

Programme des Nations Unies  
pour le Développement

---

- Fonds Spécial -

- UNESCO -

BRESIL

Projet ERA/21

D.N.O.S. (M.I.)

ETUDES HYDROLOGIQUES du BASSIN du HAUT-PARAGUAY (PANTANAL)

---

Rapport de la mission de Novembre 1968

effectuée par

Pierre DUBREUIL

Directeur de Recherches à l'ORSTOM

Consultant de l'UNESCO

---

RESUME -

Au cours d'une mission du 30 Octobre au 22 Novembre 1968, nous avons été à RIO et dans le bassin du Haut-PARAGUAY pour étudier l'état d'avancement du projet ERA/21, organiser et animer les réunions du Comité Consultatif Scientifique et Technique du projet, enfin réviser, le cas échéant, les objectifs du projet et le plan d'opérations pour la 2ème phase de celui-ci (1969-72).

L'état d'avancement du projet est satisfaisant malgré le retard de plusieurs mois du démarrage et malgré certaines insuffisances de la contrepartie brésilienne (bureaux, lourdeur administrative pour les travaux de terrain, personnel spécialisé).

L'examen des intérêts économiques régionaux montre qu'outre la prévision des crues primordiale et urgente en des secteurs qui ont été bien définis, il existe des problèmes d'amélioration des voies navigables en cours d'étude dans le bassin du PARAGUAY.

La résolution des systèmes de prévision de crues ne pourra se faire qu'en élaborant un modèle mathématique du PANTANAL et des modèles hydrologiques de bassins amont. De tels modèles serviront ultérieurement à planifier l'aménagement des eaux et, par exemple, à simuler la régularisation des basses eaux pour la navigation.

L'élaboration et la gestion de tels modèles exigent le recours à un ordinateur de forte capacité situé, soit à RIO, soit à PORTO ALEGRE ; la coopération avec le projet du Centre d'Hydrologie Appliquée dans cette ville est vivement recommandée pour faciliter le travail dans ce domaine.

Il a été possible de mettre en place et d'exploiter dans le PANTANAL un réseau hydropluviométrique classique, à autonomie de 3-4 mois. En conséquence, les stations de radiotransmission des données ne sont plus indispensables que pour l'exploitation des systèmes de prévision des crues, à mettre en place en fin de projet. Leur expérimentation doit cependant être poussée dès 1969.

Il paraît possible, dans le cadre du projet, d'atteindre les objectifs fixés, au prix d'une légère modification du plan d'opérations et tout particulièrement en recrutant un deuxième hydrométéorologiste, déjà spécialisé dans le traitement sur ordinateur des données hydropluviométriques; pour cela les études d'hydrogéologie et de sédimentologie seraient confiées surtout à des consultants.

## TABLE des MATIERES

Page

RESUME -

INTRODUCTION

2

1. <u>DEROULEMENT de la MISSION</u>	3
2. <u>SUR la REALISATION de la PREMIERE PHASE du PROJET</u>	6
2.1. - Ce qui a été fait dans les délais	6
2.2. - Ce qui souffre quelques retards	7
2.3. - Ce qui appelle quelques commentaires	8
2.4. - Au sujet de la contrepartie brésilienne	10
3. <u>NOUVELLE FORMULATION PRECISE et DETAILLEE des OBJECTIFS PRINCIPAUX du PROJET (seconde phase)</u>	11
3.1. - Rappel des objectifs originaux du projet	11
3.2. - Description des besoins économiques régionaux en matière d'aménagement des eaux	12
3.2.1. - Les inondations	12
3.2.2. - La navigation	13
3.2.3. - Hydro-électricité	13
3.3. - Nouvelle formulation des principaux objectifs du projet	14
4. <u>Les MOYENS NECESSAIRES à la REALISATION de la 2ème PHASE du PROJET</u>	15
4.1. - Les objectifs complémentaires du projet	15
4.1.1. - La géodésie	15
4.1.2. - La photointerprétation	16
4.1.3. - Hydrogéologie et sédimentologie	16
4.2. - Les objectifs logistiques du projet	17
4.2.1. - Les modèles d'élaboration des systèmes de prévision des crues	17
4.2.2. - La radiotransmission des données	18
4.3. - Les moyens en personnel	19
4.4. - Les moyens matériels et financiers	20
<u>ANNEXE -</u>	22

