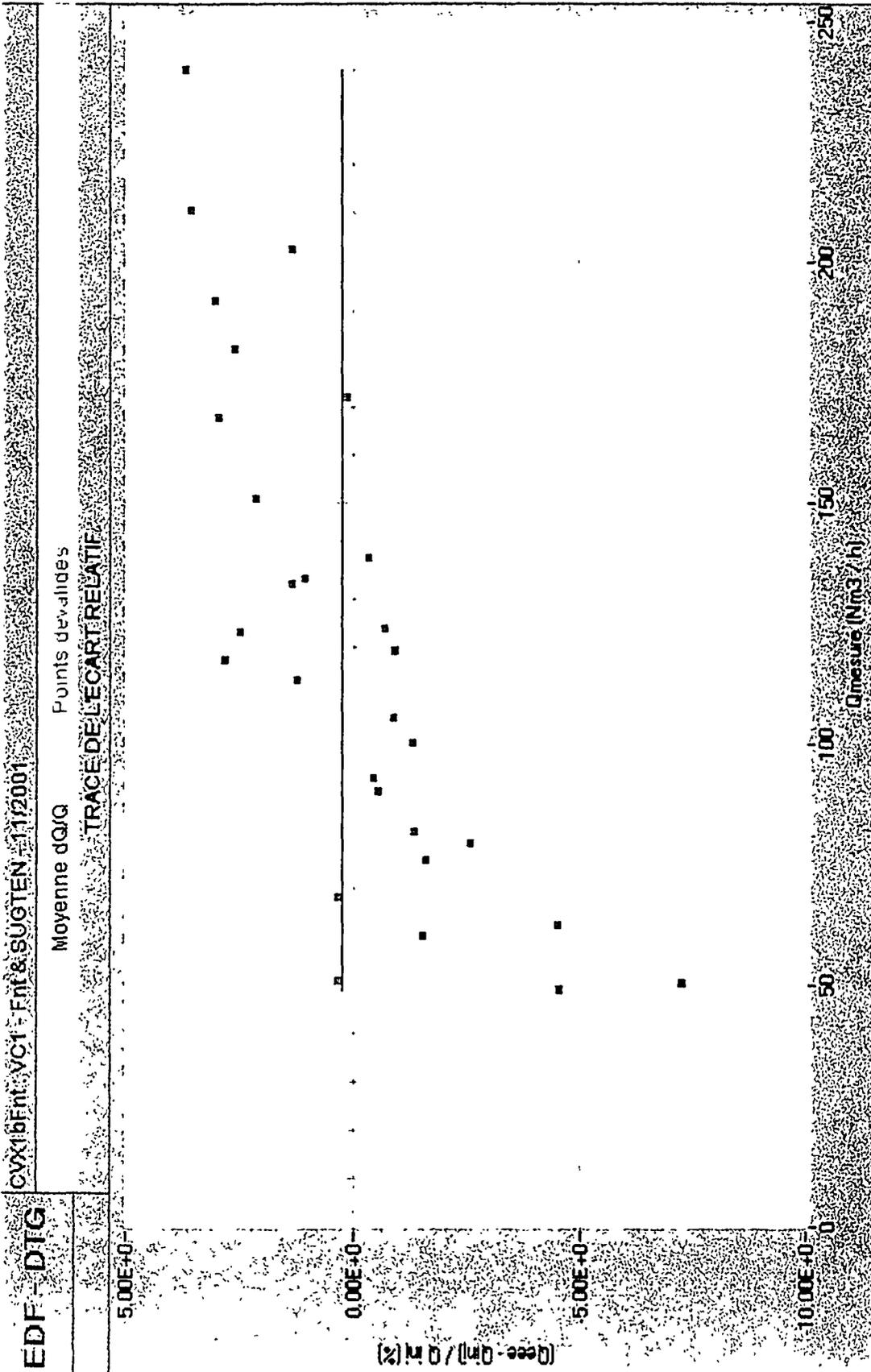
IMPRESSION DU RECAPITULATIF DE LA CARACTERISATION

EDF-DTG

Campagne : CVX1bFnt

Intitulé de la campagne : VCI - Fnt & SUCTEN - 11/2001

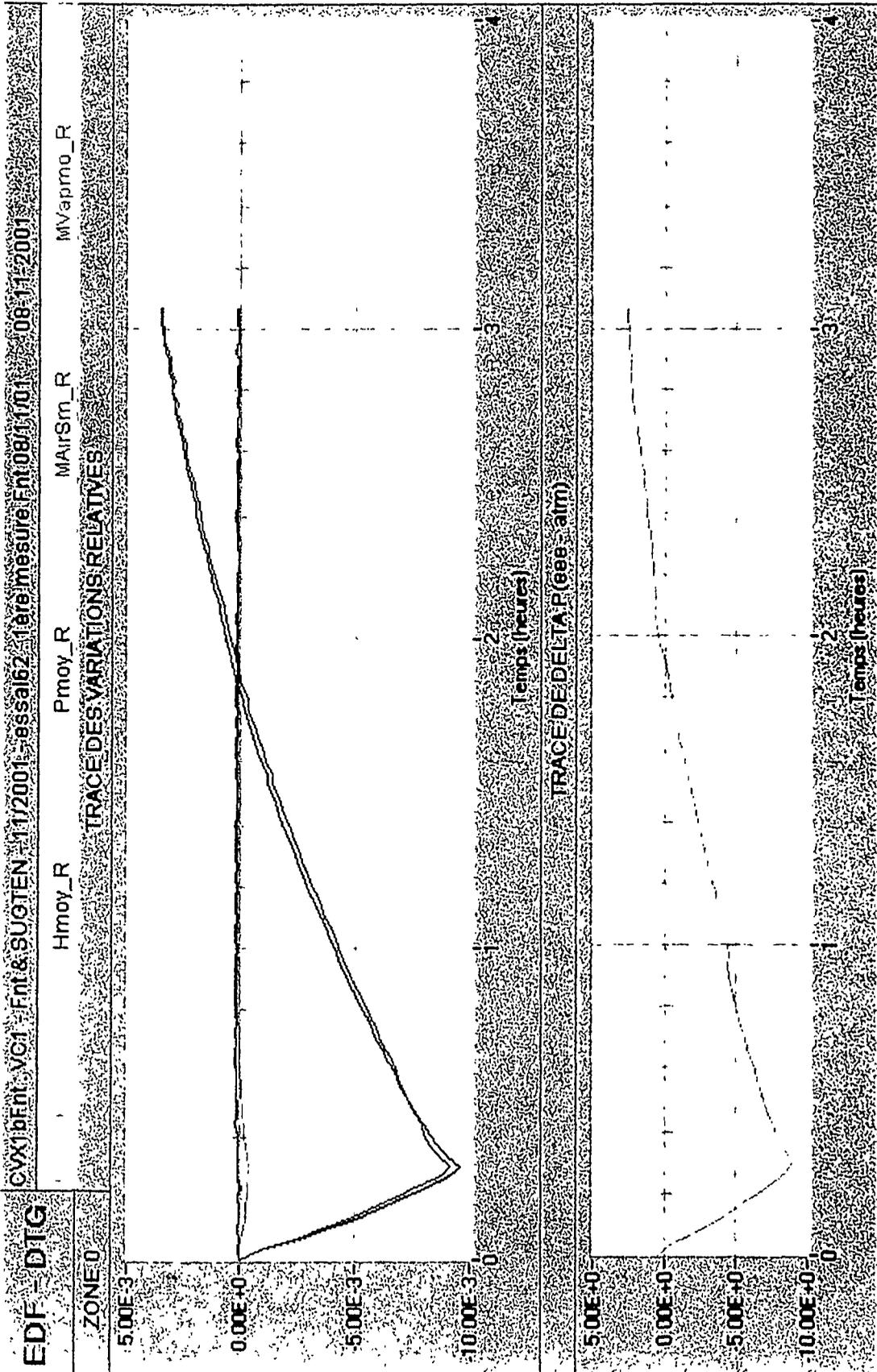
Date	N° Pt	Bornes intervalle	Rel. dP=0	Qeee (Nm3/h)	Qinj (Nm3/h)	dQ/Q (%)	Qinj1 (Nm3/h)	dQ1/Q1 (%)	Qinj2 (Nm3/h)	dQ2/Q2 (%)	Validité	Commentaires
25/10/2001	25	40 100	70	92.7	93.1	-0.45	93.0	-0.28	93.3	-0.62	1	Pt25 - Qinj= 95Nm3/h
25/10/2001	26	14 74	44	68.2	68.0	0.33	67.9	0.46	68.1	0.20	1	Pt26 - Qinj=70Nm3/h
25/10/2001	27	11 71	41	117.4	114.2	2.80	114.0	2.95	114.4	2.65	0	Pt 27 Qinj=120Nm3/h
25/10/2001	28	156 216	186	50.3	54.2	-7.25	54.2	-7.17	54.3	-7.33	0	Pt28 long-Qinj=55Nm3
05/11/01	29	144 204	174	119.1	120.2	-0.90	120.0	-0.74	120.4	-1.06	0	Pt long av essai

