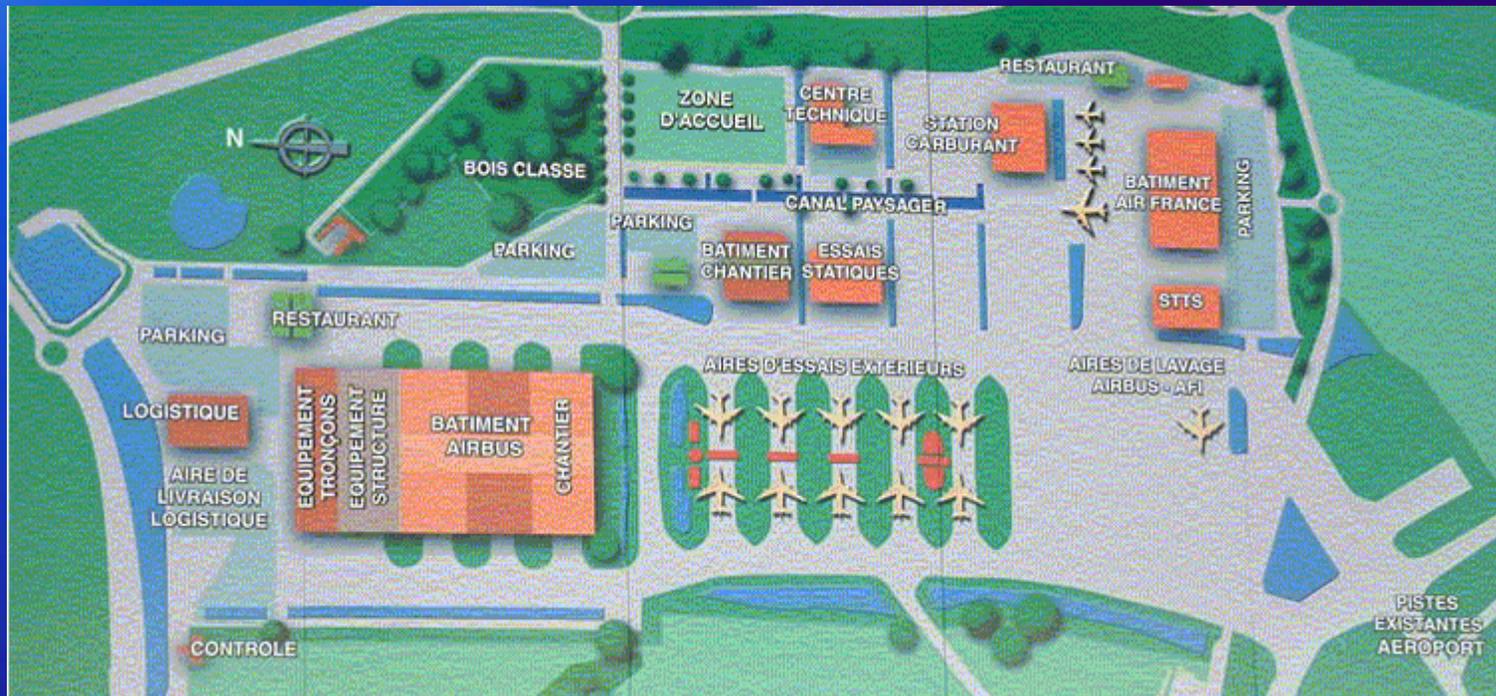


Le chantier AEROCONSTELLATION



le 20 Octobre 2004

Plan masse du projet

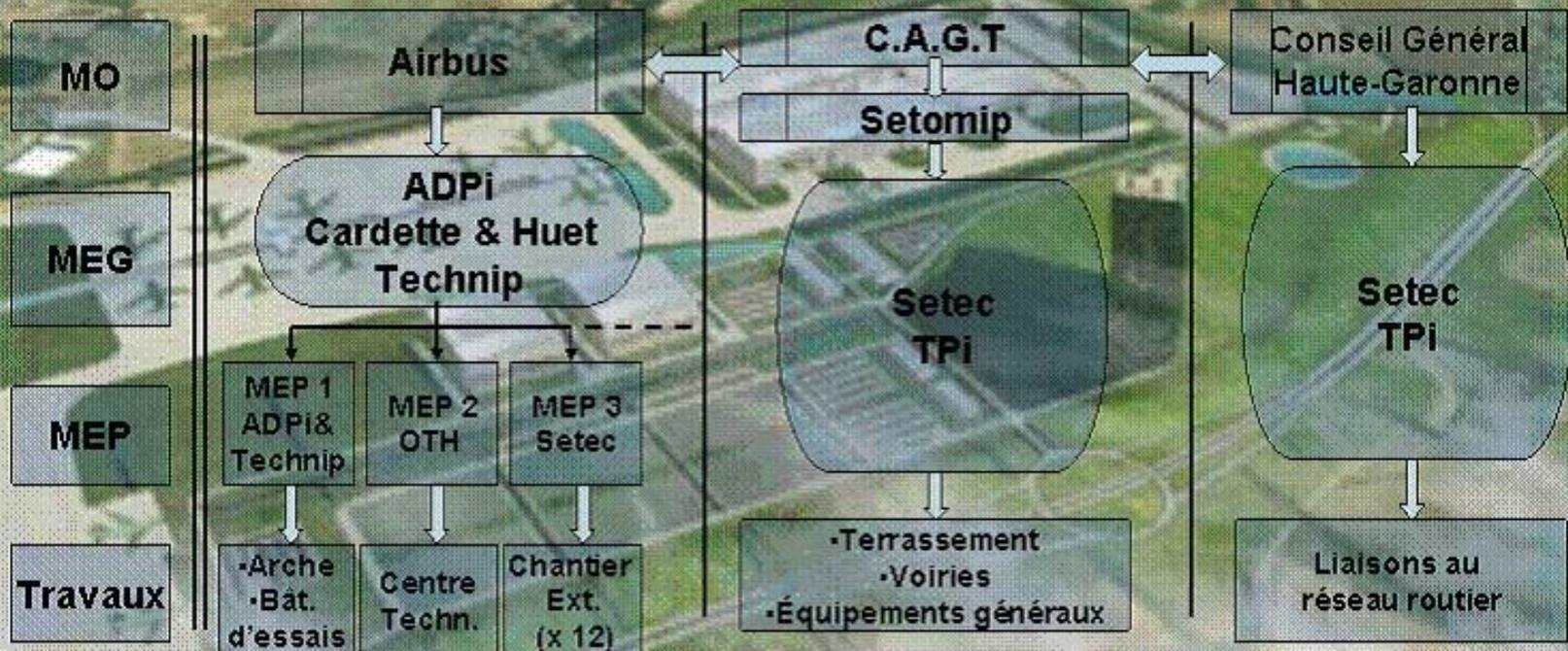


Le chantier en quelques chiffres

- Démarrage chantier en janvier 2002 – premier semestre 2005 vol inaugural de l'A380
- Superficie totale de la ZAC : 270 ha,
- Trois bâtiments principaux (22,7 ha) dont le Bâtiment d'assemblage « ARCHE » (460 m x 250 m x 46 m, charpente métallique 30 000 tonnes),
- Chaussées aéronautiques (41,6 ha), voiries PL/VL (22,2 ha).

Organisation du chantier

Organigramme du chantier :



Rôle de TERRASOL

- Synthèse géotechnique du site (mission G2)
- Conception des chaussées (utilisation des moyens de calcul standard),
- Modélisation par éléments finis (CESAR) du comportement des chaussées aéronautiques,
- Participation à l'élaboration des pièces techniques des dossiers de consultation des entreprises,
- Assistance pour le suivi du chantier de terrassement (traitement de sol, validation du contrôle interne de l'entreprise),
- Prescription et dépouillement des essais du STBA (contrôle extérieur).

Particularités pour la conception des chaussées aéronautiques

- Adaptation au contexte géotechnique (limon sur grave argileuse) et hydrogéologique (nappe -3m/TN),
- Phase chantier très courte imposant une utilisation de la plate-forme pendant un hiver,
- Charges de projet élevée :
 - A380, poids total en charge 600 tonnes,
 - Charge sur atterrisseur ventral : 180 tonnes,
 - Charge par roue : 30 tonnes,
 - Contrainte apportée au sol par les pneumatiques 1,5 MPa.
- Contexte économique conduisant à privilégier l'emploi des LH pour la couche de forme (avec les matériaux du site : limons et graves) et pour les couches de chaussée.

