



# Des solutions alternatives au béton prêt à l'emploi?

La centrale CENTAURE et le béton ECO 2

REX GISORS



**Auteurs**

Jean-Luc Salagnac - CSTB

**Rédaction - Mise en page**

Christophe PERROCHEAU

**Plan Urbanisme Construction Architecture - Chantier 2000**

**Directeur de rédaction**

Hervé TRANCART

**Communication**

Daniel WATINE

Arche de la Défense

92055 PARIS LA DÉFENSE Cedex 04

Tél : 01 40 81 24 33 - Fax : 01 40 81 23 82

## SOMMAIRE

▶ FICHE TECHNIQUE .....	3
▶ SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION .....	4
Analyse du protocole d'expérimentation.....	5
Déroulement de l'expérimentation Eco 2 béton .....	8
Déroulement de l'expérimentation Centaure II.....	11
Evaluation de la démarche et perspectives.....	14

# FICHE TECHNIQUE

## ► TITRE

Des solutions alternatives au béton prêt à l'emploi?

La centrale CENTAURE et le béton ECO 2

## ► RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

En 1993, était expérimentée CENTAURE I, une centrale à béton autonome, transportable par route, rapide à mettre en oeuvre sur un nouveau chantier et permettant d'obtenir un béton de qualité comparable à celui d'une centrale fixe. Une nouvelle génération de centrale, CENTAURE II, visait à tester les évolutions techniques de la centrale, notamment en matière de programmation; de gestion des quantités en temps réel et de maîtrise du béton produit. Dans le même temps l'équipe a expérimenté ECO 2, un béton très maniable et résistant qui se veut écologique et économique, obtenu par incorporation de cendres volantes.

## ► OPÉRATION SUPPORT

L'opération est située sur ZAC du Fossé Vert à Gisors (27). Elle comporte 102 logements collectifs PLA (en 2 tranches de 60 et 42 logements). La période de gros-oeuvre s'étale de Décembre 1994 à Novembre 1995.

## ► PARTENAIRES DE L'EXPÉRIMENTATION

### MAÎTRE D'OUVRAGE :

LOGIREP

### ARCHITECTE:

Cabinet Leperre et Grau

### BUREAU D'ÉTUDE :

Codibat Développement

### ENTREPRISE :

Quille et le service matériel : GEMRO

### FABRICANT DE LA CENTRALE :

Skako

## ► CONTACT

Alain Vassal - Quille

Le Trident

18, rue Henri Rivière BP 1048

76172 ROUEN Cedex

Tél : 02 35 14 48 48 Fax : 02 35 14 49 00

## ► ÉVALUATION DE L'EXPÉRIMENTATION

Jean-Luc Salagnac - CSTB

4, avenue du Recteur Poincaré

75782 PARIS CEDEX 16

Tél : 01 40 50 28 28 -Fax : 01 45 25 61 51

# Synthèse de l'évaluation

Le chantier de GISORS (27) a fait l'objet de deux expérimentations baptisées CENTAURE II et ECO 2. Pour l'entreprise, l'objectif commun de ces deux expérimentations est de mieux maîtriser la fabrication de son béton, matière première de sa production de gros œuvre. Deux voies ont été explorées.

- ▶ La mise au point d'un béton appelé ECO 2 utilisant des cendre volantes, résidus de l'industrie papetière, en substitution partielle du ciment. Les tests préliminaires en laboratoire étaient prometteurs, en particulier pour les caractéristiques mécaniques du béton. La phase chantier a révélé des problèmes de mise en oeuvre du béton et d'aspect non satisfaisant des parements. Ils n'ont pu être résolus par une modification des proportions des composants; ce béton a donc été abandonné pour la seconde tranche du chantier au profit d'un béton à base de fillers calcaires.
- ▶ la mise au point d'une centrale à béton appelée CENTAURE, destinée aux chantiers moyens. Deux objectifs concourraient à l'élaboration de cette centrale : concurrencer le béton prêt à l'emploi en terme de coût et obtenir un béton de qualité comparable à celui d'une centrale fixe tout en maîtrisant les quantités produites en « juste à temps ». Ces objectifs, orientés vers l'autonomisation et une meilleure maîtrise du chantier, définissent les caractéristiques de la centrale : transport par route en un seul convoi; préparation du site réduite; installation rapide (1 journée). L'automatisation de la centrale permet en outre de programmer différentes formulations de béton.

