Béton lourd

Autor(en): **Meyer, Bruno**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **56-57 (1988-1989)**

Heft 23

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-146206

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BULLETIN DU CIMENT

NOVEMBRE 1989 57E ANNÉE NUMÉRO 23

Béton lourd

Contribution de la construction à la radioprotection. La technologie du béton sous un angle insolite. Un exemple concret.

Le béton lourd se différencie du béton normal par sa **densité apparente plus élevée.** Son principal domaine d'utilisation est la radioprotection, telle qu'elle est actuellement nécessaire non seulement dans les centrales nucléaires, mais également dans les entreprises utilisant de plus petits appareils. C'est pourquoi sur quelques chantiers certaines parties de l'ouvrage doivent être réalisées en béton lourd. Le projet et l'exécution de ces parties sont de prime abord insolites et demandent des intervenants une conception particulière de la technologie du béton. Pour fabriquer le béton, on utilise des granulats de densité apparente plus élevée, et l'on doit par conséquent procéder au bétonnage en réfléchissant aux divers points sur lesquels ce changement exerce une influence. Le béton lourd en petites quantités revient beaucoup plus cher que le béton normal. Compte tenu du coût des granulats et du surcroît de dépenses, le prix du m^3 est d'environ 1000 francs et plus, ce qu'il faut prendre en considération dès que l'on aborde le projet.

Calculer l'effet protecteur est une tâche spéciale. Pour la mener à bien, il faut disposer des données du fabricant des appareils et connaître les propriétés du matériau, les caractéristiques de la construction ainsi que les exigences concernant la radioprotection. Les résultats de ces considérations doivent passer à la réalisation par l'intermédiaire du **chef de projet.** Le béton est le matériau adéquat parce qu'une construction en béton peut servir en même temps d'enceinte, de structure porteuse et de blindage. Mais projetée en béton normal, une telle construction se révélerait de trop grandes dimensions. C'est pourquoi l'on utilise du béton lourd ou,

2 pour les dalles à la rigueur, une combinaison mise en place frais sur frais. Outre la densité, la composition chimique est également déterminante pour l'effet protecteur. S'ils ne proviennent pas de gisements naturels, les granulats lourds sont fabriqués artificiellement. On en trouve de plusieurs sortes sur le marché. Des indications concernant leur utilisation et leur effet protecteur figurent dans la fiche technique «Strahlenschutzbeton» [1], ou sont données par les fabricants. Les technologues du béton sont ensuite informés de la sorte des granulats, de la densité apparente requise du béton durci et des dimensions des éléments de construction.
Pour obtenir l'effet protecteur voulu, il est primordial que le béton soit absolument homogène et exempt de fissures. D'éventuelles irrégularités résultant d'une ségrégation ou d'un mauvais compactage sont beaucoup plus lourdes de conséquences qu'une répartition inégale des éléments chimiquement actifs dans le béton. C'est pourquoi, comme pour le béton normal, l'armature doit être soigneusement conçue, et le déroulement du bétonnage pris en considération lors de l'établissement des plans déjà (exécuter les joints de reprise en fonction de la progression du bétonnage et, dans toute la mesure du possible, les disposer dans les parties en saillie ou en retrait, et non dans la zone utile). Ces constructions étant massives, la résistance n'a en général qu'une importance secondaire. Les granulats lourds permettent d'obtenir facilement des valeurs minimales de 25 N/mm^2 (correspondant à B 35/25). Des propriétés particulières peuvent être requises comme pour le béton normal, pour autant qu'elles ne diminuent en rien l'effet de radioprotection, et des essais préliminaires peuvent être faits conformément aux prescriptions normatives (SIA 162).
Pour **régler le déroulement du bétonnage,** il est conseillé de procéder comme suit: en même temps que le devis, on établit le projet du mélange. On le fait en se basant sur les valeurs empiriques fixées pour d'autres chantiers (p. ex. [2]) ou sur les formules de référence des fabricants. Il est ainsi possible d'estimer assez précisément la quantité nécessaire. Une fois le contrat d'entreprise conclu, l'entrepreneur et le fournisseur du béton sont connus et, dès que les granulats lourds sont livrés, des essais préliminaires sont faits pour établir la formule définitive du béton sur la base de ses composants effectifs. Pour les travaux de bétonnage proprement dits, on effectue des contrôles du béton frais. Lors de la première étape, ils servent à une mise au point précise de la formule et, lors de toutes les étapes suivantes, à régler la fabrication.