Au cours d'une première mission au BRESIL, en Mai et Juin 1966, nous avons mis au point le contenu détaillé du plan d'opérations de ce projet, en collaboration avec les dirigeants et les futurs responsables brésiliens du projet, au sein du DNOS. Le plan d'opérations ainsi établi a été approuvé par les autorités brésiliennes à la fin de notre mission. Nous avons alors rédigé un premier rapport de mission relatif aux conditions d'établissement dudit plan d'opérations. Dans ce rapport, il était fait mention des principaux problèmes à résoudre par le DNOS : bureaux, équipement, personnel spécialisé ... etc ..., et des engagements que cet organisme prenait afin de résoudre lesdits problèmes.

Nous avons également, à l'époque, rédigé un rapport technique intitulé : "Premier inventaire de la documentation rassemblée ou reconnue" qui, malgré ses lacunes et ses imperfections, dues au très court laps de temps consacré à cet objectif, devait servir de guide aux premiers experts du projet pour achever le rassemblement de cette documentation, procéder à son analyse et dresser les programmes détaillés de leurs activités.

Si l'on écarte notre mission et l'intention de faire arriver le Chef du projet au BRESIL au cours du 3ème trimestre de 1966, le plan d'opérations prévoyait le démarrage effectif des études en Janvier 1967. Or, le plan d'opérations n'a été signé que le 15 Février 1967 et les premiers experts en topographie et en photointerprétation ne sont arrivés au BRESIL qu'au milieu de l'année 1967.

Malgré ce retard initial dans le calendrier d'exécution du projet, on a jusqu'ici considéré que, comme inscrit au plan d'opérations, le projet devait se dérouler en deux phases, la première s'achevant théoriquement en Septembre 1968.

Il a été décidé de tenir à RIO la première réunion du Comité Consultatif Scientifique et Technique du projet, prévue dans le plan d'opérations, à l'occasion de la fin de la première phase du projet.

A la demande de l'UNESCO, nous sommes venus au BRESIL deux semaines avant cette réunion pour examiner en détail l'état d'avancement des travaux, les difficultés rencontrées et pour éventuellement conseiller de nouvelles orientations et de nouveaux moyens concernant la meilleure exécution possible des tâches au cours de la seconde phase du projet, compte tenu des objectifs initiaux du projet et des buts spécifiques à atteindre durant cette seconde phase.

Après ce rappel historique en introduction, notre rapport comporte un chapitre décrivant le déroulement de notre mission ; un second chapitre fait le point de l'état d'avancement des études. Dans les deux chapitres suivants, on procède à un nouvel examen des objectifs du projet, puis à celui des moyens nécessaires pour les atteindre. A cet effet, il est évidemment tenu compte des délibérations du Comité consultatif et des vœux émis par les participants à ses séances de travail, tels qu'ils ressortent des procès-verbaux établis à l'issue des réunions plénières et restreinte du Comité et de la réunion administrative du projet.

### 1. DEROULEMENT de la MISSION

- 23 Octobre : Réunion avec E. STRETTA et G. DROUHIN, conseiller du Directeur Général du PNUD, au sujet des buts fondamentaux du projet et des moyens techniques nécessaires tels qu'ils sont décrits par G. DROUHIN dans la note au sujet du projet PANTANAL, en date du 16-11-67.
- 24 Octobre : Séances de travail préparatoires avant le départ au BRÉSIL avec les responsables du projet à l'UNESCO : M. BATISSE et E. STRETTA.
- 28 Octobre : Séance de travail à l'UNESCO pour premier examen des rapports des experts du projet concernant leurs activités du premier semestre 1968.
- 30 Octobre : Départ pour RIO.
- 31 Octobre : Arrivée à RIO. Premier entretien avec le chef du projet, L. LISONI. Visite à M. ALBERTAL, Résident Représentant du PNUD au BRÉSIL.
- 1er Novembre : Réunion de travail avec L. LISONI et Paulo Poggi FERREIRA, co-directeur du projet, au sujet du programme de ma mission, puis au sujet de la session du Comité Consultatif, dates et ordre du jour, liste des organisations brésiliennes participantes.  
Réunion avec les mêmes personnes et R. BERTHELOT, chef du projet du Centre d'Hydrologie de PORTO ALEGRE, au sujet de l'éventualité de réaliser un modèle mathématique plus ou moins complet du PANTANAL, dans le cadre des études.