En 1993, le chantier de Beuzeville avait permis de tester le potentiel technique et économique d'un premier prototype. Sur le chantier de Gisors, l'entreprise a expérimenté les nombreuses évolutions techniques d'une nouvelle génération de centrale à silo horizontal. CENTAURE II permet la programmation d'un plus grand nombre de formules, la gestion des quantités en temps réel (télécommande de la production par le grutier, liaison avec le micro-ordinateur du chef de chantier) et une meilleure maîtrise de la qualité du béton (présence d'un hygromètre).

Pour l'essentiel, les difficultés rencontrées sur la centrale, essentiellement mécaniques, n'entravent pas son développement. Plusieurs unités ont d'ores et déjà réalisé plus d'une dizaine de chantiers. L'expérimentation de Gisors aura montré que certaines performances du matériel restent à améliorer : fiabilité, maîtrise de la qualité du béton, dispositif de pesage, mesure de l'humidité du sable et des gravillons, sécurité d'accès.

Le coût de production globale du béton (ECO 2 compris) est légèrement supérieur au BPE. Mais, la centrale a couvert 80% des besoins du chantier et a permis la réalisation d'ouvrages nécessitant différentes formulations de béton (coulé en place, ouvrages préfabriqués). Le déroulement du chantier atteste aussi de la complémentarité des fournitures de béton, par le BPE et par la centrale, au profit d'une meilleure organisation de la production de gros œuvre.

## REX Gisors

### ► ANALYSE DU PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION

Les REX CENTAURE II et ECO-2-BETON participent d'un même objectif qui est, pour l'entreprise, « de maîtriser la fabrication de son béton, qui est sa matière première ».

Les deux voies choisies sont :

- l'utilisation de cendres volantes, sous-produits industriels sans valeur marchande actuellement, en tant qu'ajout de fines dans les bétons. Ces cendres volantes proviennent des papeteries de la Chapelle Darblay. Ces déchets industriels sont actuellement répandus dans les champs.
- le développement d'une famille de centrales de chantier :  
*« Le but du programme CENTAURE est (donc) de mettre à la portée des chantiers moyens une centrale à béton innovante conservant les atouts des centrales de chantier sans les inconvénients actuels qui en entravent le développement face au BPE ».*

Un tel programme peut être analysé suivant plusieurs points de vue.

### L'ENJEU TECHNIQUE

L'offre industrielle de fabricants de matériels s'adapte lentement aux modifications des marchés de bâtiment, dont une des caractéristiques principale est la réduction de la taille des opérations. Le besoin de centrales à béton dans la gamme 200 à 500 m<sup>3</sup> par mois se fait sentir. La centrale CENTAURE II entend répondre à cette demande en apportant des réponses nouvelles.

Pour ce qui est des bétons de cendres volantes, le protocole d'expérimentation ECO-2-BETON rappelle justement l'ancienneté de cette démarche et les résultats encourageants obtenus antérieurement, tout en soulignant certains problèmes liés à la présence significative de noir de carbone dans les cendres en provenance de centrales thermiques.

### L'ENJEU ÉCONOMIQUE

Il est essentiel d'essayer d'obtenir au moindre coût des pas bétons dont il est justement rappelé dans le protocole ECO-2-BETON que les performances ne sont exceptionnelles. (« à 28 jours, un B25 suffit dans 95 % des cas »).