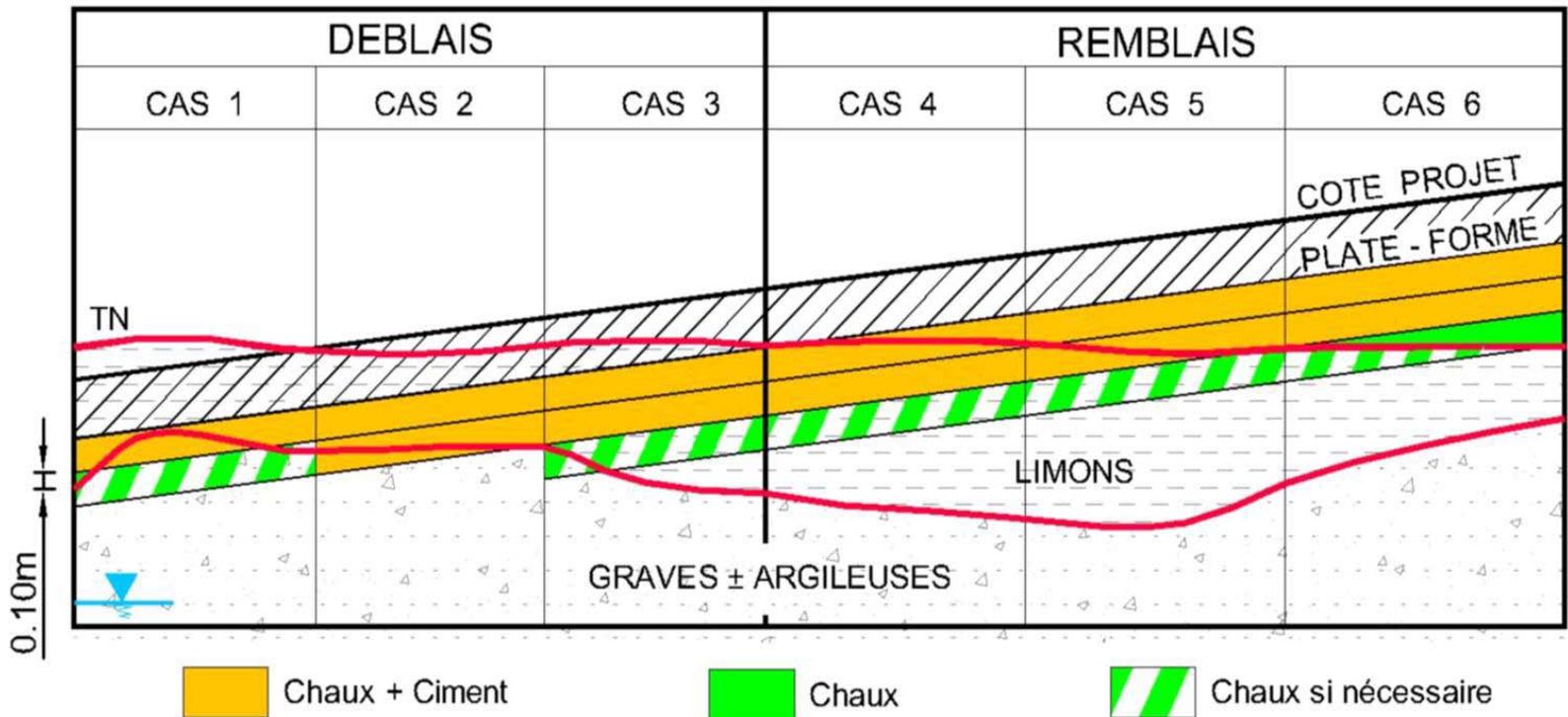
Quelques données géotechniques

	Limens		Graves argileuses		Graves sableuses		Mblasse altérée		Mblasse	
	Em (MPa)	Pl (MPa)	Em (MPa)	Pl (MPa)	Em (MPa)	Pl (MPa)	Em (MPa)	Pl (MPa)	Em (MPa)	Pl (MPa)
Minimum	2,26	0,29	2,75	0,39	3,66	0,42	11,84	1,22	7,15	2,89
Maximum	8,62	0,82	47,42	4,92	73,63	6,11	101,37	4,74	246,21	8,68
Moyenne	5,69	0,64	19,96	1,99	25,32	2,66	39	3,17	77,28	5,79
Ecart type	2,27	0,17	11,85	1,01	14,5	1,31	19,73	0,84	33,38	1,13
Nombre	8	8	58	58	60	60	32	32	241	241

Chaussées aéronautiques : solutions retenues

- Deux types de structure : semi-rigide à base de liant hydrocarboné / rigide composée de dalles BA goujonnée,
- CDF : PF4 « améliorée » caractérisée, à 28 jours, par $E_{v2moyen} = 800 \text{ MPa}$ ($E_{v2min} = 500 \text{ MPa}$) obtenue par traitement des terrains du site (1 ou 2 couches traitées chaux + LH),
- PST de type 3 ou 4 / AR2 selon la GTR92, obtenue éventuellement par traitement à la chaux.

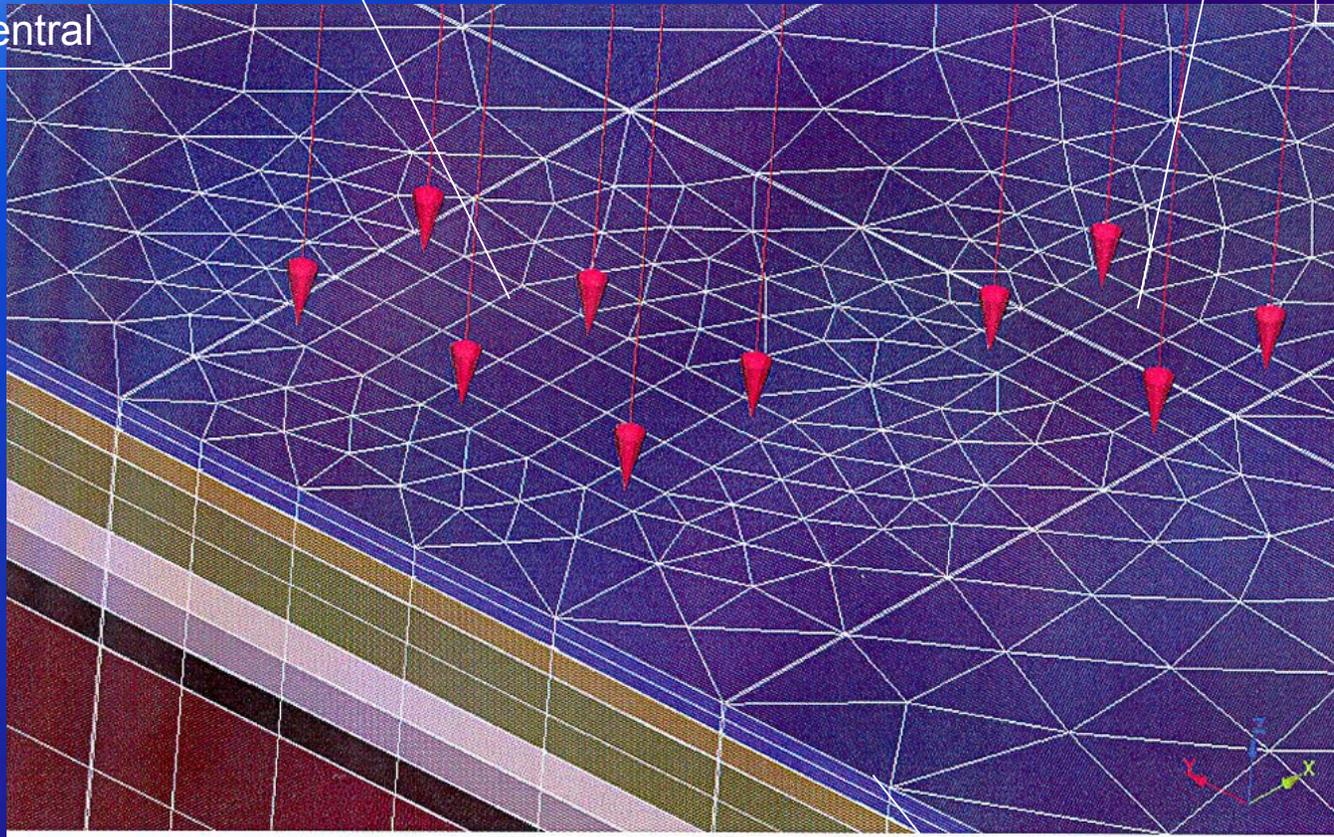
Calage des chaussées aéronautiques / sol support



Modélisation 3D (CESAR)