Pour les **composants du béton,** il faut veiller à déterminer le pourcentage de liant en fonction du diamètre maximum des granu-

lats et de la teneur en fines, afin d'obtenir une bonne maniabilité. Le CP normal convient pour tous les granulats. Pour les éléments de construction massifs, en raison du risque de fissures d'origine thermique, il faut s'efforcer de réduire la chaleur d'hydratation, et l'on peut remplacer une partie de la quantité de ciment par des additifs.
Les granulats peuvent être livrés en tant que composants ou en mélange prêt. Leur dosage dépend de la densité apparente requise. Si la limite supérieure du possible n'est pas atteinte, on peut toujours encore ajouter au mélange une part de granulats normaux. La courbe granulométrique la meilleure est approximativement celle de la parabole de Füller. En raison du dessèchement et des différences lors de la fabrication, la densité apparente du béton frais est fixée à environ 0,15 kg/dm^3 au-dessus de celle requise pour le béton durci (voir [1]).
Vu le risque de fissures de retrait, la quantité d'eau de gâchage doit être la plus faible possible. Des adjuvants tels que BV ou HBV le permettent. Si l'on utilise ces adjuvants, il faudrait absolument viser à réduire l'eau de gâchage. Leur dosage est indiqué en % de la teneur en liant et doit être fonction de l'effet recherché. Les mesures de la consistance (par exemple le degré de serrage) servent bien de précieux points de repère au sein d'un même chantier, mais elles ne sont pas directement comparables avec celles faites pour le béton normal. Seul un essai préliminaire et des contrôles du béton frais sont révélateurs. Le volume des pores est du même ordre de grandeur que pour le béton normal (en moyenne 1,5% de la part de volume).
Le béton lourd destiné à la radioprotection exige un coffrage étanche et solide sur le **chantier.** Ce coffrage doit être dimensionné partout en fonction de la plus forte pression exercée. Pour les étapes où le coffrage ne peut pas encore être ancré au béton en place, ainsi qu'aux joints de reprise généralement hauts, des étayages spéciaux sont nécessaires. Afin que les tirants et les écarteurs ne laissent pas de vides dans le béton, on peut utiliser une armature de précontrainte avec contre-écrous qui restent dans le béton. Les extrémités saillantes sont coupées à fleur de la surface. Le tracé de l'armature et la façon des écarteurs doivent être discutés en temps utile entre le projeteur et le chef des travaux. Cette mise au point facilite la pose et permet que le béton soit bien mis en place partout.
Si le béton est mélangé sur le chantier, les granulats doivent être entreposés proprement (prévoir un fond en béton maigre). S'il est fourni par une **centrale à béton,** il faut convenir à temps des délais et de la qualité. Les granulats lourds sont livrables dans les 2 à 3 semaines environ. Ils peuvent être livrés par bateau, par chemin de fer ou par conteneur à semi-remorque. La centrale à béton doit

réserver spécialement à cet effet 1 à 2 silos à gravier pendant un temps assez long. Comme il s'agit d'un matériau cher, le cubage doit être calculé avec la plus grande précision possible. Si la livraison est faite en plusieurs fois, on peut encore corriger la commande en se basant sur le premier résultat.

La **vitesse d'avancement du bétonnage** est habituellement calculée sous forme de débit volume (m^3/h). Comme la capacité des machines et engins est indiquée en t désignant la charge limite nominale, cette vitesse diminue proportionnellement à l'augmentation de la densité apparente. Cela concerne notamment le malaxeur, le camion, l'engin de transbordement, la grue, la benne et les vibreurs. Une étape de bétonnage dure donc un peu plus longtemps si elle n'est pas choisie de prime abord plus petite. Le transport par pompage n'est pas exclu et peut être prévu si l'on a un peu d'expérience (les granulats lourds sont concassés; prendre garde à l'échauffement des tuyaux par suite du frottement). Les camions malaxeurs ne sont guère indiqués pour ce travail.

