



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

CONFIDENTIEL

Le 9 Janvier 1987

RAPPORT A UNIDO

Concernant la mission effectuée à

**L'INSTITUT DE RECHERCHES ET DEVELOPPEMENT DE
L'ALUMINIUM DU KOMBINAT ALUMINIUM DE TITOGRAĐ
(KAT) - YOUGOSLAVIE**

DU 3 AU 17 Décembre 1986
dans le cadre du projet
DP/YUG/75/022/11-61/31-8-A

Par ROGER L. DEVELAY

- Ingénieur électrochimiste et électrométallurgiste (E.N.S.E.E. GRENOBLE)
- Ex directeur adjoint du Centre de Recherches et Développement de Voreppe (Sté PECHINEY)
- Ingénieur Conseil

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

UNIDO - ONUDI
Vienne (Autriche)

Reproduction interdite sans l'accord de UNIDO

SOMMAIRE DU RAPPORT
de Roger DEVELAY
Projet UNIDO DP/YUG/75/022/11-61/31-8-A

INTRODUCTION	Page 3
I Entretiens et Discussions avec les ingénieurs de l'Institut et du KAT	Page 3
II Fournitures de documentation technique	Page 5
III Visites	Page 6
IV Présentation d'une conférence	Page 7
V Recommandations	Page 9
- Domaine des équipements	Page 10
- Domaine des programmes d'études et de Recherches Développement	Page 11
- Domaine des ingénieurs	Page 14
CONCLUSIONS	Page 15

Rapport à UNIDO concernant la mission effectuée à l'INSTITUT DE RECHERCHES ET DEVELOPPEMENT DE L'ALUMINIUM DE TITOGRAĐ du 03/12/86 au 17/12/86 dans le cadre du projet :

DP/YUG/75/022/11-61/31-8-A

Par Roger DEVELAY

INTRODUCTION

- Sur la demande de l'UNIDO (lettre référence PRU/86/PPRS/APP/MI/GL du 24/09/86) l'auteur du présent rapport s'est rendu à titre de "consultant" durant 15 jours du 3 au 7 Décembre 1986 à l'Institut de Recherches et Développement du KOMBINAT ALUMINIJUMA TITOGRAĐ (K.A.T.).
- L'objet de la mission défini par la description de poste du 21 Juillet 1986 de l'UNIDO était le suivant : "Consultant in Actual Trends in Applied Research on Development of New Materials and Products based on Aluminium".
- Dans le présent rapport, le consultant :
 - décrit les principales activités accomplies durant son séjour à TITOGRAĐ,
 - présente les recommandations qu'il pense utiles de formuler à la suite de sa mission.

I - ENTRETIENS ET DISCUSSIONS AVEC LES INGENIEURS DE L'INSTITUT ET DU K.A.T.

De nombreux renseignements ont été donnés dans le cadre de ces entretiens et ceci plus particulièrement sur les sujets ci-après.

1. Conducteurs électriques en aluminium

K.A.T. est équipé d'une machine de coulée continue Properzi uniquement capable dans son état actuel de réaliser des fils en Al non allié pour câbles conducteurs Al-Acier de transport d'énergie électrique.

Le passage à l'alliage Al-Mg-Si ou Almelec est souhaitable afin de réaliser des câbles homogènes entièrement en Almelec : cette solution, très supérieure techniquement, est généralisée en France depuis de nombreuses années et tend à se généraliser en Europe.

Des renseignements ont été fournis concernant le processus de fabrication de l'Almelec (composition, coulée, laminage, tréfilage, revenu) dans les deux cas de fabrication :

- soit avec trempe continue sur laminoir,
- soit avec trempe séparée.

2. Filage et alliages d'aluminium de filage

De nombreuses données ont été fournies concernant :

- La composition des nouveaux alliages utilisés sous forme de profilés, soit pour le bâtiment (menuiserie métallique) - alliages Al-Mg-Si type 6063, soit pour structures - alliages Al-Si-Mg et 6061.

- Les conditions de mise en solution et trempe sur presse en cours de filage (états normalisés T5), l'usine n'étant pas équipée pour effectuer des traitements de mise en solution et trempe séparée (états normalisés T6).

- Les possibilités de réaliser différents types de profilés en alliage 6063 ou au contraire en alliage 6061.

3. Forgeage - matricage et alliages d'aluminium pour forge et matricage

De longs entretiens ont porté sur les causes possibles d'apparition de défauts sur pièces forgées et matricées en alliage A-K6 (nuance soviétique) et sur les moyens possibles afin d'y remédier.