Les voies de progrès sont connues et résultent d'une analyse de la composition des bétons :

- réduire les coûts de production des composants chers (le ciment),
- diminuer la proportion de composants chers (ajout de fines en remplacement du ciment). Les fines ont en effet également la fonction de compenser la faible proportion de particules de faibles dimensions dans les sables lavés.
- améliorer l'outil de production (la centrale à béton).

Au delà des coûts des fabrications du béton, les gains économiques sur les conditions de mise en oeuvre sont essentiels et les mieux maîtrisables par l'entreprise.

Les protocoles ECO-2-BETON et CENTAURE II rappellent ces enjeux et proposent quelques objectifs :

#### ► ECO-2-beton

Quelle est la « vraie » demande pour un béton bâtiment ?

## REX Gisors

### a) résistance

- 28 jours, un B25 suffit dans 95 % des cas,
- aux jeunes âges (14 à 16 h), il faut un béton suffisamment résistant pour être décoffrable, surfaçable, circulaire et chargeable (pose des banches)

### b) maniabilité

Il faut un béton très maniable, ce qui représente :

- pour nos compagnons un travail moins pénible,
- l'absence d'ajout d'eau intempestif (pour obtenir la maniabilité que veut le compagnon),
- l'obtention d'un parement de meilleure qualité, grâce à une vibration plus efficace sur un béton « mou »

Les expériences réalisées sur nos chantiers ont montré que nos compagnons souhaitent un béton de slump (affaissement au cône) supérieur à 20 cm.

### c) parement

Il faut un béton permettant d'obtenir un parement sans ragréage car le ragréage c'est :

- un coût (homme + produit)
- une démotivation de la main d'oeuvre.

### ► CENTAURE II

Le programme consiste en la conception et la réalisation d'une centrale à béton autonome de chantier dont les caractéristiques principales sont :

- Réduction des coûts de transport,
- Simplification de la préparation du site,
- Installation et mise au point rapides,
- Assurance d'une qualité de béton optimale,
- Fonctionnement automatique,
- Réduction des aléas et des coûts de maintenance.

Ces caractéristiques, ainsi que le débit de CENTAURE, répondent aux chantiers d'environ 4 à 6 mois de gros oeuvre nécessitant la fabrication de 300 à 400 m<sup>3</sup> de béton par mois.

### L'ENJEU STRATÉGIQUE

Si le béton est effectivement la « *matière première* » de l'entreprise de gros-oeuvre, il lui est difficile d'en maîtriser la filière de production. Outre l'évidence que les cimentiers contrôlent la production des ciments, le protocole ECO-2 BETON fait état :

## REX Gisors

- ▶ d'actions de type normatif, destinées à canaliser les solutions techniques (norme NFP 18.505\* : «Additions pour béton hydraulique»), en tentant de limiter l'utilisation d'autres cendres que les cendres de houille,
- ▶ des craintes de la mainmise de quelques groupes cimentiers qui pourraient maîtriser l'essentiel des maillons stratégiques de la filière (du ciment à la distribution BPE, en passant par les granulats) : « Jusqu'à maintenant, EDF vendait directement ses cendres volantes (environ 100 F/tonne sur ROUEN). Depuis début 1993, les cendres volantes (de la centrale EDF du Havre) sont vendues par la filiale d'un cimentier qui les récupère à l'EDF (environ 120 F/tonne) ».

De tous ces points de vues, c'est probablement le point de vue stratégique qui est le plus important. La technique n'est en effet qu'un moyen de tenir un objectif économique qui est lui-même contraint par les actions des agents extérieurs à l'entreprise. Parmi ces acteurs, les producteurs de BPE jouent un rôle important qui est souligné dans le protocole d'expérimentation. Afin de réagir à une position trop dominante du BPE, l'entreprise mentionne sa tentative de création de la filiale SNAMO-BETON, fournisseur de BPE. Cette piste a été abandonnée par la suite.

Des lacunes des services du BPE (attente chantier au retard d'une toupie, toupie à chargement partiel, suspicion d'ajout d'eau par les conducteurs de toupie) sont par ailleurs citées par l'entreprise pour étayer la nécessité d'un recours à un moyen autonome de production sur chantier, origine du développement de CENTAURE.