Le temps de malaxage est déterminé par les essais préliminaires. Il doit être d'une minute au moins pour que le mélange soit suffisamment homogène. L'humidité propre du granulat est une inconnue. Afin de maintenir la teneur en eau de gâchage donnée, on peut comme habituellement doser l'adjonction d'eau en fonction de la consommation de courant du malaxeur. Le résultat de cette intervention apparaît dans les contrôles du béton frais, dans l'aspect du mélange et dans la maniabilité sur le chantier. L'adjonction d'eau représente en l'occurrence une valeur d'influence permettant de compenser les différences de vitesse d'avancement du bétonnage et les écarts de température d'un jour à l'autre. Mais il est nécessaire que la communication soit bonne entre le chantier, le laboratoire et la centrale à béton. Si la consistance est trop molle ou le dosage en mortier trop élevé, il y a risque de ségrégation, particulièrement si la densité apparente de chacun des granulats choisis diffère fortement. Il doit être tenu compte de ce risque lors du projet de mélange déjà, car au moment de la fabrication du béton il est trop tard pour faire des corrections.

Pour la mise en place et le compactage du béton lourd, on applique les règles habituelles de la technologie du béton. Les travaux doivent se terminer par un **traitement de cure** soigné, ce qui signifie que le béton doit être maintenu humide pendant 4 jours au moins afin d'en empêcher le dessèchement. On peut pour obtenir ce résultat retarder le décoffrage, recouvrir le béton d'une bâche en plastique ou appliquer un compound de cure. Comme il s'agit généralement de béton en masse à fort dégagement de chaleur, il faut éviter les grandes différences de température entre la surface du béton et l'air;

 le moyen le plus pratique est d'utiliser à cet effet des nattes isolantes. En travaillant avec du béton lourd, on découvre les aspects importants de la technologie du béton. Et parce que l'on s'écarte des critères usuels, on acquiert une expérience qui se révèle précieuse même pour le travail habituel avec le béton. L'exemple ci-contre comprend des indications concernant un cas d'espèce et fournit des points de repère pour la solution de problèmes similaires.

Exemple concret

Dans le nouveau bâtiment de la clinique de radio-oncologie de l'hôpital cantonal de Lucerne, deux accélérateurs linéaires vont être utilisés. Les accélérateurs linéaires sont des appareils de radiothérapie antitumorale à haute tension. Le bloc de radioprotection partiellement réalisé en béton lourd est actuellement en construction (fig. 1). Pour le granulat, on a choisi la *barytine* (densité apparente du granulat: min. 4,2 kg/dm^3). Ce granulat était livrable en composants de 0/4 et 4/16 mm, mais a été commandé en granulométrie de 0/16 mm, afin de ne retenir qu'un seul silo. La densité apparente à l'état sec du béton durci doit être de 3,2 kg/dm^3 au minimum. Le dosage en ciment était prévu de 325 kg/m^3, mais pour réduire la chaleur d'hydratation, 50 kg ont été remplacés par des cendres volantes (275 kg CP + 50 kg HE). La maniabilité a été obtenue au moyen d'un fluidifiant à haute efficacité (0,8% HBV par rapport au liant). Il a été ainsi possible d'abaisser le facteur e/c de 0,60 à 0,50 environ.

La *formule du béton* a été modifiée en trois phases et, avec la surveillance ayant fait suite, elle a permis des résultats très constants (voir tableau 1). Des contrôles du béton frais ont été effectués à l'aide d'un laboratoire mobile (fig. 2). Leurs nombres ont été fonction des résultats qu'ils révélaient, mais trois prélèvements d'essai au moins ont été faits à chacune des étapes.