2 au 4 Novembre : . Examen détaillé des rapports du 1er semestre 1968 des experts G. J. KROLL photo-interprète, W. C. PETERSON hydrométéorologue, I. C. STRANCEWAYS ingénieur en "stations automatiques" et P. CAZAUX expert en géodésie.

. Examen également du rapport de compilation de la littérature sur le PANTANAL de G.J. KROLL, du rapport de R. SMITH consultant de l'I.T.U. pour la radiotransmission de l'information, et du rapport de L. LISONI sur l'état d'avancement des travaux.

. Discussion avec L. LISONI au sujet du contenu de ces rapports, et tout particulièrement quant à l'état actuel d'installation du réseau hydrométéorologique en l'absence de W.C. PETERSON, en tournée.

5 Novembre : Visites aux principaux organismes brésiliens travaillant dans le domaine de l'hydrologie sur le bassin du Haut-PARAGUAY :

a) DNPVN - Departamento Nacional de Portos e Vias Navegaveis

Personnalités rencontrées :

Dr A.H.F. PORTUGAL Diretor de Vias Nevegaveis  
D<sup>ma</sup> Iza RONDON Chefe da Divisão de Estudos e Projetos  
Dr Antonio P. VIEIRA Chefe da Seccão de Hidrologia

b) DNAE - Departamento Nacional de Aguas e Energia

Dr Pacheco VEIGA Chefe da Divisão de Aguas

6 au 12 Novembre :.. Tournée sur le bassin du Haut-PARAGUAY avec L. LISONI et F. TUCKER, expert en "stations automatiques".

. Visite au chef du 11ème District du DNOS à CAMPO GRANDE, Dr Geraldo PERCHER.

. Visite du chantier de nivellement topographique de 1er ordre avec P. CAZAUX.

. Visite au bureau du DNOS à CORUMBÁ

- . Visite de 2 stations limnigraphiques et de 4 stations pluviographiques installées par le projet dans 6 fazendas du PANTANAL.
  - . Douze heures de reconnaissance aérienne des principales régions du PANTANAL non survolées en 1966 (12 h de reconnaissance avaient alors déjà eu lieu).
  - . Visite au Directeur technique, Dr MENES, de la GEMAT, Companhia de Electricidade Matogrossense à CUIABÁ au sujet des aménagements hydroélectriques en cours et projetés pour les années futures.
- 13 au 17 Novembre: . Examen avec L. LISONI du rapport sur l'état d'avancement des travaux, mis à jour au 15 Novembre 1968 et destiné à être présenté au Comité Consultatif.
- . Divers entretiens avec les membres brésiliens du projet au sujet du déroulement de celui-ci.
  - . Préparation de documents pour la réunion du Comité.
- 18 et 19 Novembre : Réunions en "comité restreint" du Comité Consultatif, c'est-à-dire avec les membres de l'UNESCO et du DNOS participant directement au projet, divers dirigeants du DNOS intéressés (liste en annexe), M. BERTHELOT et nous-même.
- L'ordre du jour aborde les objectifs généraux du projet, puis passe en revue les divers domaines d'activités : réseau hydrométéorologique, liaisons entre le réseau et les finalités du projet en matière de prévision de crues (modèles), radiotransmission des données, topographie, photointerprétation, hydrogéologie, sédimentation ... etc ...
- 20-21 Novembre : D'une part, réunion administrative DNOS-UNESCO pour examiner les incidences administratives et pratiques des conclusions de la réunion restreinte du Comité, et étudier un projet de révision du plan d'opérations.
- D'autre part, réunion plénière du Comité Consultatif Scientifique et Technique du projet pour échanges d'informations et coordination des études entre le DNOS et les autres organismes brésiliens travaillant dans le bassin du Haut-PARAGUAY.

- 22 Novembre : Retour à PARIS.
- 26-29 Novembre : Compte rendu de mission et entretiens à l'UNESCO.  
Rédaction définitive du rapport de mission.

## 2. SUR la REALISATION de la PREMIERE PHASE du PROJET

Il n'est pas question dans ce chapitre de dresser en détail l'état d'avancement des études dans les diverses spécialités, travail qui a été fait par chacun des experts pour sa propre sphère (rapports semestriels à fin Juin 1968) et par le chef de projet pour l'orientation et la synthèse générale du projet dont la lecture du très complet rapport sur l'état du projet au 15 Novembre 1968 est nécessaire à la compréhension totale de notre propre rapport.