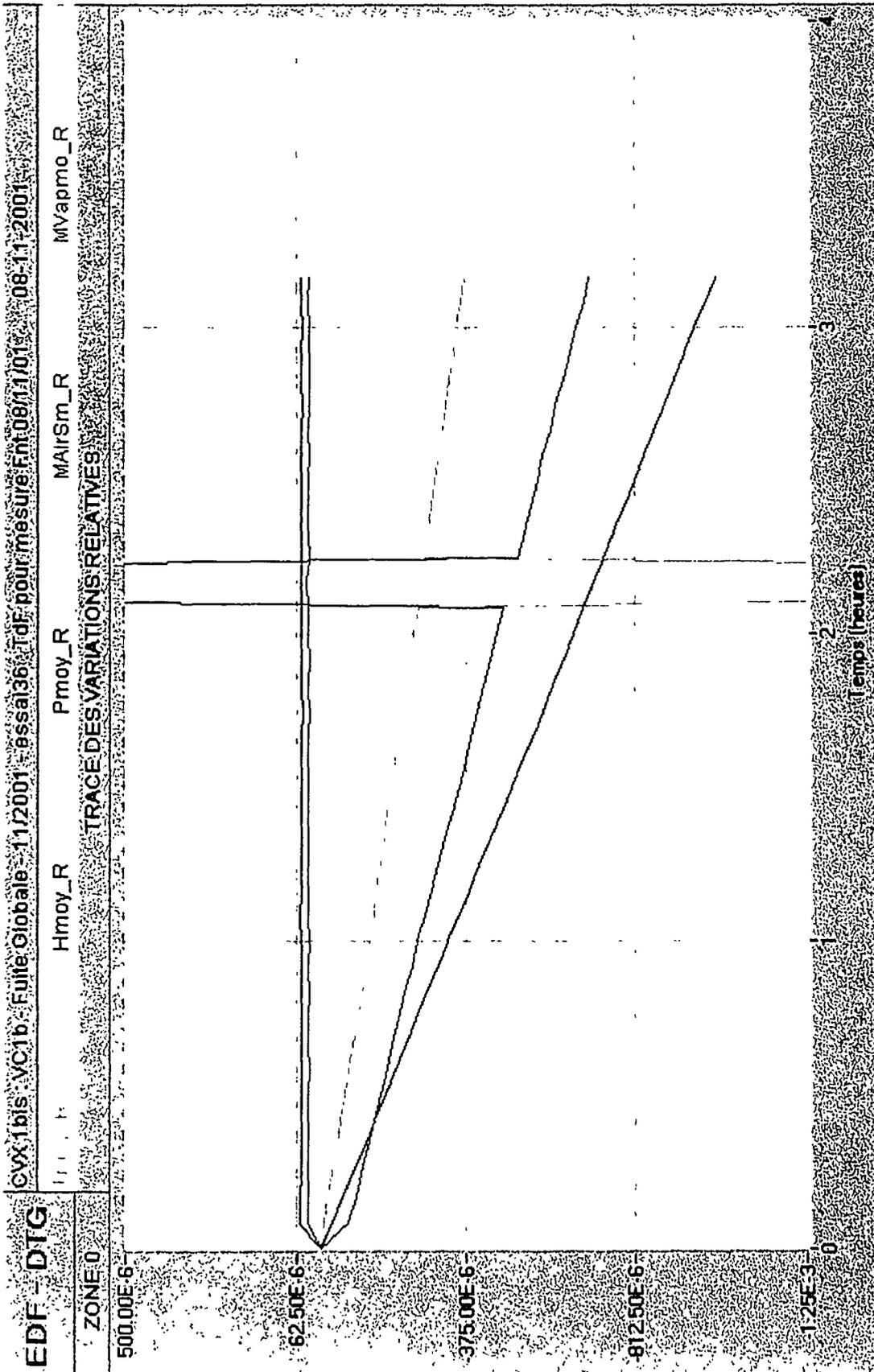


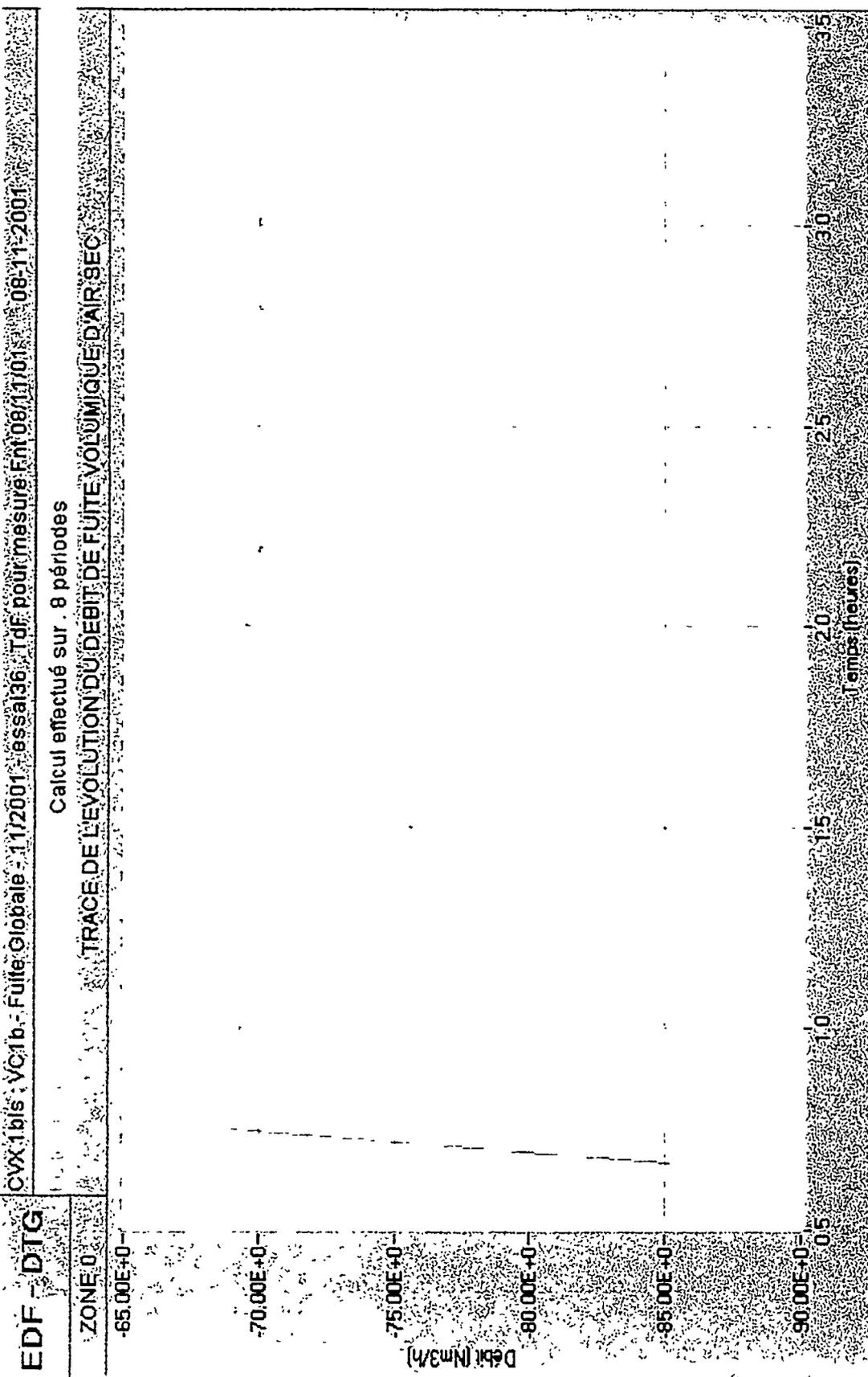
## 7.10. ANNEXE 10 : EVALUATION DES FUTES NON TRANSITANTES

Annexe comprenant, pour chaque point d'évaluation des Fnt :

- variations relatives des grandeurs  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$  dans l'EEE,
- variations relatives des grandeurs  $P$ ,  $T$ ,  $e'_w$  et  $m_a$  dans l'enceinte interne,
- tracé de l'évolution du débit de fuite dans l'enceinte interne,
- résultats et incertitudes (enceinte interne),







EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 11:21

## MESURE DES TAUX DE FUITE

Campagne : CVX 1bis

Intitulé de la campagne VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 36