De nombreux renseignements ont été donnés concernant l'importance de la qualité fonderie, des conditions d'homogénéisation des billettes coulées, des conditions de forge et de traitement thermique.

Les différents facteurs permettant d'obtenir sur pièces finies une structure satisfaisante, soit fibrée (Press-Effekt), soit recristallisée (à grains fins) ont été examinés.

Des indications ont été fournies concernant les possibilités actuelles de réalisation en France de produits forgés ou laminés de grande dimension destinés aux constructeurs aéronautiques.

4. Métallurgie des poudres

Discussion générale sur l'intérêt de cette métallurgie et ses différentes possibilités (avec la participation de M.D USKOKOVIC, Directeur de l'Institut des Sciences Techniques de l'Académie Serbe des Sciences et Arts de Belgrade, consultant de l'UNIDO).

5. Nouveaux alliages Aluminium-Lithium (Al-Li)

Discussion sur les propriétés et les conditions de réalisation des nouveaux alliages Al-Li réalisés par métallurgie classique.

II FOURNITURE DE DOCUMENTATION TECHNIQUE

Ont été donnés par le "Consultant" les articles ou publications ci-après : (documents soit à caractère général, soit correspondant aux sujets intéressants les ingénieurs de l'Institut et du K.A.T. mais tous d'origine relativement récente) :

- Les traitements thermiques des Alliages d'Aluminium - par R. DEVELAY (1986)
- Les propriétés des Alliages d'Aluminium - par R. DEVELAY (1977)
- Aspects métallurgiques des Alliages d'Aluminium de Forge et de Matriçage - par R. DEVELAY (1977)
- Les Conducteurs Electriques en Aluminium - par GALLAND et ROLLS (1980 et 1986)
- Le Nickelage Electrolytique des Fils et Câbles en Aluminium (1985)
- Trempe sur presse des Alliages d'Aluminium : Application au cas de l'alliage 6005-A - par D. MARCHIVE et R. DESCHAMPS (1979)
- Situation et Evaluation des Alliages de Filage à Moyenne Résistance de la Série 6000 - par D. MARCHIVE (1979)

- Alliages de Filage à Grande Filabilité de la série 6000 - par D. MARCHIVE (1980)
- Tendances Métallurgiques de l'Evolution des Alliages de la série 7000 -
par R. DEVELAY (1976)
- Progrès métallurgiques récents dans le domaine des Alliages d'Aluminium corroyés -
par R. DEVELAY (1980)
- Tendances Actuelles de l'Evolution de la Composition des Alliages d'Aluminium corroyés -
par R. DEVELAY (1974)
- Evolution des Alliages d'Aluminium à Haute Résistance - par R. DEVELAY (1986)
- Nouveaux Alliages d'Aluminium à Haute Résistance obtenus par Métallurgie des Poudres -
par R. DEVELAY (1986)
- Nouvelle Technique d'Atomisation pour produits à haute résistance - par D. SEROLE,
JL MERCIER (1986)
- Alliages Aluminium-Lithium pour l'industrie Aérospatiale - par J. MORICEAU,
B. DUBOST, G. LE ROY, P. MEYER (1985)
- Les Alliages Aluminium-Lithium : La réponse de l'Aluminium - par G. LE ROY (1986).

III VISITES

1. Visite de l'Institut de Recherches et Développement de l'Aluminium

Les principaux équipements de l'Institut sont actuellement les suivants :

- pour études structurales :
 - . microscope optique Leitz
 - . microscope électronique - JEOL - Scanning JSM 840
 - . Diffractomètre SIEMENS
- pour essais mécaniques :
 - . machine de traction Instron

- . machine de dureté Wolpert
- . mouton pendule pour essais de résistance aux chocs
- pour essais physiques ou chimiques :
 - . thermobalance
 - . dilatomètre LINSEIS
 - . balance SARTORIUS
 - . compteur de particules MALVERN
 - . potentiostat AMEC
 - . cuve pour essais en atmosphères diverses
- pour traitements de surface :
 - . ligne pilote d'anodisation
 - . appareils divers pour mesures superficielles
- divers :
 - . four de fusion
 - . fours pour traitements thermiques

2. Visite des ateliers du K.A.T.

La visite a porté uniquement sur l'atelier FPA qui renferme les activités principales ci-après :

- filage à chaud, étirage, dressage, revenu
- laminage à froid, bande mince et papier
- doublage des bandes minces par film plastique ou cellophane
- ligne d'impression (6 couleurs)
- vaporisation aluminium
- fabrication aluplats.