Atterrisseur
ventral

Atterrisseur
d'aile



Axe chaussée

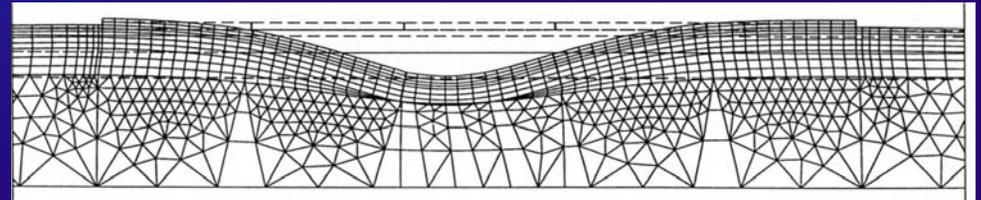
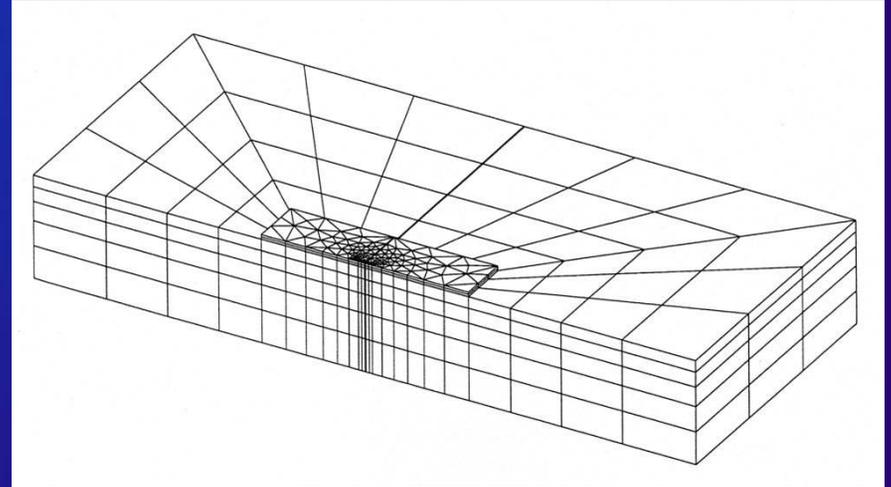
le 20 Octobre 2004

Modélisation : objectifs - phasage

- Incidence de l'hétérogénéité du support (sols + CdF) sur les déformations et contraintes générées dans les couches de chaussée ; variables de la modélisation :
 - épaisseur de la CdF,
 - épaisseur et caractéristique mécanique des limons subsistant sous la CdF,
 - Caractéristiques mécaniques des graves argileuses.
- Phasage : modèle 3D simplifié (goujonnage), modèle 2D (test des interfaces), modèle 3D complet.

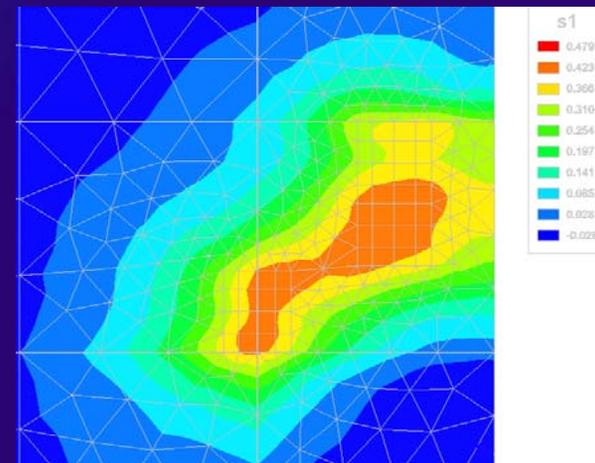
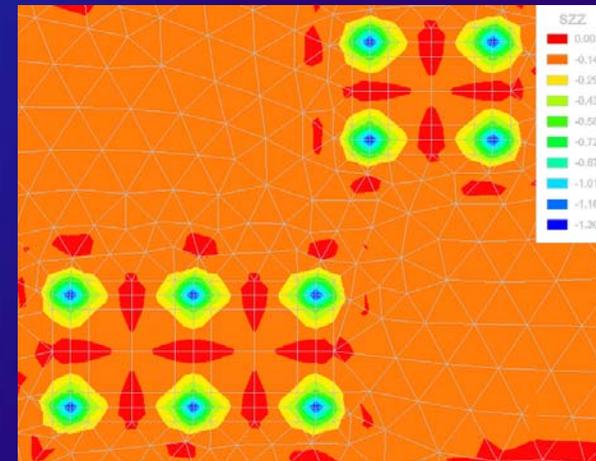
Calage de la modélisation

- Modélisation 3D de deux dalles contiguës avec joint (tests des éléments destinés à simuler le goujonnage)
- Modélisation 2D comportant 5 dalles adjacentes (tests des conditions de plastification entre couches – éléments de contacts)



Exemples de sorties graphiques

- Chaussée semi-rigide :
Maxima des contraintes normales à l'interface grave bitume - grave laitier
- Chaussée rigide :
Maxima de traction à la base de la CdF



Résultats principaux

Modèle n°	Configuration observations	Couche de forme	Assise	y max (mm)	Contraintes de traction max (MPa)		
					Béton	Graves laitier	Couche de forme
C42	Dalle béton continue	70 cm	1,05 m $E_y = 45 \text{ MPa}$	0.81	0.52	0.59	0.37
C44		70 cm	0,35 m $E_y = 45 \text{ MPa}$	0.72	0.53	0.57	0.35
TER3C2	Dalle béton goujonnée Atterrisseurs six et quatre roues	70 cm	1,05 m $E_y = 45 \text{ MPa}$	1.95	0.71	1.35	0.48
TER3C4		70 cm	0,35 m $E_y = 45 \text{ MPa}$	1.76	0.66	1.28	0.45
TER4C1	Idem TER3	35 cm	$E_y = 50 \text{ MPa}$	3.5	0.57	2.23	0.98
TER4C2		35 cm	$E_y = 80 \text{ MPa}$	2.4	0.52	1.66	0.85
TER5C2	Revêtement bitume Modèle continu Charges : idem TER3	70 cm	0,35 m $E_y = 45 \text{ MPa}$	2		0.55	0.54
TER5C3		35 cm	$E_y = 50 \text{ MPa}$	4.2		1.35	0.92
TER5C4		35 cm	$E_y = 80 \text{ MPa}$	2.8		1.2	0.75