Nous préférons, en suivant le plan d'opérations, évaluer succinctement le degré de réalisation actuelle en chaque domaine et émettre quelques remarques suscitées tant par la lecture des précédents rapports que par les entretiens que nous avons eu et les visites rendues à RIO et dans le bassin du Haut-PARAGUAY.

Il est juste de faire une remarque préalable quant à la durée effective de la première phase. Prévue initialement pour 2 ans, cette première phase n'a commencé peut-on dire qu'avec la signature du plan en Février 1967 et réellement au milieu de 1967. On doit donc reconnaître qu'aujourd'hui le délai d'exécution couru s'inscrit seulement entre 16 et 20 mois et que les quelques retards observés dans les études trouvent là l'une de leurs principales causes.

### 2.1. - Ce qui a été fait dans les délais

- 2.1.1. - Le rassemblement des données hydrométéorologiques antérieures au projet, et de celles observées, depuis 1966, par divers organismes brésiliens.
- 2.1.2. - L'analyse sommaire des données hydrologiques les plus anciennes (Rio CUIABÁ à CUIABÁ, Rio PARAGUAY à FECHO dos MORROS) qui sera à revoir, évidemment, à la fin de la 2ème phase.
- 2.1.3. - Le plan d'installation des stations hydrométriques (ou simplement limnimétriques) et pluviographiques (ou simplement pluviométriques) qui formeront les deux réseaux minimaux de base correspondants.



2.1.4. - L'installation des premières stations des futurs réseaux hydrométriques et pluviométriques est très bien avancée puisque, par rapport au plan précédent supposé l'objectif définitif, on compte que seront en place pour la fin de 1968 environ :

- 20 à 25 % des limnigraphes (dont près de 50 % pour la seule zone du PANTANAL),
- 60 % des pluviomètres,
- 40 % des pluviographes.

2.1.5. - Les études hydrogéologiques préliminaires réalisées par le consultant, M. BOLELLI, lors de sa mission de 1968, dont le rapport est attendu pour le développement des programmes correspondants.

2.2. - Ce qui souffre quelques retards

2.2.1. - La disponibilité de la couverture aérienne complète du bassin (manque environ 5 % à l'extrême est).

2.2.2. - La reproduction des plans mosaïques au 1/150 000°, établis par G.J. KROLL à partir des photographies au 1/60 000°, est seulement faite à 60 %.

Ces deux retards sont imputables au Service Géographique de l'Armée.

2.2.3. - Le nivellement de précision de 1er ordre qui atteint actuellement 700 km sur un total estimé (pour tout le projet) d'environ 5 à 6 000 km ; le retard n'est imputable ni à l'expert, ni aux opérateurs, maintenant bien formés et ayant un excellent rendement, mais plutôt aux difficultés administratives pour la gestion rationnelle des travaux de terrain.

2.2.4. - L'essai de transmission par voie radio d'information limnimétrique attend la livraison des matériels qui viennent juste d'être commandés. La difficulté du problème à résoudre (transmission à plus de 100 km de distance pour un coût modéré) a nécessité le recours à un consultant, R. SMITH, pour définir les procédés valables, puis un "tour du monde" des constructeurs possibles par l'expert I.C. STRANGWAYS. Le retard est ici imputable à la complexité du problème et au manque de matériel adéquat commercialisé, mais il était préférable d'opérer lentement pour plus de sûreté.

2.3. - Ce qui appelle quelques commentaires

- 2.3.1. - On ne possède toujours aucun moyen de faire l'inventaire exhaustif et de rassembler les données des observations hydrométéorologiques relatives au bassin du Haut-PARAGUAY en territoires bolivien et paraguayen. Avant la fin du projet, cette carance pèsera sûrement sur l'analyse du régime hydrologique de telle sorte qu'il serait hautement souhaitable d'essayer d'y pallier.
- 2.3.2. - L'échelle des photographies aériennes (1/60 000°) et le grand angle de prise des vues rendent difficiles la photointerprétation détaillée et précise des zones inondées, inondables et exondées. ~~Une photointerprétation sommaire du tracé du réseau~~ hydrographique permanent et temporaire est évidemment nécessaire et possible dans le cadre du projet, mais ne pourra certainement être complétée pour les zones inondables que dans quelques secteurs très intéressants (zone des grandes lagunes et zone des contacts nappe-lagunes-Rio NEGRO). La connaissance, même approximative, du pourcentage de surface du PANTANAL régulièrement inondée est de tout façon un appoint intéressant et indispensable à l'étude fine du bilan hydrologique sectoriel envisagé par L. LISONI.
- 2.3.3. - En matière de géodésie, si aucune difficulté administrative ne freine les activités de terrain, la réalisation de toutes les mailles du nivellement de 1er ordre (très haute précision) dans le PANTANAL sera possible ainsi que la plupart des nivellements de rattachement des stations limnimétriques peu éloignées de ce réseau de mailles.