Sans réduire le débat à une opposition « BPE - béton de chantier », - qui n'aurait d'ailleurs pas grand sens, tant l'existence des deux solutions est plus un atout qu'une entrave pour l'entreprise comme il a pu être vérifié sur l'opération de GISORS -, il n'en demeure pas moins que l'entreprise ne peut agir efficacement sur la filière amont. Elle se propose donc, par l'intermédiaire d'expérimentations comme CENTAURE II et ECO-2-BETON, d'essayer d'agir sur ce qu'elle peut escompter maîtriser.

---

\*La norme NF EN 450 d'octobre 1995 (Cendres volantes pour le béton : définition, exigences et contrôle de qualité), remplace la norme expérimentale P18-505 de juin 1992 et la norme homologuée NF EN 450 de décembre 1994.

## REX Gisors

### ► DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIMENTATION ECO2 BÉTON

Si les deux démarches proposées concourent à un même but, les objets en sont bien différents. Ceci justifie une présentation séparée des déroulements de la démarche ECO-2-BÉTON et de la démarche CENTAURE II, qui ont, de fait, été simultanées. La difficulté d'analyse, qui résulte de cette situation, a été allégée par la tenue régulière de fiches de suivi par l'entreprise.

Avant d'être produit sur le chantier de GISORS, le béton ECO-2 a fait l'objet d'essais portant sur la composition chimique des cendres (4 essais entre novembre 1991 et juin 1994), la formulation des bétons, la résistance à la compression, le slump et la durabilité. Ces essais préalables, regroupés dans un rapport établi par l'entreprise, attestent d'une stabilité de la composition des cendres volantes par rapport aux éléments analysés, d'une résistance à la compression dépassant 30 Mpa à 28 jours et d'un slump de 14 cm.

Le béton ECO-2 a été utilisé pour la réalisation du gros-oeuvre de la première tranche de 60 logements, essentiellement pour les voiles, d'autres bétons étant produits pour d'autres besoins (prédalles, préfabrication d'éléments, etc...)

La souplesse de programmation de la centrale CENTAURE II a permis de faire face à cette variété de productions.

La formule la plus utilisée (F3) est donnée dans le tableau ci-dessous. Elle a légèrement évolué entre les essais initiaux en laboratoire et les essais de convenance, qui ont eu lieu le 16 février 1995. Un des motifs de cette évolution réside dans l'amélioration de la plasticité du béton, dont le défaut était signalé dans les fiches de suivi.

FORMULE POUR 1 m3	rapport d'essais JFCE/cp 17/11/94		après essais de convenance le 16/2/95		après essais en laboratoire le 16/6/95	
	kg/m3	%poids total	kg/m3	%poids total	kg/m3	%poids total
ciment CPA	290	12.7	290	12.3	290	12.7
cendres volantes	60	2.6	60	2.6	80	3.5
sable sec	650	28.3	702.5	29.9	680	29.7
gravillon sec	1080	46.9	1096.5	46.6	1020	44.5
eau totale	220	9.5	203.8	8.6	220	9.6
résine	2.25	e	> 2	e	2.25	e
<b>TOTAL</b>	<b>2302.5</b>	<b>100</b>	<b>2290</b>	<b>100</b>	<b>2290</b>	<b>100</b>

Par la suite, des problèmes de mise en oeuvre (plasticité), d'aspect non satisfaisant des parements et de ressuage (constatés sur les ouvrages et dans les éprouvettes) ont conduit à plusieurs interventions (28/2, 8/3, 29/5, 6/6) très pragmatiques sur chantier. La persistance de résultats moyens a conduit à effectuer de nouveaux essais en laboratoire le 16 juin.

Des résultats satisfaisants, au regard des attendus de la REX, n'ont pu être obtenus après cette dernière intervention. La production de béton ECO 2 a été arrêtée le 12 juillet, peu de temps après le déplacement de la centrale correspondant à la fin de la première tranche.