Grâce à la mobilité de la centrale à béton, les *travaux de bétonnage* ont pu être exécutés pendant les heures de travail normales. L'humidité du granulat a été compensée très nettement. La quantité d'eau ajoutée a diminué de plus de 10 l/m^3. Lorsque la quantité d'eau de gâchage nécessaire était atteinte, la consistance voulue pouvait encore être réglée avec 1–2 l/m^3 supplémentaires sur la base de la consommation de courant. Le malaxeur a été chargé de 1,5 m^3 par gâchée, et les camions de 3 ou 4,5 m^3 par trajet. Sur le chantier, c'est la capacité de la grue qui était déterminante. Les étapes journalières ont été de 60 à 100 m^3. Une communication par téléphone et par radio était établie entre le chantier et la centrale à béton, afin de pouvoir faire face à l'imprévu. *suite à la page 12*

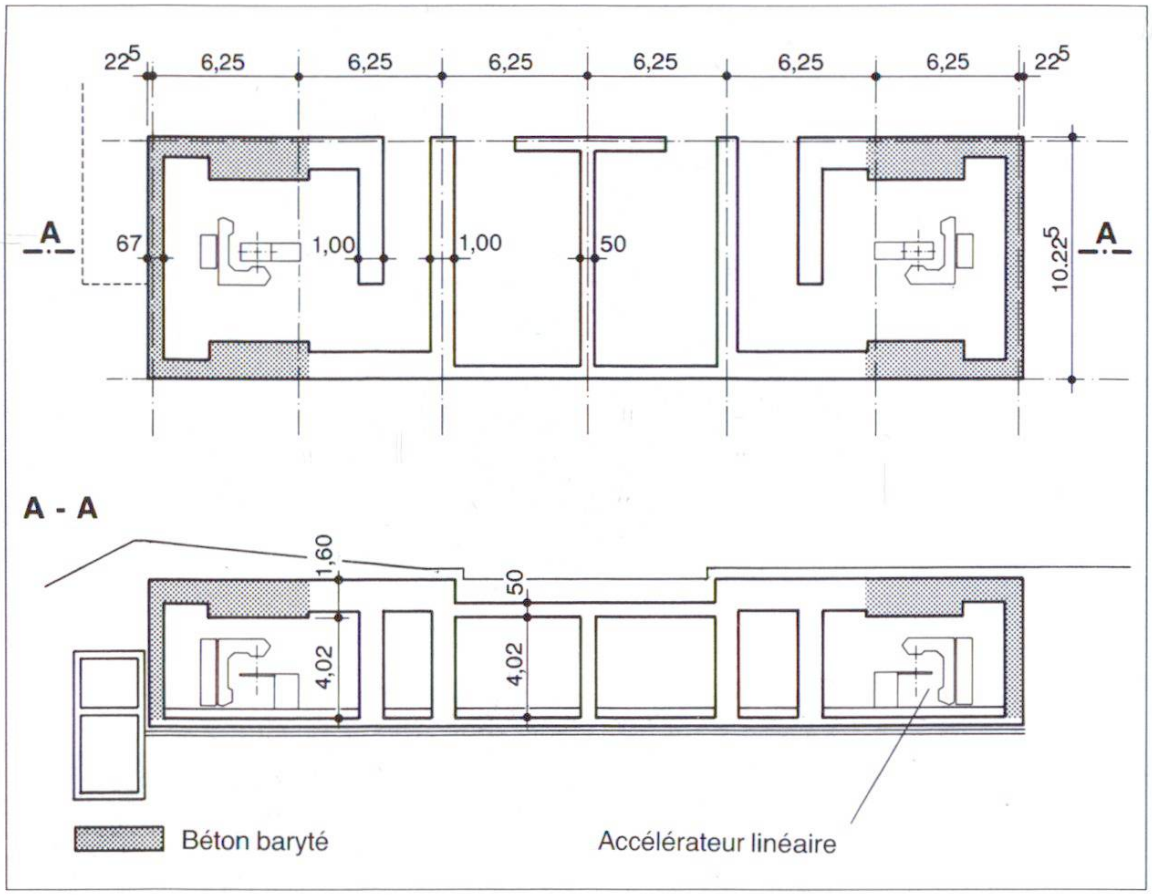

Fig. 1 Partie de l'ouvrage avec bloc de radioprotection pour 2 accélérateurs linéaires.