Il paraît en revanche exclus que puissent être exécutés les levés des profils longitudinaux de tous les cours d'eau du PANTANAL. Le maillage de 1er ordre permettra seulement de faire le profil approché du PARAGUAY entre CORUMBA et PORTO MURTINHO.

Il faut noter ici que, comme annoncé lors de notre visite de 1966, la ~~Commission~~ Comissão Interestadual da Bacia PARANÁ-URUGUAI, CIBPU, fait actuellement exécuter par la PROSPECT S.A. le lever du PARAGUAY de CORUMBA à CACERES et du CUIABÁ jusqu'à CUIABÁ.

On sait, en outre, que le DNPVN a fait lever pour son projet de navigation PARAGUAY-AMAZONE le cours du JAURU. On peut penser que ce Département fera de même pour le Rio TAQUARI, axe de navigation du projet PARAGUAY-PARANÁ.

Les quelques inconnues qui risquent de subsister sont donc assez limitées (cours du ~~Rio~~ Rio LOURENÇO et affluents, entre autres).

2.3.4. - Le plan de réseau hydrométrique de W.C. PETERSON prévoit environ 80 stations, ce qui est tout juste pour la densité minimale admissible. Parmi ces stations quelques 45 seront en activité à la fin de 1968, dont 32 appartenant à d'autres entités. L'appoint en 1969-70 de quelques 35 nouveaux postes serait le fait du seul projet UNESCO-DNOS.

La quasi-totalité des stations du projet sont enregistreuses. Il n'est pas certain que les moyens du projet, et ultérieurement ceux du DNOS seul, permettent une exploitation rationnelle des quelques 50 stations relevant de leur compétence. Pour éviter tout risque de sous-exploitation, il paraît souhaitable :

- a) de concentrer l'effort du projet sur la seule zone du PANTANAL à partir de, et y compris, les accès à celui-ci des principaux cours d'eau descendant des montagnes, en y installant et exploitant les stations prévues au plan ;
- b) de laisser les autres entités, conformément aux objectifs qui leur sont propres d'ailleurs (DNPVN, DNAE, CEMAT, SUDECO ... etc ...), en charge des bassins de montagne même si l'équipement réalisé par ces organismes se révèle inférieur au minimum prévu par le plan ;
- c) d'essayer de combler, dans le cadre du projet et dans la mesure de ses possibilités, les lacunes les plus gênantes que laisseraient subsister les autres entités dans les bassins de montagne.

2.3.5. - Le plan du réseau pluviométrique prévoit quelques 120 stations (norme de densité minimale non atteinte). On en compte environ 70 en fonctionnement actuellement, parmi lesquels environ 30 pluviomètres et 8 pluviographes sont gérés par d'autres entités (les mêmes que pour l'hydrométrie, plus le Service Météorologique et l'Armée de l'Air FAB). L'extension du réseau à compléter en 1969-70 serait le fait du projet ; l'apport de celui-ci comprendra au total 30 pluviographes longue durée à augets basculants.

L'exploitation du réseau du projet est moins lourde que celle du réseau hydrométrique. En outre, il est difficile d'envisager un allègement car la connaissance du régime des précipitations sur les bassins de montagne est nécessaire à la compréhension des régimes hydrologiques des cours d'eau entrant dans le PANTANAL, que l'on envisage un simple bilan hydrique ou l'édification d'un opérateur de transformation pluies-débits.

On peut seulement réduire la charge d'exploitation en groupant, quand cela est possible, limnigraphe et pluviographe dans le même endroit.

- 2.3.6. - En matière de radiotransmission des données, tant le consultant, R. SMITH, que l'expert, J.C. STRANGWAYS, ont décidé d'écarter les solutions de propagation des ondes à très haute fréquence VHF et troposphérique et de retenir la solution de la haute fréquence HF, en présentant l'un et l'autre des arguments qui paraissent solides et difficilement réfutables.