## REX Gisors

Pour ce qui est des caractéristiques mesurées du béton ECO 2 (slump et résistances à la compression), les résultats ont été cohérents avec les prévisions.

Les essais de slump, consignés sur les fiches de suivi sont reproduits ci-dessous (valeurs en cm). La valeur cible de 20 cm minimum a globalement été atteinte par défaut, en particulier pour la formule F3.

fin de production d'ECO-2 >																					
Date >	MARS 1995																AVRIL 1995	06 95	07 95		
Formule	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	20	21	22	23	24	7	10	23	21
F3	12	15	17			18	17		18	18	17	18	20	20		20	20				18
F5	13	15			13	20	15	17	14	14	14	18	14	15	15			14	17	18	
F10	14	17	17	18	17																
F8								17													
F7																		15	20		

Les essais de résistance à la compression ont été effectués sur des éprouvettes réalisées avec du béton extrait de gâchées en condition opérationnelle de production. Le tableau suivant résume les résultats de mesure consignés dans un document de synthèse élaboré par l'entreprise à la date du 14 juin 1995.

date prélèvement	formule	résistance à 21 jours (Mpa)	résistance à 28 jours (MPa)
16/2/95	F3	21.3	28.6
8/3/95	F8 prédalles	25.7	40.8
13/3/95	F3	19.7	37.1
15/3/95	F3		32.5
16/3/95	F8 prédalles		39.6
12/4/95	F3		33
13/4/95	F5 préfa		40.7
27/4/95	F3		36.2
27/4/95	F5 préfa		43
2/5/95	F3		34.5

Pour ce qui est de l'état de surface, les résultats ont été en deçà des espérances. Un fort bullage et des nids de cailloux importants ont nécessité des opérations de ragréage sur de nombreux murs.

## REX Gisors

Durant la seconde tranche du chantier, la composition du béton produit par CENTAURE II a été la suivante :

FORMULE POUR 1 m3	voiles		prédalles		planchers	
	kg	%poids total	kg	%poids total	kg	%poids total
composants						
ciment	290	12.7	400	17.1	350	14.9
filler	80	3.5				
sable sec	680	29.7	762.5	32.6	765	32.6
gravillon sec	1020	44.5	951.3	4.7	992.5	42.3
eau totale	220	9.6	222.5	9.5	237.5	10.1
résine			2.3	e		e
<b>TOTAL</b>	<b>2290</b>	<b>100</b>	<b>2338.6</b>	<b>100</b>	<b>2345</b>	<b>100</b>

Les cendres volantes ont été remplacées par un filler calcaire (origine BEUZEVILLE). Les problèmes de qualité de béton ont persisté (ressuage, excès de graviers). Leur origine serait à chercher dans la nature des ciments utilisés (?).

## REX Gisors

### ► DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIMENTATION CENTAURE II

Le projet CENTAURE II est en filiation directe avec CENTAURE I qui avait fait l'objet d'une REX à BEUZEVILLE (27) en 1993, et dont les attendus étaient similaires à ceux de la REX de GISORS. Les enseignements de cette première expérimentation ont conduit à réviser la conception de la centrale mobile.

Le tableau suivant rappelle les caractéristiques essentielles des deux projets et fait apparaître les évolutions majeures.

caractéristiques principales	CENTAURE I	CENTAURE II
transport	un seul convoi sur remorque spéciale non immobilisée sur le chantier	un seul convoi sur remorque spéciale immobilisée sur le chantier
montage/démontage	en une journée sans moyen de levage annexe	idem CENTAURE I
silos (ciment/cendres)	un silo vertical (transporté horizontalement et relevé sur chantier) à deux compartiments	deux silos de 32 m <sup>3</sup> chacun, solidaires de la remorque (hauteur 4 m)
malaxeur	bol de 1 m <sup>3</sup> à axe horizontal	750 l à axe vertical
approvisionnement des agrégats	deux rayons raclants (débattements identiques de 72 degrés par rapport à l'axe de la centrale)	deux rayons raclants avec débattements différents
pilotage/contrôle	automate programmable	automate programmable avec micro-ordinateur de supervision