Intitulé de l'essai : TdF pour mesure Fnt 08/11/01

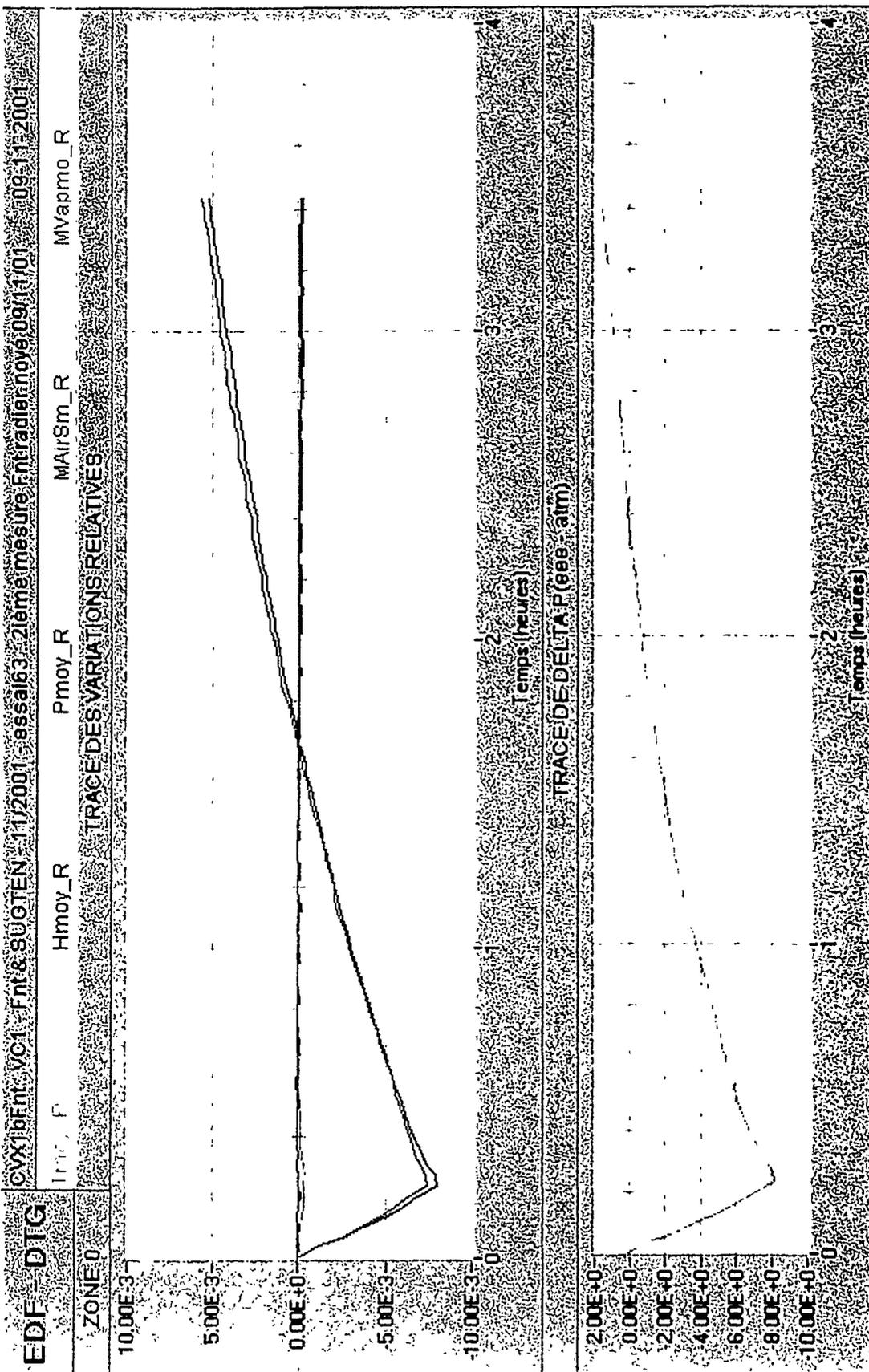
Zone : 0

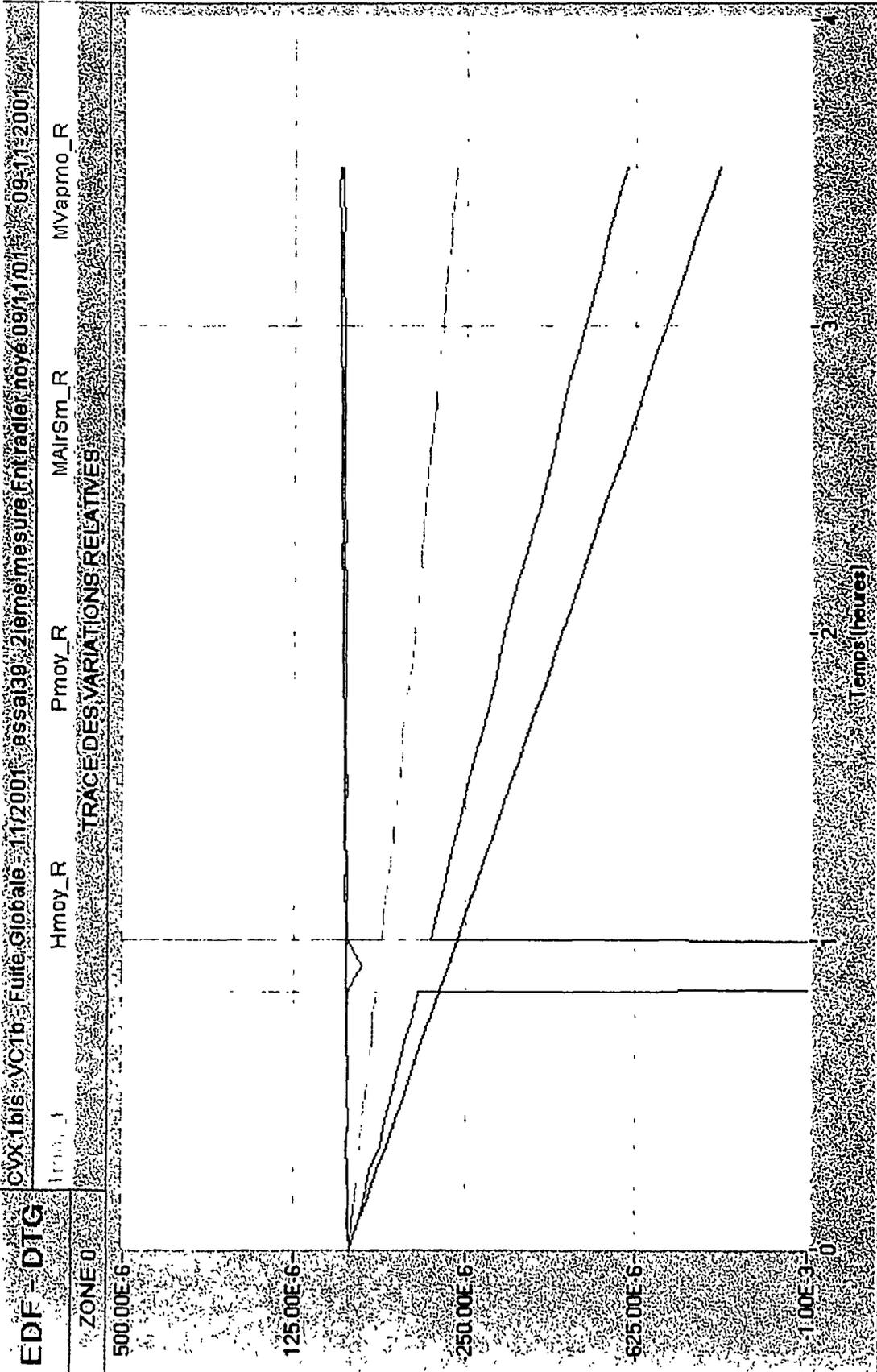
Premier relevé : 11 Dernier relevé : 35

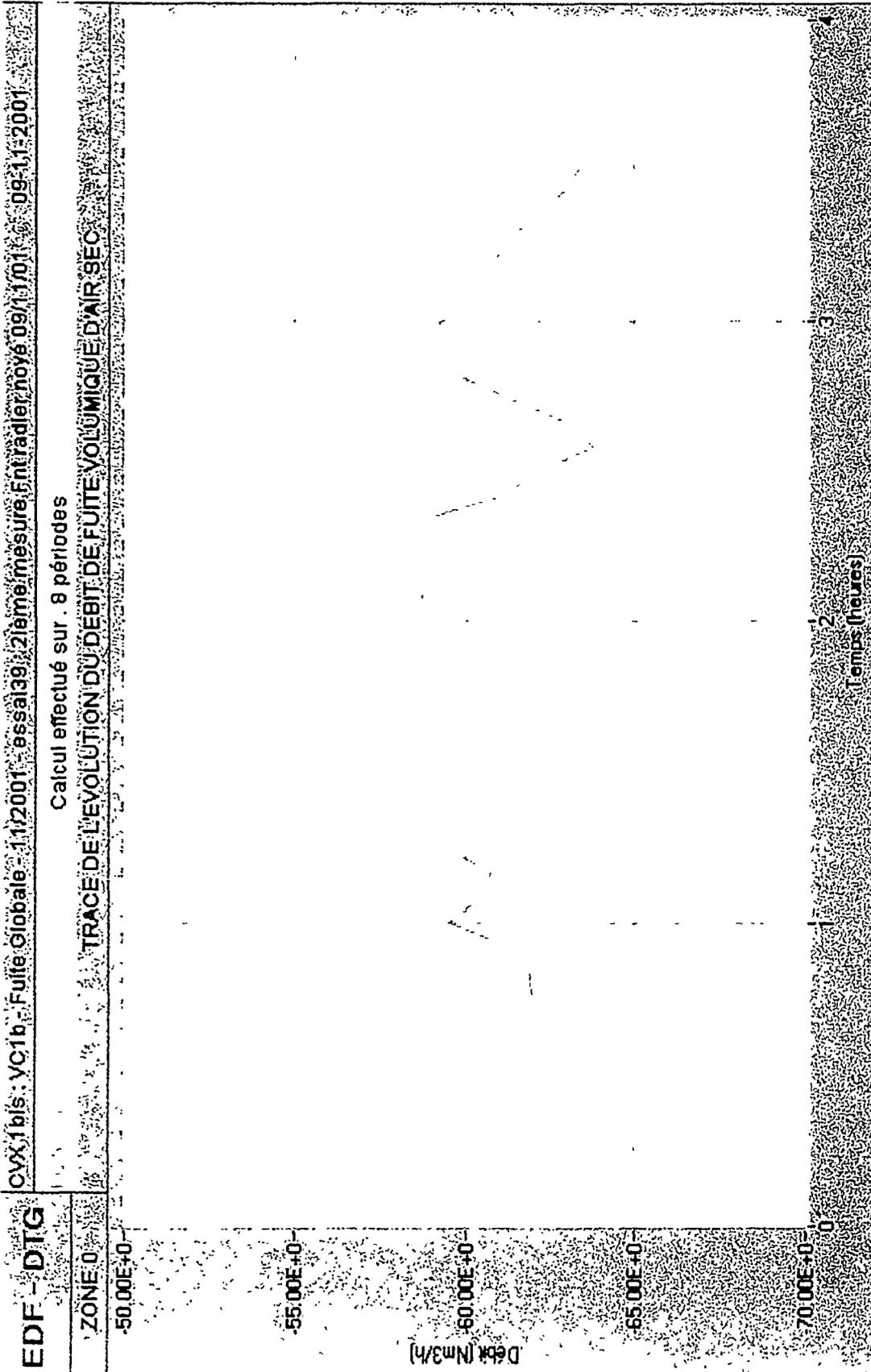
Relevé de calcul : 23

	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	1.4397
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 5290.92 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 4285.08 (hPa)		
Pente de variation pression	: -40.39 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0038	0.5653
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.1641
Erreurs indépendantes		0.0027	0.3958
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 15.41 (hPa)		
Pente de variation e'w	: -0.08 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes		0.0069	1.0142
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.68 (°C)		
Pente de variation	: -0.81 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0006	0.0817
Erreurs indépendantes		0.0150	2.2184

RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.4875 +/- 0.0172	
Débit de fuite vol air sec (CE)		-71.9716 +/- 2.9211
Débit de fuite mas air sec (CE)		-93.0073 +/- 3.7748
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.4921 +/- 0.0172	
Débit de fuite vol air sec (CNE)		-72.2755 +/- 2.9211
Taux de fuite vapeur (CE)	: -0.2442 +/- 0.0165	
Débit de fuite vol vapeur (CE)		-0.1054 +/- 0.0074
Débit de fuite mas vapeur (CE)		-0.0847 +/- 0.0060







EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 11:23