Compte tenu des inconvénients propres à la transmission à HF (interférences dans une bande étroite entre nombreux émetteurs ...) et du budget limité affecté à cette opération, le choix de l'expert s'est porté sur un matériel peut-être non totalement adéquat mais certainement correct et qui est commercialisé.

Dès réception des limnigraphes codeurs (STEVENS et FISHER and PORTER), les essais dans le PANTANAL en 1969 montreront ce que l'on peut espérer du procédé et du matériel choisi (radio SSB,\* Copilot de RF Communications). Il n'est pas exclus que l'on effectue d'autres essais en cas d'échec, ni que l'on se replie vers des solutions précaires avec intervention humaine pour l'émission ...

Nous verrons après examen des objectifs du projet que le rôle réel à allouer à la radiotransmission est tel qu'un échec partiel ne doit pas représenter un échec correspondant de l'ensemble du projet.

#### 2.4. - Au sujet de la contrepartie brésilienne

La participation du gouvernement brésilien au projet est dans l'ensemble satisfaisante et nous ne voulons ici qu'évoquer les quelques points défailants :

- a) Le confort pour le travail des locaux mis à la disposition du projet est tout à fait insuffisant tant à RIO qu'à CORUMBA ; il en est de même de la surface des bureaux de RIO.
- b) Les règles administratives en vigueur au DNOS ne permettent pas un travail efficace de terrain ; une plus grande autonomie du projet, une affectation budgétaire suffisante et une disponibilité rapide des crédits de paiement sont très vivement recommandées.

---

\* SSB : "single side-band" ou à "bande latérale unique".

- c) Des disponibilités en véhicules neufs et surtout en bateaux sont, soit en retard, soit insuffisantes jusqu'à maintenant.
- d) La participation du DNAE -Divisão de Aguas au réseau des bassins de montagne est un peu en retard sur leurs projets de 1966.
- e) Il n'y a pas de contrepartie à l'ingénieur topographe, mais une plus grande dotation en personnel subalterne compense en partie cela (sur le seul plan comptable).

### 3. NOUVELLE FORMULATION PRECISE et DETAILLEE des OBJECTIFS PRINCIPAUX du PROJET (seconde phase)

Ce chapitre a pour but d'aider à voir clair dans les diverses finalités du projet telles qu'elles ont été définies à l'origine, puis telles qu'elles apparaissent maintenant aux responsables de l'exécution de ce projet, après plus d'un an et demi de contacts étroits avec la réalité. On a également essayé de dégager les besoins de l'économie brésilienne en matière d'aménagement des eaux, dans le bassin du Rio PARAGUAY, afin de faire concorder au mieux les finalités scientifiques du projet et les objectifs pratiques du développement régional.

#### 3.1. - Rappel des objectifs originaux du projet

- Connaître le régime hydrologique du haut-bassin du PARAGUAY et tout particulièrement le rôle du PANTANAL.
- Utiliser cette connaissance pour prévoir les irrégularités de ce régime, crues et étiages, les unes néfastes à l'économie pastorale, les autres conditionnant les périodes de navigation.
- Envisager une première approche des projets d'aménagements hydrauliques nécessaires à la régularisation de ce régime, tels sont très nettement les objectifs primitifs dont l'importance a justifié le lancement du projet BRA/21.

Le plan d'opérations traduit en termes concis et précis ces objectifs et propose d'établir un réseau hydrométéorologique de base, puis d'essayer de mettre au point un système de prévision des crues à l'aide éventuellement d'un modèle.

### 3.2. - Description des besoins économiques régionaux en matière d'aménagement des eaux

#### 3.2.1. - Les inondations

La localisation, dans le PANTANAL, des zones de grande inondation permanente ou régulière (sous l'effet de la majorité des crues) a été réalisée par le chef de projet et présentée sur une carte annexée à son rapport sur l'état d'avancement du projet.