La mise en place initiale de CENTAURE II s'est effectuée dans les délais prévus. Compte tenu de la nature du terrain, il a néanmoins fallu réaliser une aire en béton pour pouvoir accéder aisément au poste de commande. La réalisation de cette aire a occasionné un relèvement du niveau du sol, accentuant ainsi le risque de choc de la tête de l'opérateur sur le bord du hayon de protection de l'automate.

La première production de béton en mode automatique avec CENTAURE II, sous contrôle du centralier, a eu lieu le 25 janvier 1995, soit un mois après la mise en place de la centrale. Cette phase a été rapidement suivie (2 février) du couplage entre l'automate programmable et le micro-ordinateur de supervision. A partir de ce moment, des fiches de production ont pu être émises, autorisant un éventuel contrôle a posteriori des caractéristiques des gâchées. Une nouvelle étape a été franchie le 13 mars avec la mise en service de la télécommande permettant au grutier de déclencher directement la fabrication d'une gâchée.

## REX Gisors

Outre des problèmes récurrents de contrôle de la quantité d'eau liés à la sonde hygrométrique, la centrale CENTAURE II a souffert de quelques autres difficultés ponctuelles dont une liste est donnée ci-dessous :

NATURE DU PROBLÈME	CONSÉQUENCES	SOLUTIONS
problèmes mécaniques (rayon raclant, casque de graviers, casque de la bascule, palier moteur)	centrale indisponible temporairement	intervention rapide du GEMRO
difficulté d'évaluation des stocks de cendres volantes et de ciment dans les silos	gêne dans la prévision des approvisionnements	à mettre au point
arrachage accidentel du câble de liaison automate-micro-ordinateur	perte d'information	problème occasionnel
tassement de la centrale		stabiliser le terrain ?
problème de pesage (tare résiduelle)	erreurs de formulation ?	nouvelles conception du système de pesage.

Lorsque ces problèmes ont occasionné une indisponibilité de la centrale CENTAURE II, l'entreprise a eu recours à la fourniture de BPE, à partir d'une unité de production sise à GISORS. Les quantités de BPE qui ont été utilisées sont de 865 m<sup>3</sup>, ce qui correspond à 20% du béton consommé par le chantier. La centrale a quant à elle produit 4700 m<sup>3</sup> de béton (80% du béton utilisé).

Les causes de recours au BPE sont exposées dans le tableau suivant :

CAUSES	QUANTITE BPE m <sup>3</sup>	POURCENTAGE	OBSERVATIONS
Nécessité d'un débit élevé (coulage d'un dallage de parking)	350	40	débit nominal insuffisant
Déplacement CENTAURE II	128,5	15	
Panne de ciment	36,5	4	Centrale indisponible
Panne de machine (toutes causes confondues)	33	4	
Coulage hors zone de grue (pavillons)	163,5 + 100 = 263,5	37	production de chantier inutilisable
<b>TOTAL</b>	<b>865</b>	<b>100</b>	

L'analyse de ce tableau montre que les problèmes rencontrés lors de la mise au point de la centrale sur le chantier, ayant rendu indisponible la centrale, ont généré 23 % du recours total au BPE. Sur cette quantité, on peut estimer que la majeure partie pourra être évitée dès lors que les problèmes évoqués auront trouvé une solution.

Le recours au BPE, pour cause de débit de béton insuffisant, est difficilement évitable, même avec une centrale de chantier traditionnelle de même capacité que CENTAURE II.

## REX Gisors

La réalisation des ouvrages concernés dans les conditions du chantier (terrain, météo) ont nécessité un coulage rapide, incompatible avec le débit constaté de la centrale (environ 12 m<sup>3</sup>/h en pointe le 23.2.95). Le déroulement du chantier atteste ainsi de la complémentarité BPE / CENTAURE II pour la fourniture du béton nécessaire.