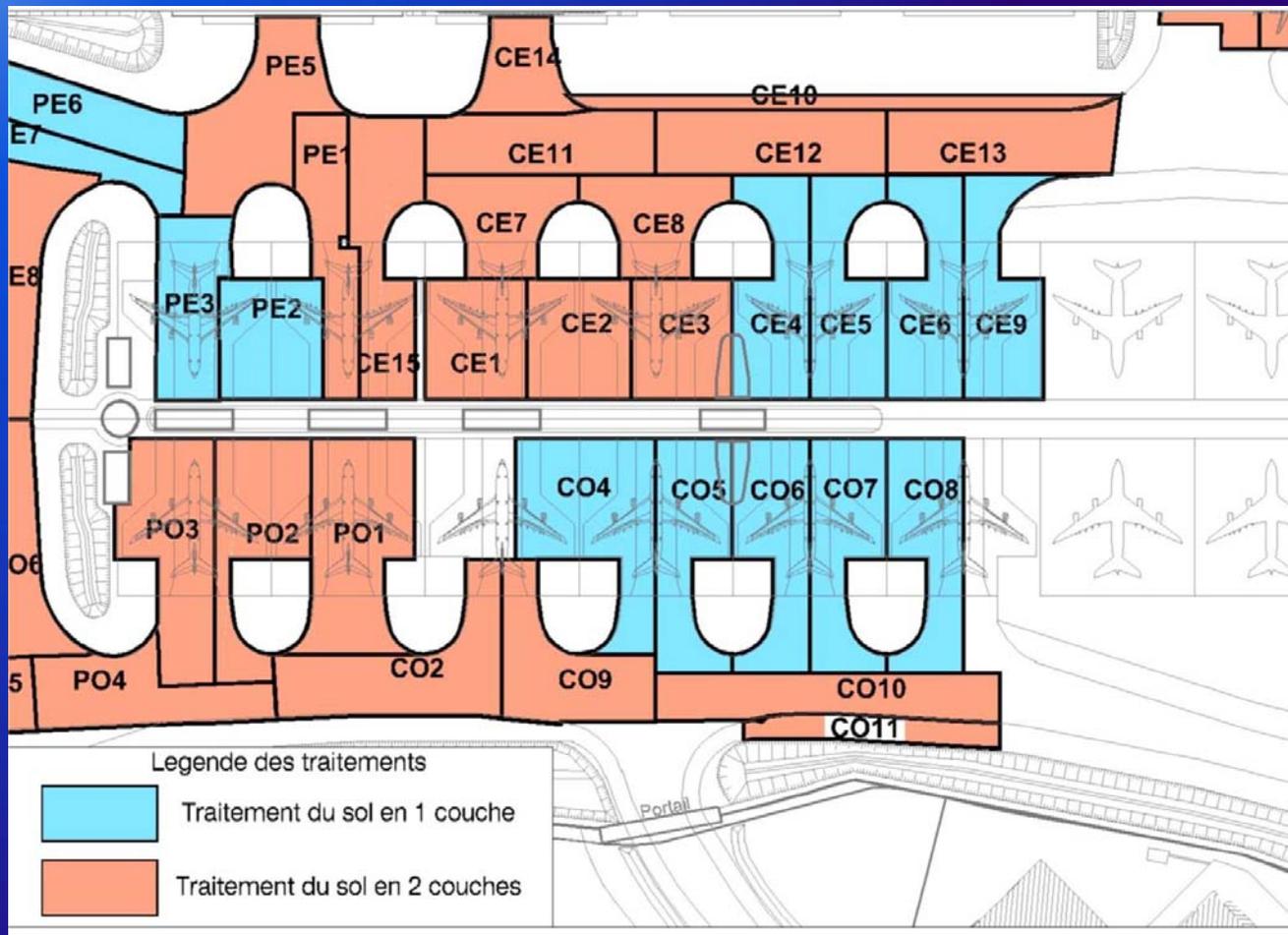
Principaux enseignements

- Validation des structures semi-rigide et rigide avec une CdF à 0,70 m d'épaisseur :
 - ✓ Contraintes de traction calculées \ll contraintes admissibles,
 - ✓ Déformations en surface comprises entre 0,5 et 2mm.
- Pour une CdF de 0,35 m, prescriptions complémentaires concernant la qualité de l'assise (drainage) afin de respecter les seuils imposés sur les contraintes de traction dans les couches de chaussée.

METHODOLOGIE DE CHANTIER

- Réalisation de planches d'essais de traitement pour tester l'influence de différents paramètres (teneur en eau, teneur en liant, compactage...),
- Découpage du site en « casiers » homogènes définis en fonction des conditions géotechniques et géométriques,
- Exécution d'une planche de référence sur un casier entier avec une organisation identique à celle du chantier principal.