**MESURE DES TAUX DE FUITE**

Campagne : CVX Ibis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 39

Intitulé de l'essai : 2ième mesure Fnt radier noyé 09/11/01

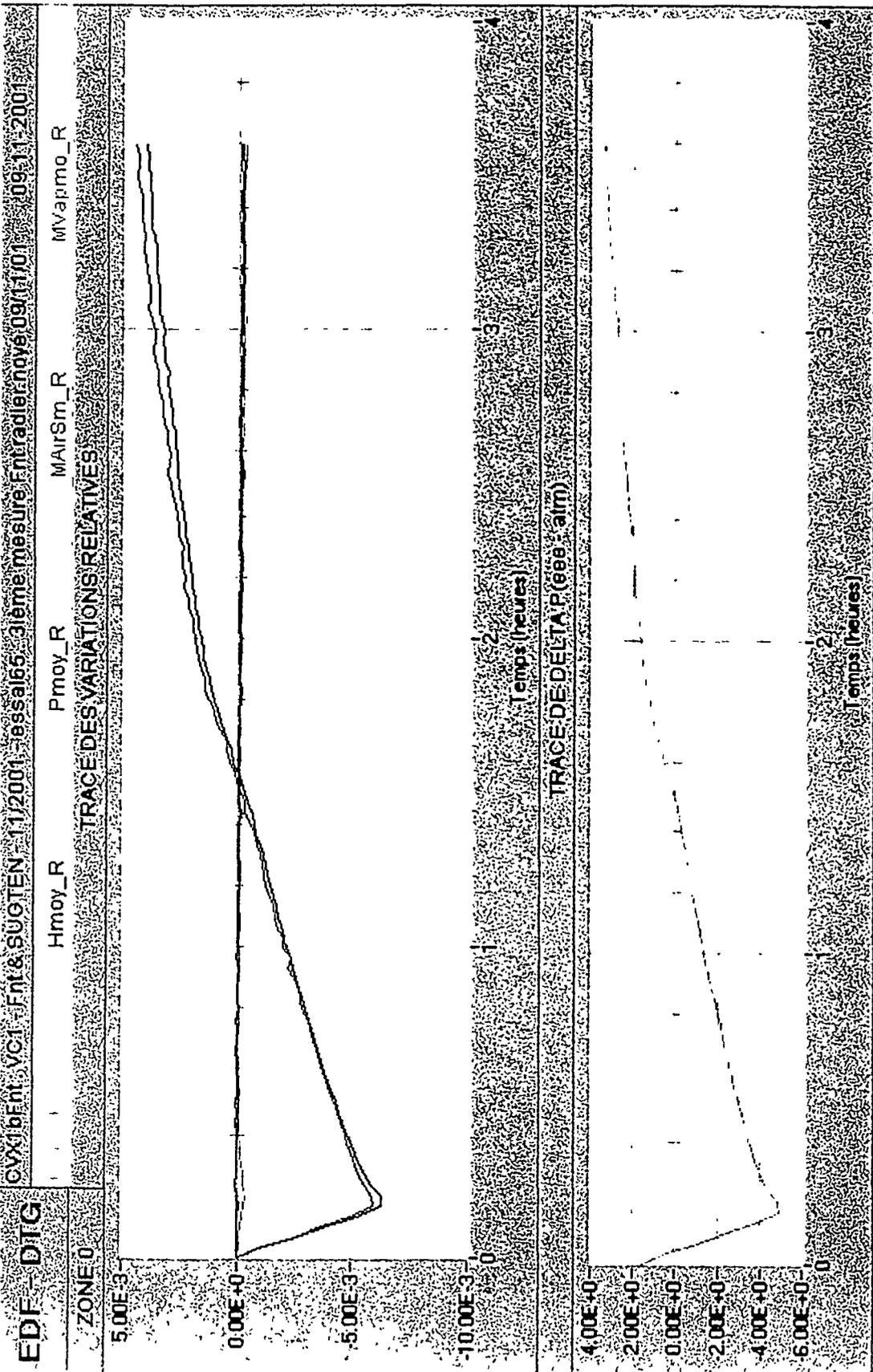
Zone : 0

Premier relevé : 18 Dernier relevé : 42

Relevé de calcul : 30

	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	1.2174
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 5283.45 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 4269.40 (hPa)		
Pente de variation pression	: -28.84 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0027	0.4042
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.1644
Erreurs indépendantes		0.0040	0.5945
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 18.11 (hPa)		
Pente de variation e'w	: 0.83 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes		0.0079	1.1649
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.32 (°C)		
Pente de variation	: -0.44 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0003	0.0446
Erreurs indépendantes		0.0088	1.2960

RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.4125 +/- 0.0128	
Débit de fuite vol air sec (CE)		-60.8586 +/- 2.2505
Débit de fuite mas air sec (CE)		-78.6463 +/- 2.9082
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.4170 +/- 0.0128	
Débit de fuite vol air sec (CNE)		-61.2847 +/- 2.2505
Taux de fuite vapeur (CE)	: 4.7180 +/- 0.0118	
Débit de fuite vol vapeur (CE)		2.3987 +/- 0.0483
Débit de fuite mas vapeur (CE)		1.9280 +/- 0.0388





EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 14:39

## MESURE DES TAUX DE FUITE

Campagne CVX 1bis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 40

Intitulé de l'essai : 3ième mesure Fnt radier noyé 09/11/01

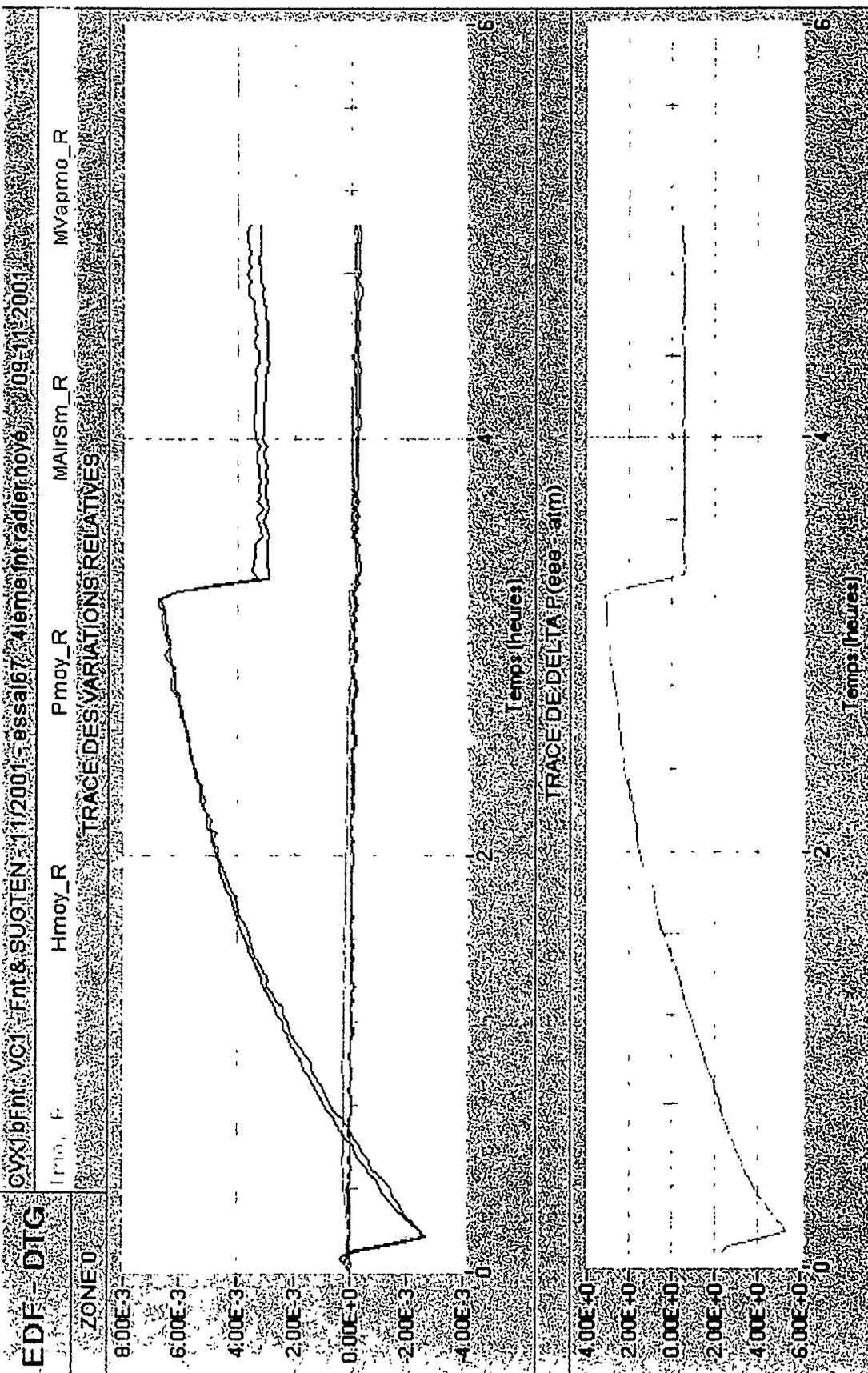
Zone : 0

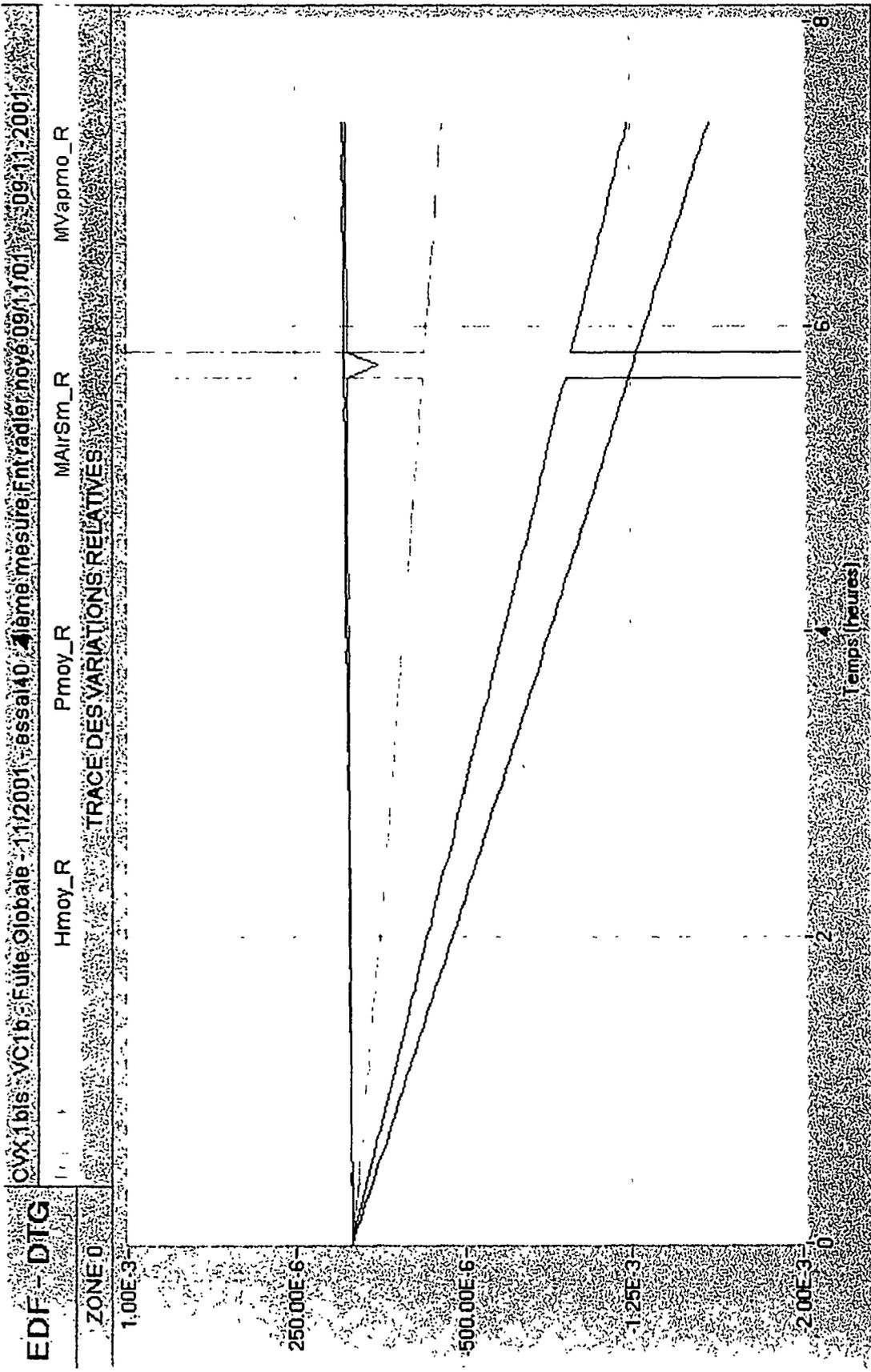
Premier relevé : 6 Dernier relevé : 30

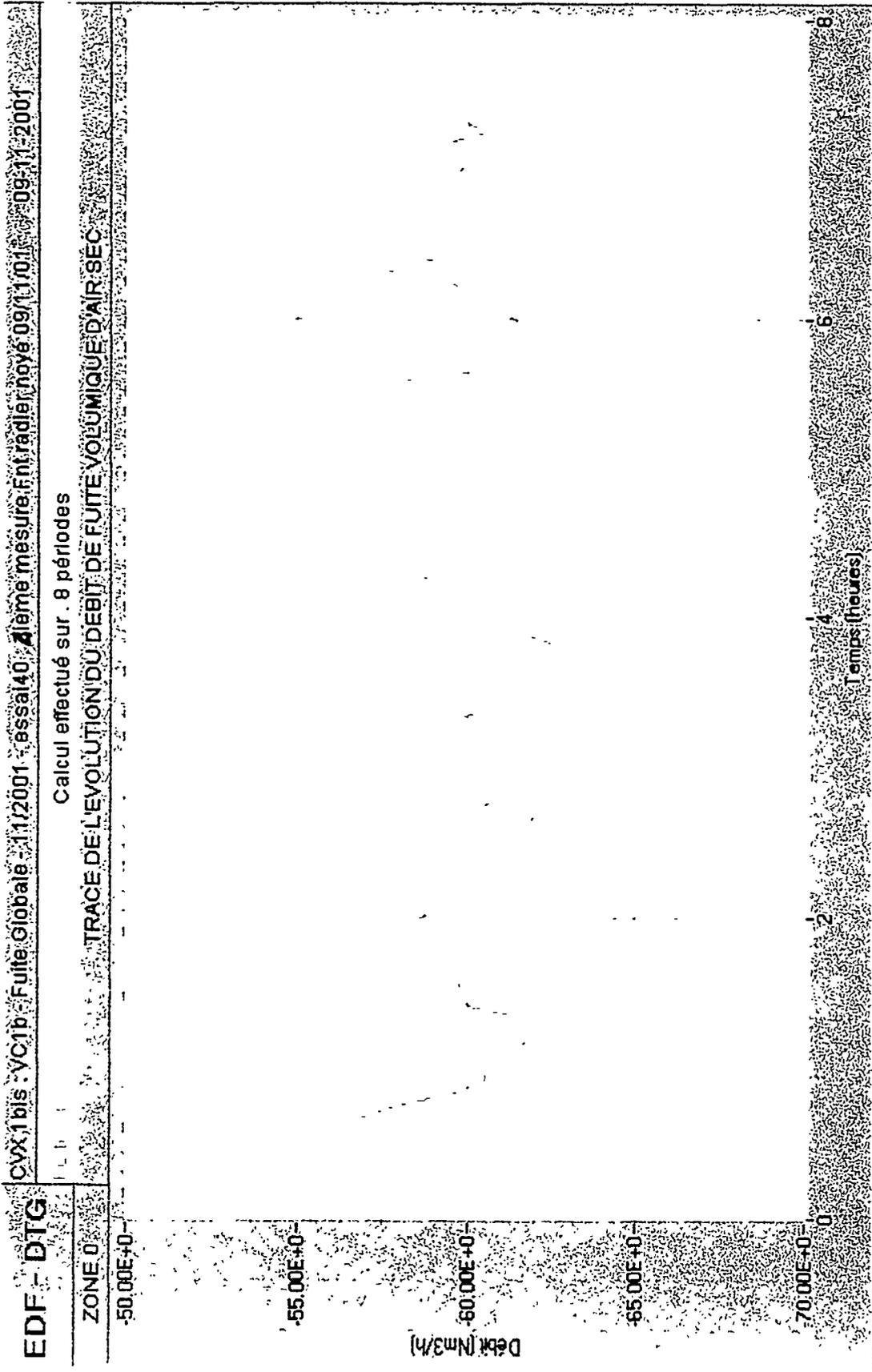
Relevé de calcul : 18

	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	1.1963
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 5280.31 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 4263.89 (hPa)		
Pente de variation pression	: -27.96 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0027	0.3919
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.1644
Erreurs indépendantes	:	0.0027	0.3964
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 18.19 (hPa)		
Pente de variation e'w	: 0.72 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes	:	0.0077	1.1353
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.27 (°C)		
Pente de variation	: -0.41 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0003	0.0412
Erreurs indépendantes	:	0.0077	1.1298

RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.4055 +/- 0.0116	
Débit de fuite vol air sec (CE)	:	-59.8028 +/- 2.0822
Débit de fuite mas air sec (CE)	:	-77.2818 +/- 2.6908
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.4102 +/- 0.0116	
Débit de fuite vol air sec (CNE)	:	-60.2944 +/- 2.0822
Taux de fuite vapeur (CE)	: 4.1013 +/- 0.0109	
Débit de fuite vol vapeur (CE)	:	2.0953 +/- 0.0422
Débit de fuite mas vapeur (CE)	:	1.6841 +/- 0.0339







EDF-DTG

MEDITE V2.28

Le 15-04-2002 à 13:07

**MESURE DES TAUX DE FUITE**

Campagne . CVX 1bis

Intitulé de la campagne : VC1b - Fuite Globale - 11/2001

Numéro de l'essai : 40

 Intitulé de l'essai : 4<sup>ème</sup> mesure Fnt radier noyé 09/11/01