Le déplacement de la centrale entre les deux tranches du programme était prévu dans le plan d'organisation du chantier. Il a débuté le 27 juin par le débranchement des réseaux, le vidage des silos et le repliement des organes mécaniques pour se terminer le 30 juin à 18 h. Cette durée, plus longue que prévue (pendant laquelle le chantier a été approvisionné en BPE), résulte principalement de problèmes de dégagement de la remorque. Le tracteur doit en effet se positionner à l'endroit de la fosse creusée à la verticale du poste de remplissage des bennes. Il a donc fallu combler cette fosse. Le terrain étant rendu très meuble autour de la fosse, le tracteur n'a pu tirer la remorque. Il a fallu d'une part stabiliser le terrain par apport de béton, d'autre part avoir recours à un tracteur à pont auto-bloquant de manière à éviter le patinage des roues. Ces dispositions prises, le déplacement proprement dit a duré environ une heure. Le temps restant a été consacré à la remise en service de la centrale.

► ÉVALUATION DE LA DÉMARCHE ET PERSPECTIVES

**ECO-2 BÉTON**

La voie choisie était a priori économiquement intéressante : utilisation de cendres volantes en ajout du béton venant se substituer à du ciment. Le principe n'est pas nouveau, mais les cendres utilisées sont actuellement sans valeur marchande (1 F / tonne à l'achat, 58 F / tonne pour le transport). Le chantier aura consommé 150 tonnes de cendres volantes, livrées en neuf fois entre le 21/12/94 et le 4/7/95, pour un coût global de 8777 F. Il est probable qu'en cas de succès de la démarche, ces cendres prendraient une certaine valeur commerciale.

L'expérience de la première tranche de GISORS a montré que ce succès n'était pas avéré. Si les performances de résistance mécanique sont satisfaisantes, l'obtention, dans les conditions du chantier, d'un béton maniable permettant d'obtenir des paiements de bonne qualité, s'est révélée problématique. Malgré une redéfinition de la formulation du béton, les problèmes ont persisté. L'entreprise a donc décidé d'avoir recours à des fillers calcaire pour la deuxième tranche du chantier.

Pour expliquer ces désordres, nous ne pouvons en rester qu'au stade des hypothèses dans le cadre de ce suivi/évaluation.

- Le rôle des cendres volantes : malgré une apparente constance de la composition des cendres, si l'on en juge par l'analyse complémentaire effectuée pendant le chantier qui corrobore celles réalisées avant le démarrage, les résultats constatés sur chantier, en terme de qualité de parement et de ressuage, laissent présager des phénomènes non maîtrisés. Une piste (qui n'a pu être suivie) résulte d'une observation faite par le grutier sur l'écoulement du béton dans la benne. D'après cette observation, le béton de cendres ECO 2 s'écoulerait en « collant » aux parois, indiquant ainsi un comportement rhéologique différent d'un béton courant, qui s'écoule en « piston ».
- Le rôle de la quantité d'eau : la lecture des fiches de production (éditées à chaque gâchée) fait apparaître des variations erratiques de la quantité d'eau (en plus ou en moins) par rapport aux valeurs cibles, qui sont elles mêmes déduites des valeurs théoriques en tenant compte des valeurs d'humidité du sable donnée par la sonde hygrométrique. Ces variations peuvent provenir de problèmes de pesée ou de précision de l'évaluation de l'eau apportée par les sables et graviers.
- Le rôle du malaxage : un résultat empirique, obtenu sur le chantier, indique que le ressuage a diminué en utilisant du béton produit par gâchée de 700 litres au lieu de 800 litres. Une autre observation concerne l'incidence sur les caractéristiques du béton de l'ordre de mélange des produits, en particulier le moment où est injecté la résine CHRYSO.