Découpage en casiers - traitement

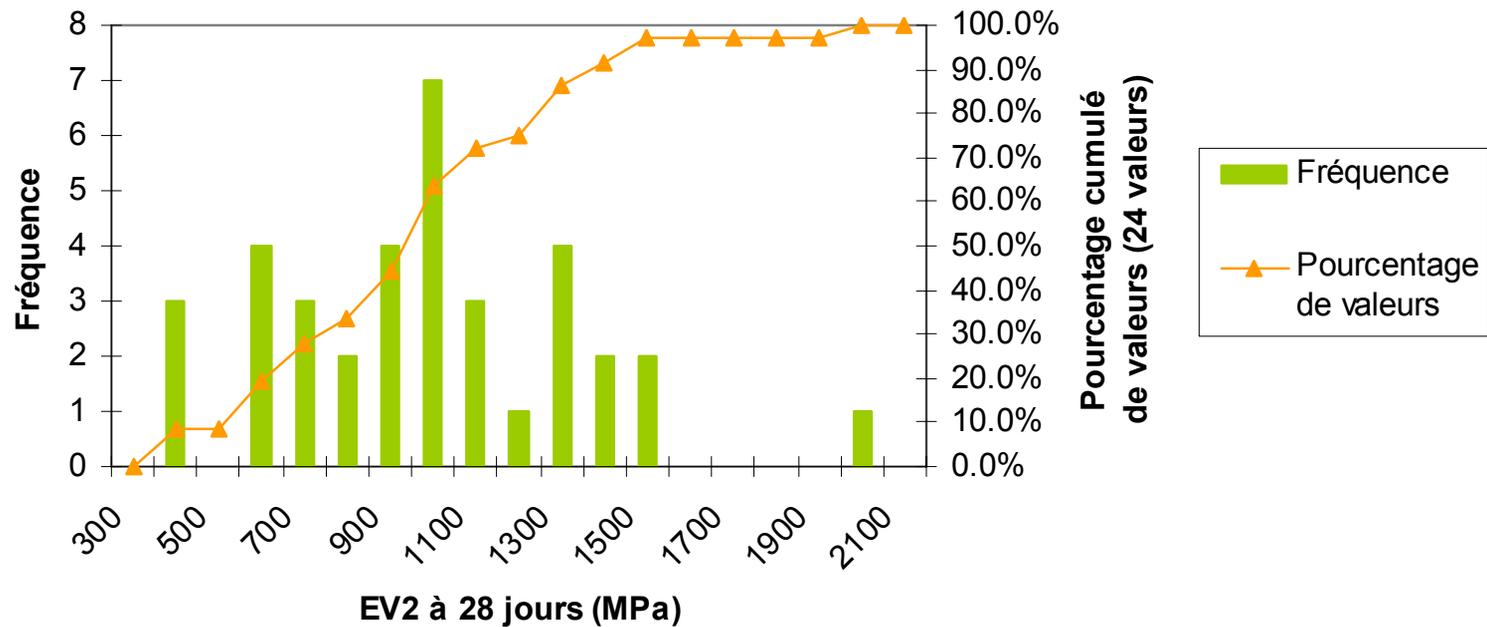


Organisation des contrôles internes (phase chantier)

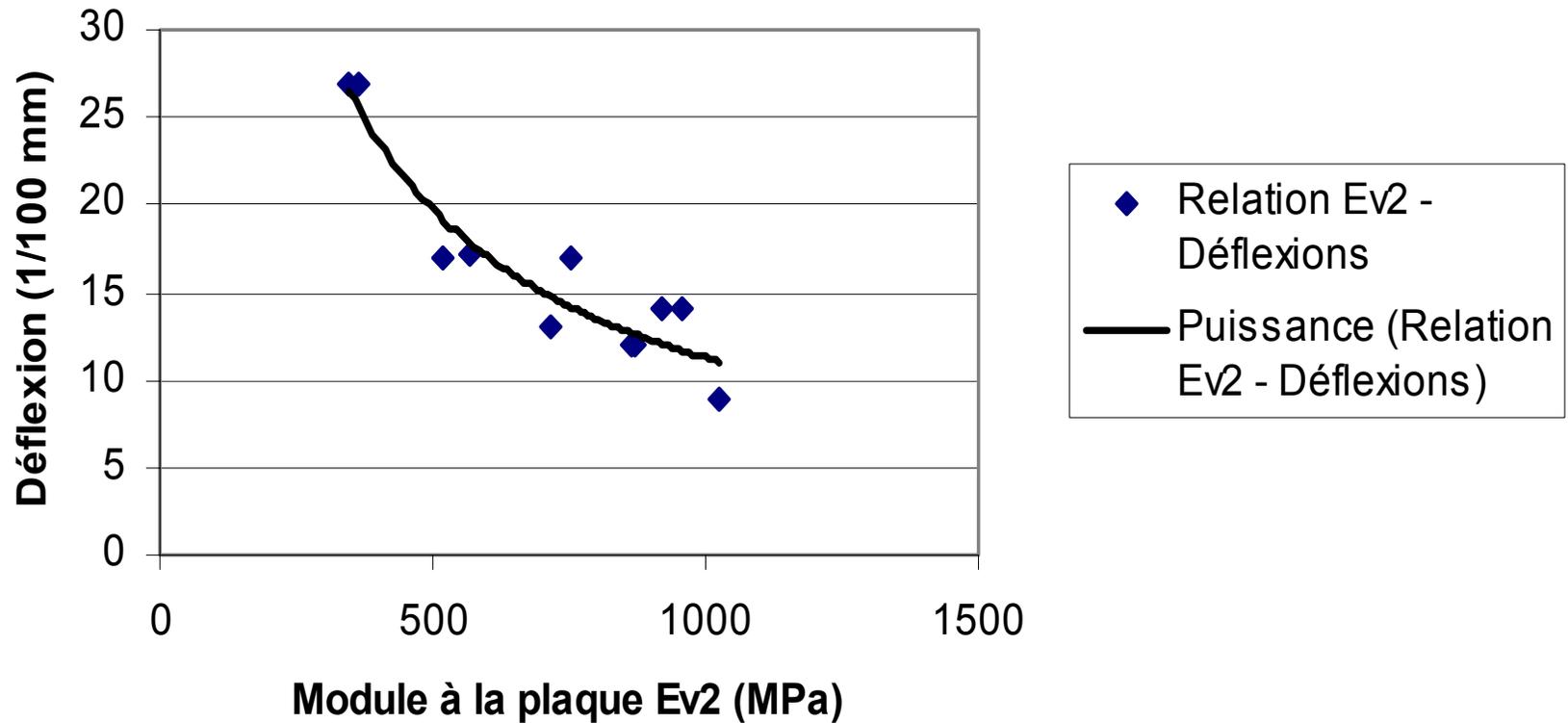
- Sur la PST : essais en laboratoire (IPI, CBR), essais de plaque standard (Ev2),
- Sur la couche de forme traitée : Essai de plaque « amélioré » pour atteindre des modules Ev2 de 500 MPa et plus (comparateur au millième, surfaçage au plâtre, protection contre le vent du dispositif de mesure).
- Passages systématiques d'un déflectographe après calage Ev2 - déflexion