IV PRESENTATION D'UNE CONFERENCE

Le Docteur B. RADONJIC, Directeur de l'Institut, a organisé le 15 Décembre 1986 une conférence à laquelle ont été invités les ingénieurs de l'Institut, du K.A.T., d'autres usines yougoslaves ainsi que des professeurs de l'Université de Titograd.

Le consultant, auteur du présent rapport, a présenté dans sa conférence les différents points ci-après :

1. Utilisation des nouveaux alliages et produits en aluminium dans les différents marchés de consommation

- Electricité
- Bâtiment
- Emballage
- Transports (routiers, ferroviaires, maritimes, aéronautiques)
- Echangeurs.

- Compétition avec les autres matériaux : acier, fonte, cuivre, titane, bois, matières plastiques, matériaux composites matrice organique.

2. Evolution des nouveaux alliages d'aluminium traditionnels à haute résistance

- Importance des applications aéronautiques

- Nouveaux concepts de caractérisation des alliages (concepts issus de la mécanique de la rupture : K_{IC} et $\frac{da}{dn}$)

- Concurrence des produits composites à matrice organique

- Progression des alliages de la série 2000 (Al-Cu)
 - . Nouveaux alliages 2214 - 2124 - 2324

- Progression des alliages de la série 7000 (Al-Zn-Mg-Cu)
 - . Nouveaux alliages : 7175 - 7475 - XAZGU
 - 7010 - 7050
 - 7049

3. Nouveaux alliages d'aluminium obtenus par métallurgie traditionnelle mais très évoluée

- Nouveaux alliages Aluminium-Lithium

- . Intérêt de l'addition de Lithium
- . Etat d'avancement actuel des actions de recherche et développement à l'échelon mondial

- Nouveaux alliages d'aluminium superplastiques.

4. Nouveaux alliages d'Aluminium obtenus par de nouvelles métallurgies

4.1 Métallurgie des poudres :

- Intérêt de la métallurgie des poudres pour l'aluminium
- Processus de fabrication des alliages d'aluminium réalisés par métallurgie des poudres
- Nouveaux alliages d'aluminium obtenus par métallurgie des poudres :
 - . alliages à haute résistance
 - . alliages à grande rigidité
 - . alliages pour résistance à chaud
 - . alliages résistants à l'usure et au frottement.

4.2 Composites à matrice aluminium renforcée par fibres à très haute résistance et à très haut module :

- Intérêt des produits composites
- Différents types de composites à matrice aluminium
- Exemples de résultats obtenus ou de produits réalisés.

V RECOMMANDATIONS

Les recommandations du consultant portent sur les trois domaines ci-après :

- les équipements,
- les programmes d'étude et de recherche développement,
- les ingénieurs.

1. RECOMMANDATIONS DANS LE DOMAINE DES EQUIPEMENTS

L'Institut es. équipé de moyens modernes bien choisis et relativement complets pour étudier les matériaux sous l'angle de leurs structures et de leurs propriétés physiques, mécaniques et

chimiques. Ces moyens devraient cependant, dans l'avenir, être complétés au fur et à mesure des besoins, par des appareillages permettant de déterminer certaines propriétés ou caractéristiques qui sont de plus en plus utilisées, voir même exigées, pour caractériser les nouveaux alliages et en particulier les alliages à haute résistance, à savoir les appareillages :

- pour essais de fatigue
- pour mesure des vitesses de propagation des fissures
- pour mesure du coefficient K_{1C}
- pour essais de corrosion sous tension
- pour mesure des caractéristiques mécaniques à chaud.

De même, l'Institut aura intérêt à s'équiper de moyens de contrôle de la qualité des produits, afin d'aider à cet égard les ingénieurs de fabrication du K.A.T : par exemple d'appareillage performant de contrôle par ultra sons.

Mais l'Institut n'est actuellement pas équipé pour effectuer la mise au point d'alliages ou de produits nouveaux, pour étudier en particulier leurs conditions de coulée et de transformation.

Pour effectuer de telles recherches qui doivent aboutir à la définition des compositions, des conditions d'élaborations, de transformation, de traitements thermiques des nouveaux alliages sans cesse mis au point par l'Industrie de l'Aluminium, l'Institut devra prévoir de s'équiper, dans un avenir plus ou moins lointain, par des moyens supplémentaires, permettant, à une petite échelle, de préparer et de transformer les échantillons de ces nouveaux alliages, par exemple :

- four de fusion et coulée semi-continue,
- petits laminoirs pour laminage à chaud et à froid,
- presse,
- four de mise en solution équipé d'un dispositif de trempé,
- éventuellement installation de fabrication des poudres.