Fig. 2 Contrôles du béton frais. Des prélèvements sont faits pour la densité apparente, la teneur en eau, le pourcentage de pores d'air, le degré de serrage et la température du béton frais. Simultanément: fabrication de cubes d'essai pour la résistance.

Fig. 3 Joint de reprise. Le métal déployé est enlevé et nettoyé.

Fig. 4 Coffrage mural, d'environ 4 m de hauteur.

Fig. 5 Mur préparé pour une étape de bétonnage. Nettoyage et humidification.

Fig. 6 Début des travaux de bétonnage. On voit les robustes écarteurs de l'armature.

Fig. 7 Raccord mural intérieur.

Fig. 7 et 8: Raccords muraux soignés dus au coffrage étanche (très faible perte de pâte de ciment). Les tirants du coffrage restent dans le béton lourd et sont sectionnés. Fig. 8 en bas à droite: Pan de mur en béton normal avec l'habituel tube de trou pour attache.
Fig. 9–11: Le béton baryté présente une consistance apparemment raide. Après que l'on y ait plongé le vibreur, il devient immédiatement plastique. Les granulats de barytine sont de teinte rougeâtre. Le béton apparaît cependant gris, parce que sa couleur est déterminée par la croûte de ciment. La consistance, la forme des grains et la couleur donnent au béton frais un aspect typique. Si le contremaître y jette un coup d'œil sur le chantier, et que la livraison est fautive, il le remarque immédiatement. Il ne doit alors en aucun cas mettre ce béton en place.

Fig. 8 Raccord mural extérieur.

Fig. 9 Bétonnage de la dalle.

Fig. 10 Mise en place en couches d'env. 25 cm de hauteur.

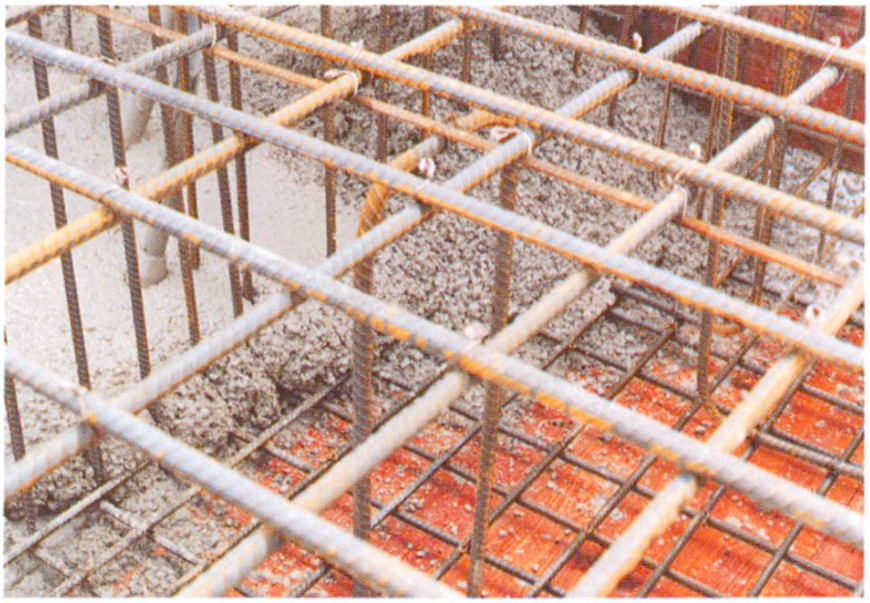

Fig. 11 Continuation au recoupement de la dalle.

Fig. 12 Achèvement des travaux de bétonnage de la dalle.

Fig. 13 Recouvrement avec une bâche en plastique.

Fig. 14 Humidité maintenue par arrosage continuel pendant 7 jours.