Amplitude de variation des Ev2

**AEROCONSTELLATION Zone Centre EST,
Couche de Forme
Bilan des essais de réception à la plaque (28 jours) au 08 11 02**



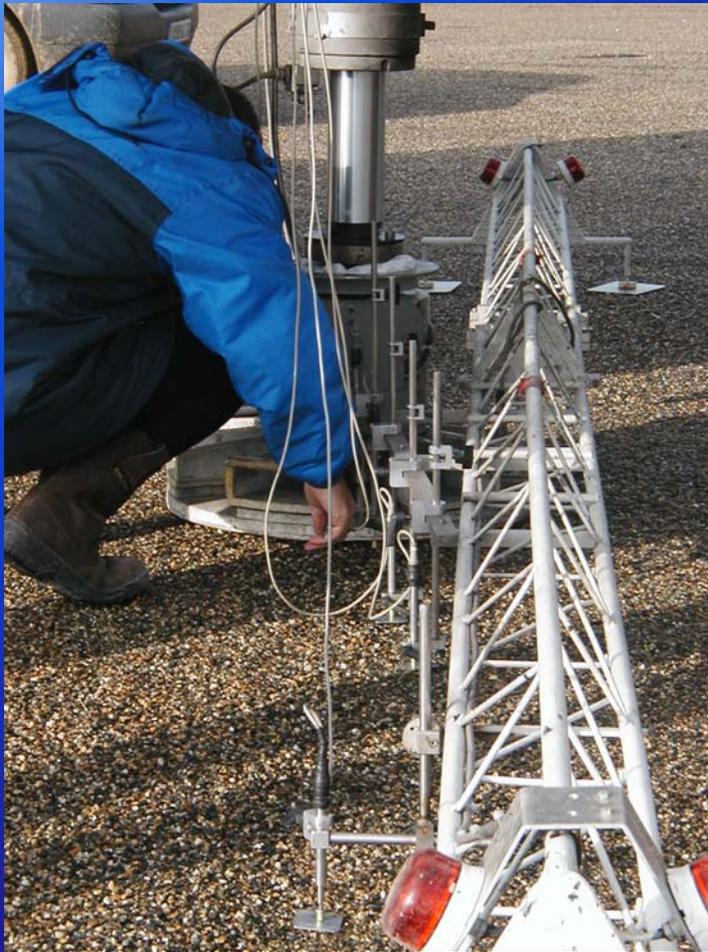
Corrélations EV2 - Déflexions



Contrôles extérieurs STBA

- Principe : essai de plaque avec une charge maximale de 30 T équivalente à la charge de projet (7 Tonnes pour l'essai de plaque standard),
- Simulation de l'effet de fatigue au moyen d'essais cycliques de chargement.
- Essais réalisés sur CDF et couche de fondation des dalles BA (chaussée rigide)