Zone : 0

Premier relevé : 52 Dernier relevé : 76

Relevé de calcul : 64

	Sources d'incertitude	Taux (%/j)	Débit (Nm3/h)
<b>VOLUME :</b>			
Volume initial de l'essai	: 73217.00 (m3)		
Volume référence de l'essai	: 72700.00 (m3)		
Pente de variation	: 0.0000 (m3/h)		
Incertitude volume libre	: 2.0000 (%)	0.0000	1.1903
Incertitude sur la pente	: 0.00 (%)	0.0000	0.0000
<b>PRESSION :</b>			
Pression initiale	: 5275.87 (hPa)		
Pression relative moyenne	: 4258.01 (hPa)		
Pente de variation pression	: -27.11 (hPa/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.50 (%)	0.0026	0.3800
Variation T° ambiante	: 5.0000 (°C/j)	0.0000	0.0000
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Denivelé ligne P	: 7.00 (m)		
Variation T° ligne P	: 4.00 (°C/j)	0.0011	0.1644
Erreurs indépendantes	:	0.0027	0.3965
<b>HYGROMETRIE :</b>			
Pression partielle initiale	: 18.31 (hPa)		
Pente de variation e'w	: 0.70 (hPa/j)		
Variation tension	: 5.00 (%/j)	0.0000	0.0000
Erreurs indépendantes	:	0.0066	0.9761
<b>TEMPERATURE :</b>			
Température initiale	: 20.21 (°C)		
Pente de variation	: -0.37 (°C/j)		
Incertitude d'étalonnage	: 0.20 (%)	0.0003	0.0369
Erreurs indépendantes	:	0.0073	1.0805

RESULTATS :	(%/j)	(Nm3/h) ou (kg/h)
Taux de fuite air sec (CE)	: -0.4038 +/- 0.0106	
Débit de fuite vol air sec (CE)	:	-59.5031 +/- 1.9665
Débit de fuite mas air sec (CE)	:	-76.8945 +/- 2.5412
Taux de fuite air sec (CNE)	: -0.4087 +/- 0.0106	
Débit de fuite vol air sec (CNE)	:	-60.0958 +/- 1.9665
Taux de fuite vapeur (CE)	: 3.9636 +/- 0.0099	
Débit de fuite vol vapeur (CE)	:	2.0377 +/- 0.0410
Débit de fuite mas vapeur (CE)	:	1.6379 +/- 0.0330

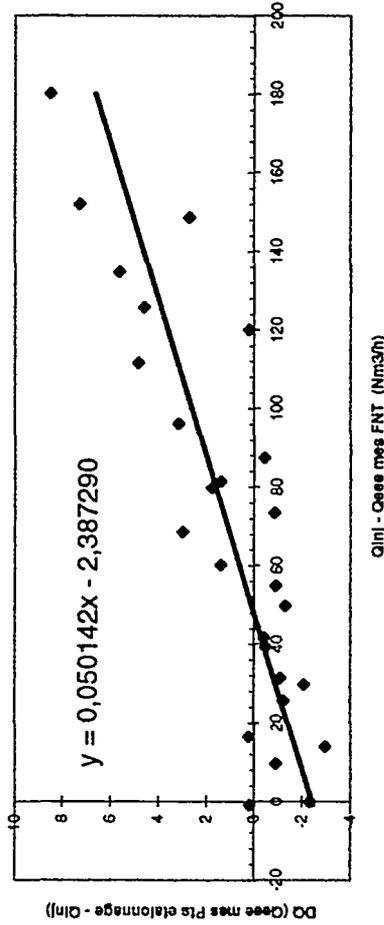


### 7.11. ANNEXE 11 : SYNTHESE DES RESULTATS D'EVALUATION DES FNT

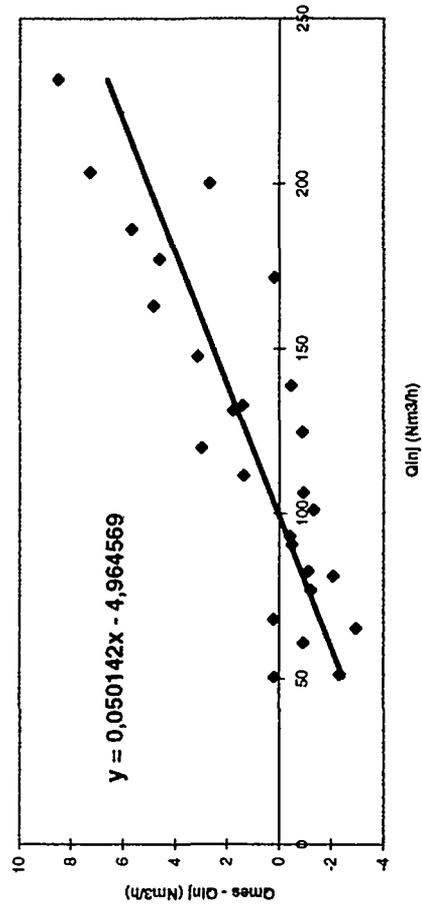
- Tableau récapitulatif des résultats.