2. RECOMMANDATIONS DANS LE DOMAINE DES PROGRAMMES D'ETUDE ET DE RECHERCHE DEVELOPPEMENT

On doit distinguer deux types de programmes :

2.1 Les programmes à relativement-court terme : Ils doivent avoir essentiellement pour but :

- d'aider les fabrications actuelles du K.A.T.
- de faire progresser la qualité de ces fabrications
- de mettre au point ou tout au moins de préparer les fabrications nouvelles en alliages plus performants ou nouvellement apparus, fabrications qui sont amenées à remplacer progressivement celles en cours au fur et à mesure des besoins du marché intérieur yougoslave ou des possibilités d'exportation.

Exemples de programmes proposés :

a. Domaine du forgeage :

Détermination pour chacun des alliages fabriqués par le K.A.T.

- Des conditions optimales de coulée afin d'obtenir une structure fine exempte de microfissures, ségrégation, gaz ou porosités
- Des conditions optimales d'homogénéisation (température - temps)
- Des paramètres de forge permettant d'obtenir une structure satisfaisante
- Des conditions optimales de mise en solution et revenu

b. Domaine du filage des alliages de la série 6000 :

- Cas des alliages Al-Mg-Si type 6063 pour profilés destinés au bâtiment (menuiserie métallique) :
 - mise au point de différentes nuances spécialisées soit sur la filabilité, soit sur les propriétés mécaniques, soit encore sur les états de surface (des renseignements complets ont été donnés à cet égard).
- Cas des alliages Al-Si-Mg ou 6061 pour profilés destinés à des structures :
 - mise au point de la trempe sur presse
 - étude de la vitesse de refroidissement (avec amélioration probable du système actuel)
 - étude d'alliages plus intéressants que l'alliages 6061 (alliage type 6005A par exemple).

c. Domaine des conducteurs électriques :

préparation du passage futur des fabrications actuelles en aluminium non allié à des fabrications en alliage Al-Mg-Si du type Almelec (les câbles électriques Al-Acier étant de plus en plus périmés)

- mise au point de la gamme de fabrication
- étude de la gamme de fabrication avec trempe en continu.

d. Etude et mise au point de nouveaux alliages plus performants que ceux actuellement réalisés :

- Cas des alliages de la série 2000 (Al-Cu)

- étude d'alliages plus performants que l'alliage A-K6, exemples alliages 2017 - 2024 - 2014
- mise au point des conditions de coulée, d'homogénéisation, de transformation et de traitement thermique.

- Cas des alliages de la série 7000 (Al-Zn-Mg-Cu)

- étude de l'alliage 7075
- ensuite étude des nouveaux alliages plus performants mais récemment industrialisés : alliages type 7475, type 7010 (ou 7050)
- mise au point des conditions de coulée, d'homogénéisation, de transformation et de traitement thermique pour obtenir une structure et des caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques satisfaisantes.

e. Divers :

En fonction des besoins du marché, on peut également penser aux sujets d'étude ci-après envisagés lors des discussions avec le Dr. RADONJIC.

- alliages à usage mécanique réalisés par coulée continue
- échangeurs thermiques (technique du brasage à l'air sous vide)
- aluminium raffiné

2.2 Les programmes concernant des alliages ou produits nouveaux dont l'industrialisation n'est pas immédiate mais à plus ou moins long terme :

Il s'agit en particulier :

- des nouveaux alliages Aluminium-Lithium réalisés par métallurgie conventionnelle évoluée c'est à dire modifiée (contrairement aux produits ci-après, l'industrialisation de ces alliages Aluminium-Lithium peut être relativement proche)
- des nouveaux alliages d'aluminium superplastiques
- des nouveaux alliages obtenus par métallurgie des poudres
- des nouveaux produits composites à matrice aluminium

Tous ces alliages ou produits ne peuvent être réalisés avec les moyens industriels actuels mais exigent au contraire des moyens métallurgiques plus ou moins modifiés et même souvent totalement nouveaux. De plus, on n'est pas encore sûr aujourd'hui de leur réel débouché industriel.

a. L'institut n'est pas équipé actuellement suffisamment en matériel et en ingénieurs pour pouvoir entreprendre seul des actions importantes et efficaces à cet égard. Aussi, est-il conseillé de prévoir, tout au moins dans l'immédiat, ce qu'il est courant d'appeler une veille technique, à savoir :

- se tenir au courant de l'évolution des recherches effectuées dans le monde sur ces nouveaux alliages ou produits :
 - . par suivi de la littérature spécialisée à cet effet
 - . par contact avec les organismes et personnalités compétentes
- s'approvisionner dans la mesure du possible en échantillons auprès des laboratoires, universités, organismes divers qui effectuent des recherches importantes avancées et valables dans ce domaine.
- caractériser à l'Institut ces échantillons afin de se familiariser avec eux et porter un jugement sur leur intérêt.