Tableau 1 Formule du béton et résultats des contrôles du béton frais

		FORMULES: modifiées en 3 phases			RÉSULTATS (29.8.–6.10.89)	
		formule de référence	après essai préliminaire	après début de la 1re étape		
Ciment	valeurs en kg/m³ de béton frais	330	275	275	–	
Fines (cendres volantes)		–	50	50	–	
Eau ajoutée		106	112	100 ou 107	166	(6,5)
Humidité propre		2 707	2 735	2 647 ou 2 640		
Barytine 0/16					–	
Sable 0/4			52	–	–	
Gravier 4/8		175	53	126	–	
Gravier 8/16			53	126	–	
Adjuvant (HBV: 0,8%)		–	3	3	–	
Densité apparente		3 318	3 330	3 327	3 345	(23)
Pourcentage de pores d'air (béton frais)	%	?	?	1,5	1,62	(0,10)
Facteur e/c	–				0,51	(0,02)
Degré de serrage	–	pâte ferme			1,26	(0,03)
Température: béton frais	°C				20–26	
air	°C				8–20	
différence	K				9,1	(2,3)

Résultats: valeur moyenne provenant de 22 essais des contrôles de béton frais (entre parenthèses: différence standard). L'humidité propre de la barytine était par conséquent de 2,2–2,6%.

Résistance: mesure sur cubes d'essai 15×15×15 cm. Essai préliminaire: 24,3 N/mm² après 12 jours. Avec prélèvement pour contrôles de béton frais: valeur moyenne après 7 jours: 35,7 N/mm² [14 valeurs, s = 2,4 N/mm²]. Valeur moyenne après 14 jours: 38,8 N/mm² [14 valeurs, s = 2,0 N/mm²]. Valeur moyenne après 28 jours: f_{cwm} = 43,0 N/mm² [14 valeurs, s = 2,2 N/mm²].

Comme traitement de cure, on a laissé les murs dans le coffrage maintenu humide pendant 4 jours au moins. Les dalles ont toujours été recouvertes d'une bâche en plastique et maintenues constamment mouillées (fig. 13 et 14).

La vérification concernant la radioprotection fait encore défaut actuellement. Mais en se fondant sur les présentes données de technologie du béton, il devrait être possible de satisfaire aux exigences sur ce point également.

Bruno Meyer
Ing. dipl. EPF

Ont participé aux travaux:

Maître de l'ouvrage:	Etat de Lucerne (Département des travaux publics)
Direction générale:	Office cantonal des bâtiments, Lucerne
Architecte:	Markus Boyer, arch. dipl. EPF/SIA, Lucerne
Ingénieur:	Schubiger AG, Lucerne
Entreprise de construction:	Arge STKA (Kopp AG und Vestag AG, Lucerne)
Fournisseur du béton:	Seekag, Lucerne
Granulats lourds:	Wecker + Frey AG, Zurich
Adjuvants:	Sika SA, Lucerne

Bibliographie

[1] Deutscher Beton-Verein (1978): «Strahlenschutzbetone». Merkblatt für das Entwerfen, Herstellen und Prüfen von Betonen des bautechnischen Strahlenschutzes («Bétons pour la radioprotection». Fiche technique pour projeter, fabriquer et vérifier les bétons destinés à des ouvrages de radioprotection). Tiré à part de la revue «beton», numéro 10, p. 368–371, et numéro 11, p. 417–420

[2] *Eltawil, M.* (1989): «Baryt-Schwerbeton ab Fertigbetonwerk St. Gallen» («Béton lourd baryté livré par la Centrale pour béton prêt de St-Gall»). misch mit, numéro 1, p. 14–16. Zurich: «Holderbank» Kies + Beton AG

Photos: TFB Wildegg

TFB

Pour tous autres renseignements s'adresser au
SERVICE DE RECHERCHES ET CONSEILS TECHNIQUES DE L'INDUSTRIE SUISSE DU CIMENT WILDEGG/SUISSE
Case postale Téléphone 064 53 17 71
Lindenstrasse 10 5103 Wildegg Téléfax 064 53 16 27