GENERAL    Pente    0,05014161    Lda  
 Ord. origine    -2,38729042    Xsl

Tracé des écarts avec chgt de repère centré sur Qeee Fnt



Tracé des écarts en fonction du débit injecté



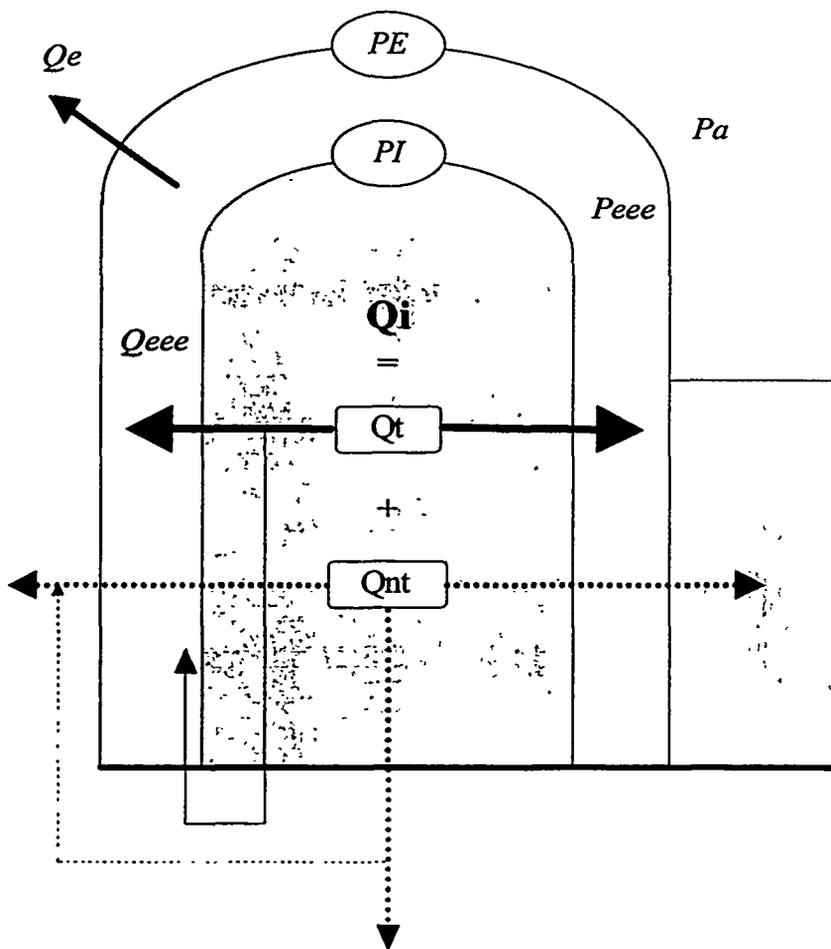
Qmes\_calc;    53,8    1,7    GIV;    Ksl  
 U(Qeee\_calc);    1,7    Ecart;    Qmes;    Ksl

i	Q_mes_i	Q_inj_i	ΔQ	Q_inj-Q_mes
1	134,322753	132,920738	1,402015	81,520738
2	75,732168	76,957518	-1,22535	25,557518
3	240,015098	231,517089	8,498009	180,117089
4	99,856102	101,163306	-1,307204	49,763306
5	191,790235	186,136456	5,653779	134,736456
6	112,985287	111,596112	1,389175	60,196112
7	202,759296	200,065403	2,693893	148,665403
8	122,912549	119,921797	2,990752	68,521797
9	50,771867	50,589589	0,182278	-0,810411
10	150,721519	147,584357	3,137162	96,184357
11	167,831631	162,987695	4,843936	111,587695
12	79,096951	81,158683	-2,061732	29,758683
13	171,75119	171,551639	0,199551	120,151639
14	90,187444	90,683735	-0,496291	39,283735
15	210,710607	203,458295	7,252312	152,058295
16	60,091957	61,010255	-0,918298	9,610255
17	105,393082	106,314028	-0,920946	54,914028
18	138,33513	136,788692	1,546439	87,388692
19	181,741516	177,128101	4,613415	125,728101
20	48,993258	51,309321	-2,316063	-0,090679
21	62,473607	65,417005	-2,943398	14,017005
22	81,584115	82,703171	-1,119056	31,303171
23	123,935416	124,816024	-0,880608	73,416024
24	133,070221	131,309396	1,760825	79,909396
25	92,726644	93,145831	-0,419187	41,745831
26	68,198211	67,973374	0,224837	16,573374

Qeee\_calc;    53,8

	Fnt 1	Fnt 2	Fnt 4
Qeee mes	62,70	53,60	51,4
Qeee cal	64,50	55,90	53,8
Q global	72,00	60,90	59,5
u Qeee cal	1,70	1,70	1,7
U qQ global (2u)	2,90	2,30	2,0
somme carrés	4,99	4,21	3,89
racine	2,23	2,05	1,97

7.12. ANNEXE 12 : SCHEMA DE PRINCIPE DE L'EVALUATION DES FNT



$$Q_{nt} = Q_i - Q_t$$

$$Q_t = - (Q_{eee} + Q_e)$$

Pour  $(P_{eee} - P_a = 0)$ , il n'y a pas d'échanges par la paroi externe  $Q_e = 0$   
donc

$$Q_{nt} = Q_i + Q_{eee}$$

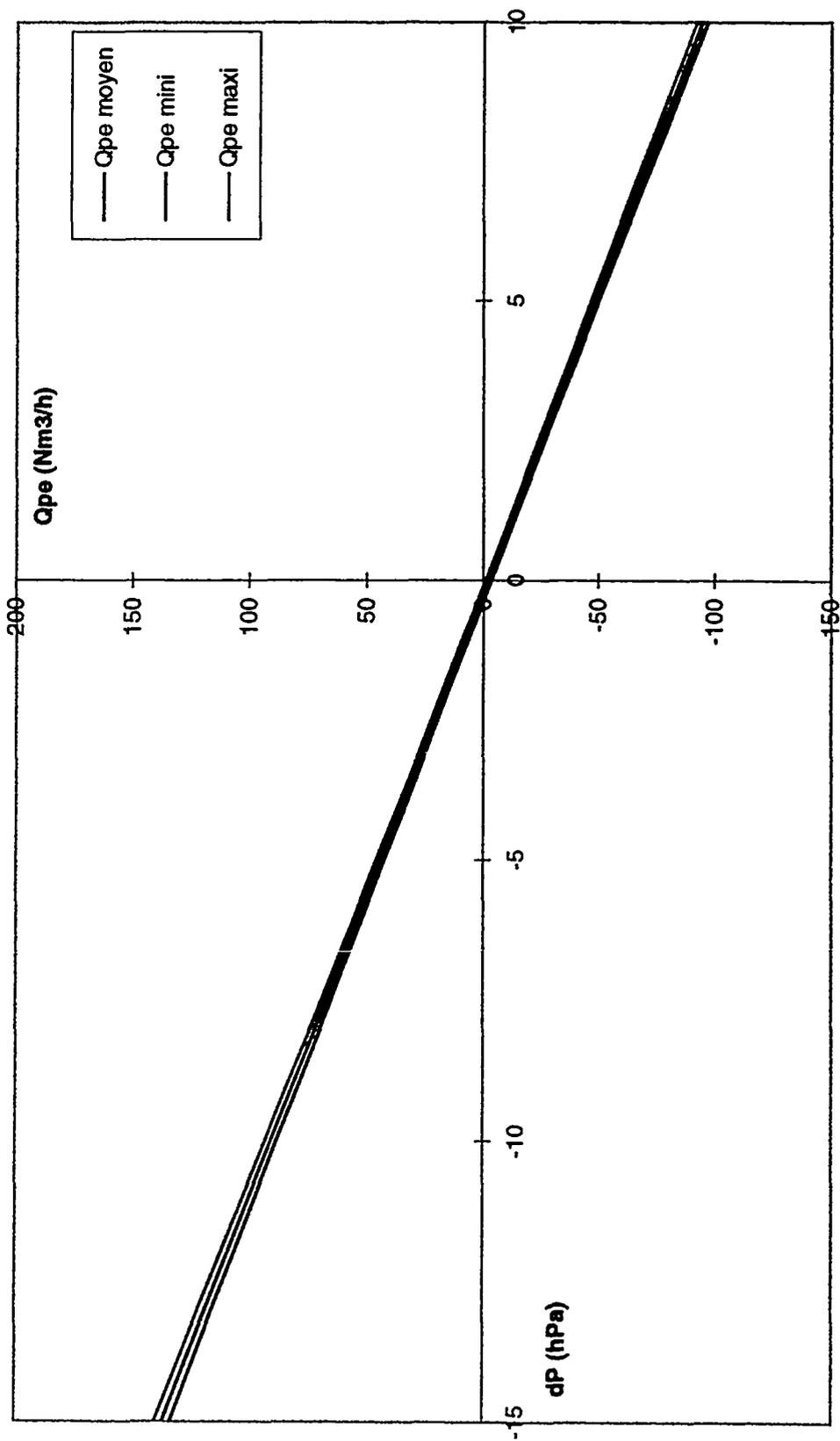


### 7.13. ANNEXE 13 : MODELISATION DU DEBIT DE FUITE DE LA PAROI EXTERNE

Annexe comprenant :

- caractérisation de la paroi externe
- tableau de résultats

CARACTERISATION DE LA PAROI EXTERNE



**Depouillement de la suite de la parole externe**

Six points ont été définis maximum. L'export des valeurs mesurées réalise Bureau MÉTÉO (voir en lat vers: Windows\temp\PE.csv)

Rapatriement des données depuis le fichier PE.csv, tri des points et tracé d'un graphe avec l'ensemble des plages de delta P acquises.