b. S'il apparaît d'une façon certaine que l'un ou plusieurs de ces nouveaux produits présente un intérêt industriel, il y aura lieu :

- soit de lancer rapidement les recherches de mise au point correspondantes compte tenu de l'expérience acquise dans le cadre du descriptif *a* ci-dessus.
- soit d'envisager d'acheter la licence ou "savoir-faire", sachant que des efforts encore importants seront nécessaires pour aboutir à la mise au point définitive.

c. Si l'Institut désire néanmoins à tout prix entreprendre dès maintenant des actions de recherche sur ces nouveaux alliages ou produits, il lui est conseillé de le faire en association ou avec l'aide d'autres organismes, laboratoires, universités, sociétés ou personnalités compétentes. Il y aura alors lieu de porter la plus grande attention sur :

- le choix des sujets les plus prometteurs,
- l'orientation des études à entreprendre,
- le choix, l'importance des investissements à réaliser sous forme d'équipements.

3. RECOMMANDATIONS DANS LE DOMAINE DES INGENIEURS DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

L'effectif de l'Institut est actuellement très faible : 17 personnes dont 9 ingénieurs.

Il devra donc être rapidement augmenté pour utiliser les équipements reçus et lancer les programmes de Recherche-Développement.

Une attention particulière devra porter sur le choix des ingénieurs. En effet, de bons résultats ne peuvent être obtenus en recherche que si l'on dispose d'ingénieurs :

- présentant de solides connaissances de base,
- ayant de bonnes connaissances de la métallurgie de l'aluminium,
- se tenant continuellement au courant des nouvelles techniques et des nouveaux résultats obtenus dans le monde dans leur propre domaine de travail,
- ayant des idées et croyant au succès de leurs recherches.

Ceci nécessite :

- un recrutement très sélectif des ingénieurs destinés à la recherche,
- la prévision de formations adaptées pour ces ingénieurs.

CONCLUSIONS

Des renseignements et documents importants ont été fournis aux ingénieurs de l'Institut et du K.A.T. lors des entretiens et de la conférence présentée par le consultant le 15 Décembre 1986.

L'Institut dispose d'équipements modernes et bien choisis qui pourront être complétés dans l'avenir au fur et à mesure des besoins.

Il est nécessaire que des programmes de Recherche et Développement soient lancés aussi rapidement que possible. A cet effet, les recommandations suivantes sont formulées par le consultant :

- 1 - Compléter les effectifs actuels insuffisants par du personnel - en particulier ingénieurs-qualifié ou sinon apte à recevoir une formation adéquate à prévoir.
- 2 - Sélectionner des programmes d'étude à relativement court terme susceptibles :
 - d'aider les fabrications actuelles du K.A.T.,
 - de faire progresser la qualité de ces fabrications,
 - de préparer ou mettre au point les fabrications nouvelles en alliages plus performants ou nouvellement apparus, fabrications qui seront amenées à renforcer progressivement celles en cours au fur et à mesure des besoins du marché intérieur yougoslave ou des possibilités d'exportation (différentes propositions sont formulées dans le présent rapport).
- 3 - Mettre en place une veille technologique (c'est à dire suivi de la littérature, contacts avec organismes et personnalités compétentes, examen et caractérisation d'échantillons) en ce qui concerne les alliages ou produits nouveaux (alliages Aluminium-Lithium, alliages obtenus par métallurgie des poudres, composite à matrice aluminium...) dont l'industrialisation -actuellement encore plus ou moins incertaine- ne verra le jour qu'à plus ou moins long terme.
- 4 - Dans le cas où l'Institut désirerait néanmoins entreprendre dès maintenant des actions de recherche sur ces nouveaux alliages ou produits, il lui est recommandé de le faire en association ou avec l'aide d'organismes extérieurs compétents (laboratoires, universités,

sociétés, personnalités) et de porter alors la plus grande attention sur l'orientation des études à entreprendre et le choix, l'importance des équipements nouveaux à investir.

Seyssinet Pariset, le 9 Janvier 1987

Roger L. DEVELAY



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Develay', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Le consultant, auteur du présent rapport, remercie le Docteur B. RADONJIC, Directeur de l'Institut de Recherches et Développement de l'Aluminium ainsi que ses collaborateurs et en particulier M. MISUROVIC MIODRAG pour l'important support logistique qu'il a reçu lors de sa mission à TITOGRAĐ.