Ces hypothèses mériteraient d'être examinées afin de mieux comprendre les résultats observés sur chantier. Si des recherches complémentaires montraient qu'un béton aux performances attendues pouvait être produit avec ces cendres volantes, au prix d'une remise en cause du mode de fabrication du béton, la centrale de production devrait être adaptée en conséquence pour ce qui est d'éventuelles modification de l'ordre de remplissage, du temps de malaxage, etc...

Le chantier expérimental a mis en évidence le manque de maturité du développement de ce béton de cendres, révélant ainsi des problèmes que n'avaient pas fait apparaître les

## REX Gisors

essais préliminaires. La poursuite immédiate a été arrêtée. Il est clair que des réflexions, portant sur les conditions de production sur chantier et la maîtrise de la qualité de ce type de béton, sont à mener avant toute généralisation de l'usage de ce béton. Par ailleurs, il y aurait lieu de s'interroger sur l'incidence d'une prise de valeur commerciale de ce sous-produit industriel actuellement « gratuit », sur les perspectives économiques.

### CENTAURE II

La plupart des problèmes rencontrés lors de l'expérimentation peuvent être considérés comme des problèmes de « jeunesse » du matériel. En ce sens, ils ne sont pas de nature à enfreindre des développements ultérieurs, la centrale ayant donné globalement satisfaction pour ce qui est du fonctionnement mécanique. Des améliorations ont d'ores et déjà été apportées et cinq centrales sont en service au sein du groupe BOUYGUES. Toutefois, les performances moyennes obtenues durant la deuxième phase du chantier, en utilisant des fillers calcaires, posent le problème de la qualité du mélange obtenu : l'hypothèse d'un ciment défectueux a été évoquée mais ni confirmée ni infirmée. La maîtrise de la qualité du béton n'a pas été probante, en particulier pendant la phase ECO-2, et est perfectible si l'on en juge à partir des quelques informations disponibles pendant la deuxième tranche de l'opération.

La télécommande et l'automate apportent un gain de main d'oeuvre, le grutier déclenchant la production en « juste à temps ». L'édition d'un bordereau de fabrication pour chaque gâchée a été réalisée. Il en résulte une masse de documents imprimés sur l'exploitation de laquelle une réflexion est de toute évidence à mener. L'objectif de mettre à disposition du chantier un moyen de production permettant une fabrication de béton au moment voulu et à la quantité désirée a été atteint, sous la réserve toutefois que les débits nécessaires soient compatibles avec les capacités de production de CENTAURE II.

La sécurité des conditions de production a fait l'objet d'un examen attentif. Un point important consistera à améliorer la sécurité des conditions de nettoyage quotidien de la centrale, et plus généralement la sécurité des conditions d'accès à la plateforme de réception du béton. Compte tenu de l'imbrication des deux REX, la seule analyse accessible est globale et ne permet pas de séparer ce qui ressort de CENTAURE II et d'ECO2.

Un résultat brut, fourni par l'entreprise, est que le coût du mètre cube de béton produit par la centrale CENTAURE II est 421.51 F, à comparer à 410.35 F pour la fourniture BPE.

L'existence de cinq machines au sein du groupe BOUYGUES atteste de la volonté de développement de ce type de centrale et de l'intérêt qui est porté à développer en interne une machine en concurrence de celles proposées par le marché. Le chantier aura apporté des éléments permettant d'améliorer certaines performances de la machine en référence à la première centrale CENTAURE I. La nécessité d'autres améliorations est apparue pendant l'expérimentation : fiabilité, maîtrise de la qualité du béton produit, dispositif de pesage, mesure de l'humidité du sable et des gravillons, sécurité d'accès. L'équipe concentre son attention sur ces points pour les développements futurs.

Les conditions optimales d'utilisation de CENTAURE II sont à affiner. Par l'espace disponible à GISORS, par la proximité d'une centrale BPE, les conditions de démonstrations des capacités de CENTAURE II à répondre à des contraintes d'espace et d'éloignement de points de fourniture BPE n'ont pas été réunies.