A partir du tracé du graphe avec l'ensemble des points, il faut définir

- 1 - les courbes que l'on déclare "valide" pour un tracé plus fin
- 2 - la plage de delta P qui va être exploitée lors de la mesure SUGTEN

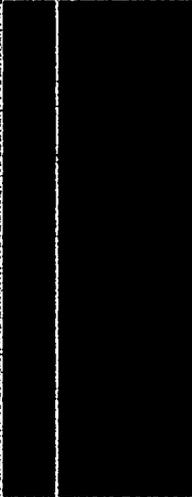
Cette plage doit correspondre à une portion de droite des courbes dont l'équation est du premier degré  
 Toutes les courbes doivent "remplir" la plage de delta P définie

Validité des points acquis		1 = valide 0 = non valid			
Q PE1	Q PE2	Q PE3	Q PE4	Q PE5	Q PE6
1	1	1	1	1	1

Plage de delta P exploitabl	
dPmin =	hPa
dPmax =	hPa
-15	
10	

**RESULTATS**

Q = A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z





### 7.14. ANNEXE 14 : MESURE SUGTEN

Annexe comprenant :

- mesure SUGTEN à la montée
- mesure SUGTEN à la descente

Figure 1

**CIVAUX 1 Ré-épreuve 07/11/01 - SUGTEN Gonflage**  
**Débit SUGTEN Transitant = f (Pe2 - Peee2)**

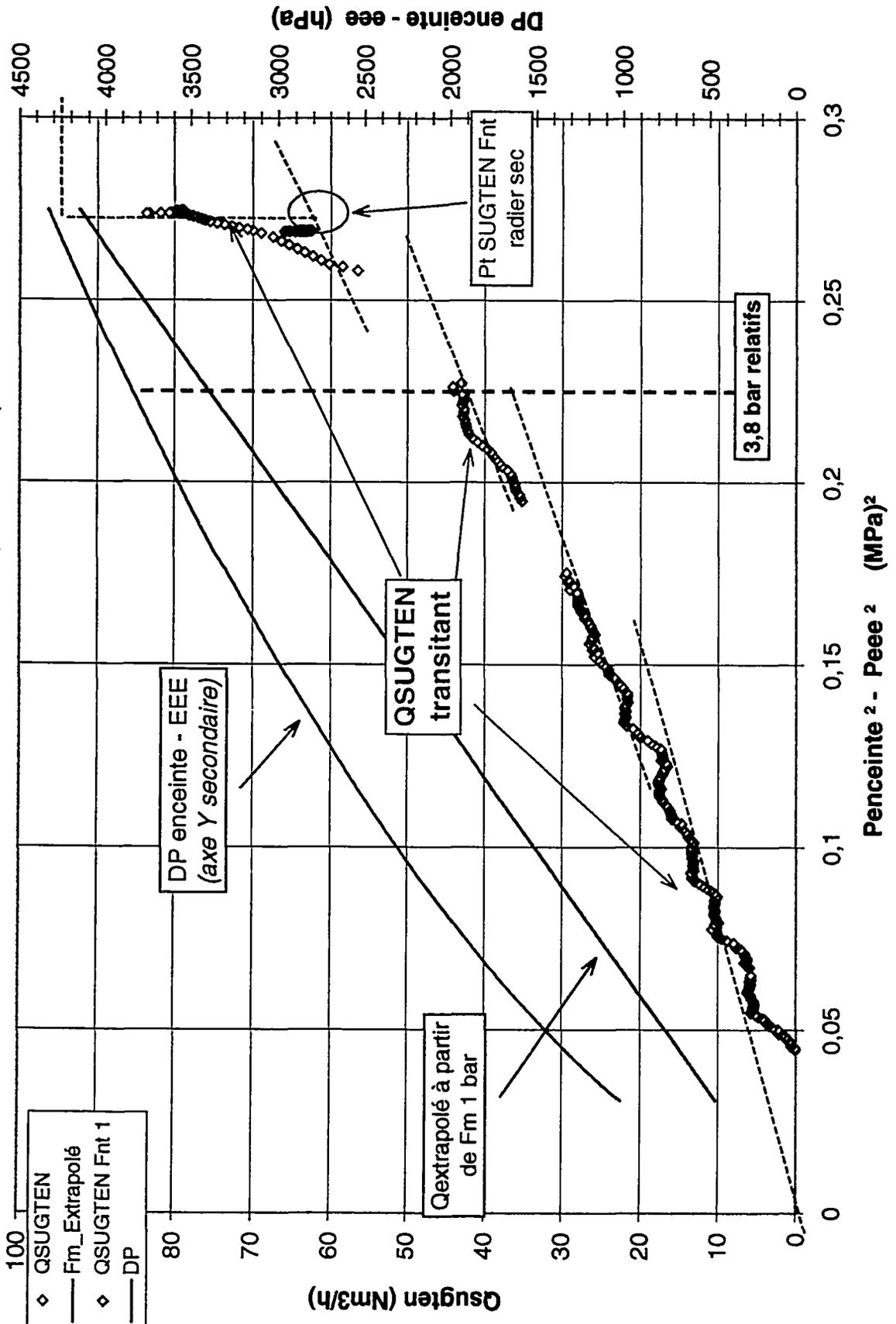
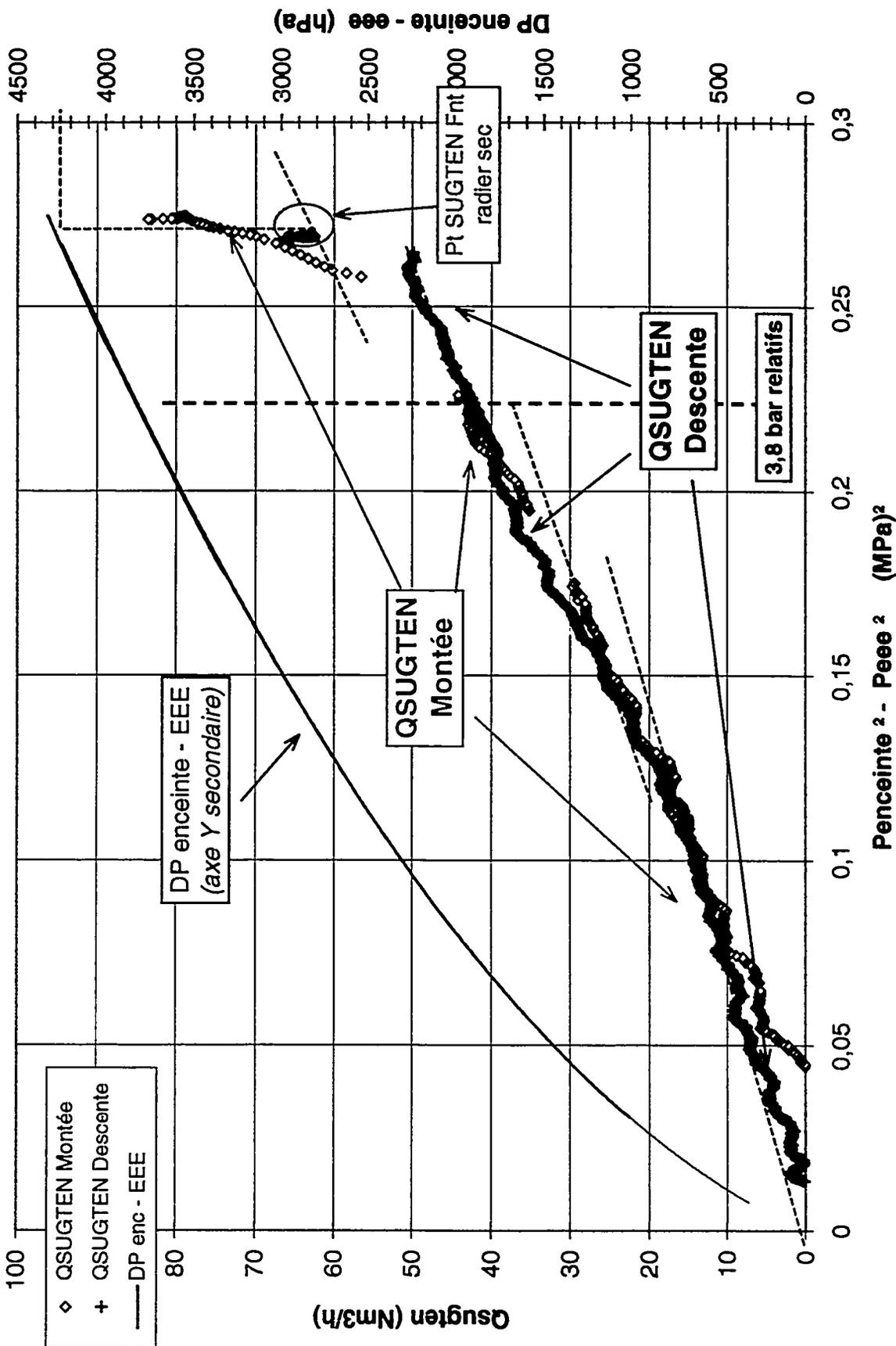


Figure 2  
 CIVAUX 1 Ré-épreuve 07-11/11/01 - SUGTEN Gonflage et Degonflage  
 Débit SUGTEN Transient = f (Pe2 - Peee2)



FIN