Moyens d'essais des Services Techniques des Bases Aériennes



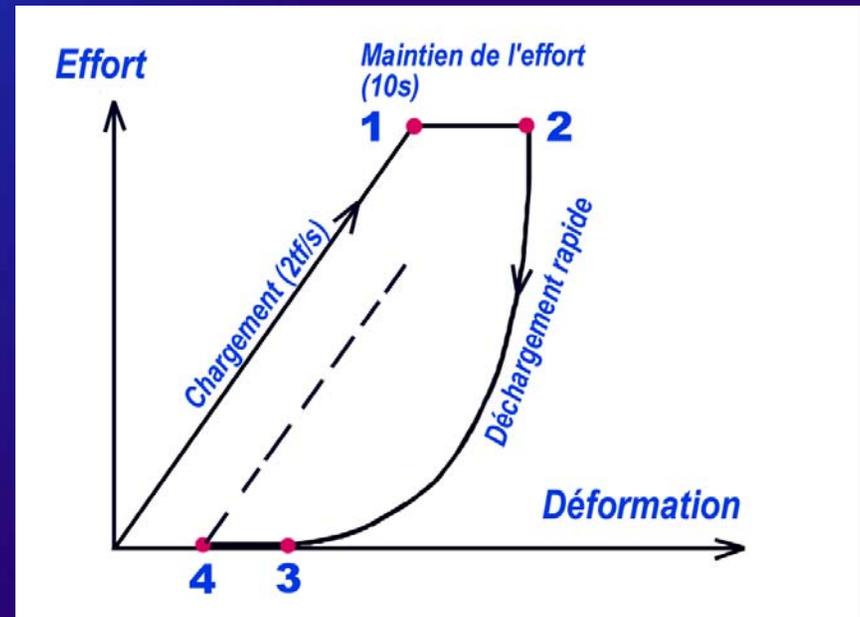
Principes de l'essai de chargement STBA

Paliers de chargement

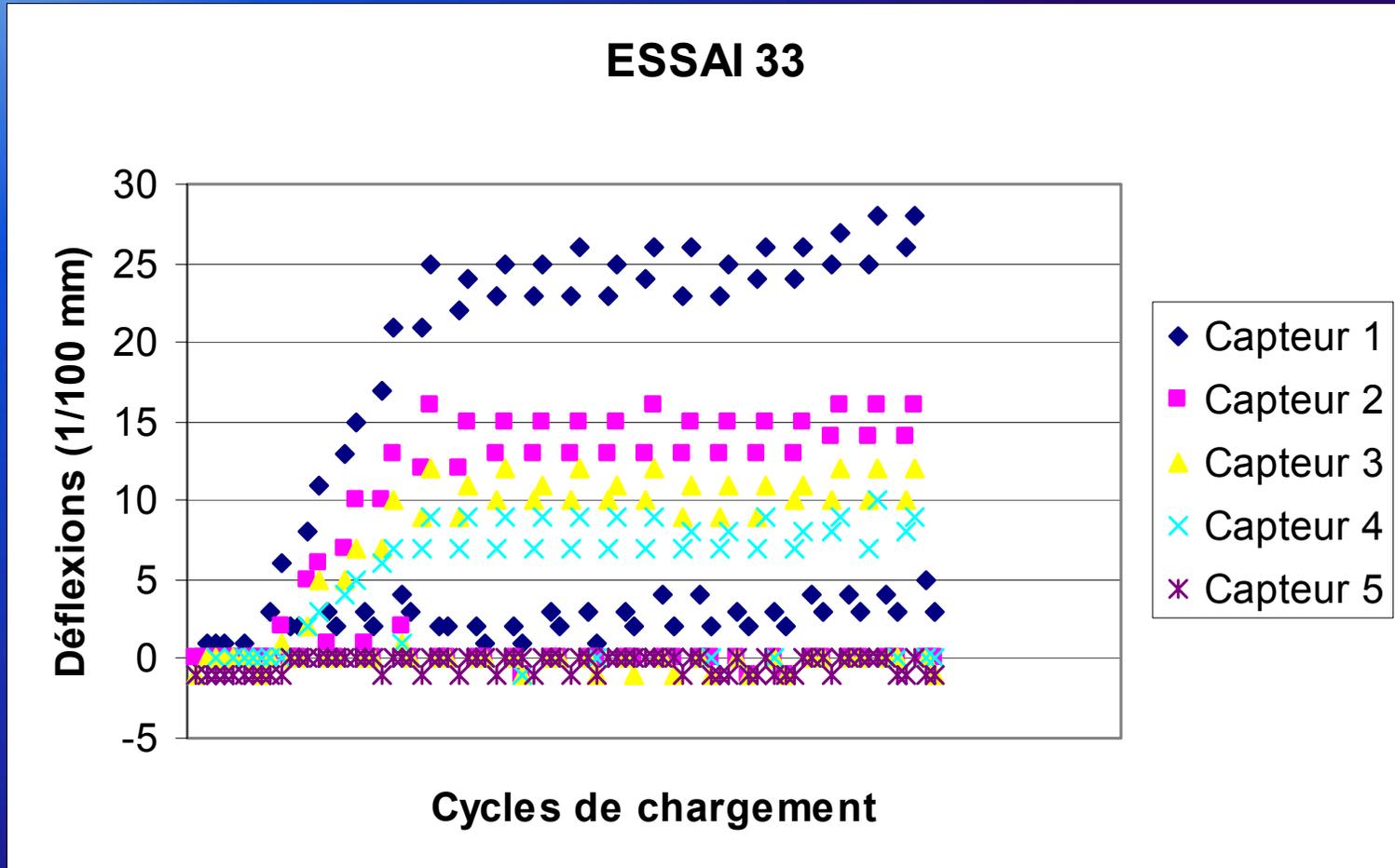
- 2 cycles à 7tf
- 1 cycle à 11tf
- 1 cycle à 15tf
- 1 cycle à 21tf
- 1 cycle à 25tf
- 14 cycles à 30tf

Nombre de capteurs
de déformations : 5

Précision des mesures
: 1/100 mm



STBA : essai type



Comparaison résultats STBA / Entreprise

STBA, Ev2 obtenu par régression adaptée à chaque courbe

ENTREPRISE

Casier	n° du point STBA	CDF	Modules issus des essais STBA	Modules moyens issus des essais STBA par casier		Modules moyens issus des essais STBA par type de CDF		Modules moyens issus des essais ENTREPRISE par type de CDF pour les casiers indiqués		Modules moyens issus des essais ENTREPRISE par casier		CDF	Casier						
			Ev ₂ par point (MPa)	Ev ₂ (MPa) moyen par casier	Ev ₂ (MPa) écart type par casier	Ev ₂ (MPa) moyen par CDF	Ev ₂ (MPa) écart type par CDF	Ev ₂ (MPa) moyen par CDF	Ev ₂ (MPa) écart type par CDF	Ev ₂ (MPa) moyen par casier	Ev ₂ (MPa) écart type par casier								
PE9	18	Type 3	2464	2239	---	2239	---	841	29	841	29	Type 3	PE9						
	19		2014																
CE1	13	Type 4	160	2360	2022	1662	1520	995 (1083 hormis casier CE8)	399 (386 hormis casier CE8)	1213	166	Type 4	CE1						
	27		5040																
	28		2376																
	29		1862																
CE2	6		1193	526	2080					1691	1662		1520	995 (1083 hormis casier CE8)	399 (386 hormis casier CE8)	1102	337	Type 4	CE2
	24			1045															
	30			5171															
	31			1823															
	32			2722															
CE3	7		---	361	---					---	1662		1520	995 (1083 hormis casier CE8)	399 (386 hormis casier CE8)	1271	197	Type 4	CE3
	8			1084															
CE8	9		833	483	833					312	1662		1520	995 (1083 hormis casier CE8)	399 (386 hormis casier CE8)	643 à 28 jours	236 à 28 jours	Type 4	CE8
	10	931																	
	11	799																	
CE11	12	910	1021	910	---	1662	1520	995 (1083 hormis casier CE8)	399 (386 hormis casier CE8)	887	531	Type 4	CE11						
	20		975																
PO6	21	Type 5	990	1300	549	1625	1496	945	315	1160	104	Type 5	PO6						
	22		1934																
	2		887																
PO7	4		1950	449	1950					2231	1625		1496	945	315	783	332	Type 5	PO7
	5			4513															

* : après grattage de la surface au droit de l'essai

Essais STBA : Pression de fluage – Coefficient de fatigue

- Pression de fluage mesurée sur la CDF de l'ordre de 0,9 MPa très supérieure à la pression induite par la charge des atterrisseurs (0,27 MPa),
- coefficient de fatigue :

$$\Omega_F = K(30\text{ t}) / K(30\text{ t}, 10^4\text{ cycles})$$

en utilisant une relation du type :

$$W = A \log(\text{Nb de cycles}) + B$$

Qualité de la couche de forme



Prototype du STBA : essai en vraie grandeur



le 20 Octobre 2004

Vue récente du chantier



le 20 Octobre 2004