L'examen des cartes, les reconnaissances aériennes concordent avec l'opinion du chef de projet sur le fait que le "noeud crucial" du PANTANAL est formé par les grandes lagunes UBERABA, GAIVA et MANDIORE dans la zone de confluence des Rio CUIABÁ - SÃO LOURENÇO et du Rio PARAGUAY. C'est là que s'effectue très vraisemblablement la plus grande partie de l'action régularisatrice et retardatrice du PANTANAL sur l'écoulement des crues. En conséquence, le régime des crues en aval des grandes lagunes est-il sous la dépendance hydraulique du comportement de celles-ci, tandis qu'en amont les crues (comme sur tout autre affluent du PARAGUAY) sont-elles subordonnées plus étroitement aux précipitations. Le temps de réponse, dans un sens élargi, est court dans le second cas, long dans le premier.

Si l'on revient aux grandes zones inondables, on constate qu'elles se situent :

- a) pour une très grande part, dans la région et en aval des grandes lagunes, puis le long du Rio PARAGUAY lors de confluences (Rios TAQUARI et MIRANDA) ou d'effluences (Rio NABILEQUE).
- b) pour une autre part, le long du PARAGUAY entre DESCALVADOS et les grandes lagunes, le long du CUIABÁ en aval de CUIABÁ et surtout après la confluence du SÃO LOURENÇO.

Les délibérations de la réunion restreinte du Comité Consultatif ont insisté sur l'importance des inondations dans ces deux secteurs et sur l'intérêt économique certain de disposer d'un système de prévision des crues dans les deux secteurs.

Compte tenu des remarques précédentes sur le rôle des grandes lagunes dans le régime du Rio PARAGUAY, on peut assurer que l'établissement du système de prévision des crues en aval des grandes lagunes est du ressort d'un modèle mathématique général du PANTANAL ; tandis que l'établissement de systèmes de prévision des crues le long du PARAGUAY et le long du CUIABÁ, en amont desdites lagunes, dépend de modèles hydrologiques

à base d'opérateurs de transformations pluie-débit pour les bassins amont respectivement de DESCALVADOS et de CUIABÁ.

Malgré la complexité et l'hétérogénéité des modèles à prévoir, l'intérêt économique veut que l'on essaye de préparer tous ces systèmes de prévision des crues, en donnant peut-être la priorité à celui du PARAGUAY en aval des grandes lagunes.

### 3.2.2. - La navigation

Une navigation saisonnière existe sur le Rio PARAGUAY en aval de CORUMBA, et beaucoup moins intense en amont, jusqu'à CARERES et CUIABÁ.

Une prévision des côtes faciliterait la connaissance des périodes navigables pour les divers tonnages des flottes existantes et serait un premier pas avant l'amélioration du régime d'étiage.

Mais il y a plus que cet état actuel. Le DNPVN étudie les liaisons de son réseau de voies navigables entre le bassin du PARAGUAY d'une part, ceux de l'AMAZONE et du PARANÁ d'autre part. Ces liaisons font partie du plan national brésilien de développement à moyen terme de ses voies navigables fluviales. Elles seraient susceptibles d'emprunter les cours des Rios JAURU et TAQUARI. Le DNPVN considère que l'amélioration de ces voies navigables se fera par augmentation du débit d'étiage à partir de barrages de régularisation situés dans les hauts bassins de ces cours d'eau. L'étude de la retenue de JUSANTE DO SALTO sur le Rio AGUAPEI, tributaire du JAURU, est déjà commencée.

L'intérêt du modèle mathématique prévu pour l'étude des crues du PARAGUAY est augmenté parce qu'il peut, par simulation, permettre l'étude de l'influence d'éventuels barrages sur le régime des étiages.

Les bassins des affluents JAURU et TAQUARI sont ceux qui méritent, avec ceux du CUIABÁ et du propre PARAGUAY, la plus grande attention de la part des équipes chargées du réseau hydrométéorologique.

### 3.2.3. - Hydro-électricité

La Companhia de Electrificação Matogrossense CEMAT n'envisage, la construction d'usines hydro-électriques que pour l'alimentation de CUIABÁ et ces usines fonctionneront à l'aide de barrages sans réserve importante.

Le projet de GUIÁ sur le CUIABÁ est repoussé à long terme. On retiendra cependant que ce site, déjà étudié, peut emmagasiner plus d'un milliard de m<sup>3</sup>, en amont de CUIABÁ, et qu'une telle réserve pourrait avoir une action régularisatrice sur le débit de ce cours d'eau.

### 3.3. - Nouvelle formulation des principaux objectifs du projet

Il nous paraît non seulement possible mais nécessaire de procéder à une synthèse homogène des objectifs primitifs originaux et de ceux que révèlent les impératifs du développement économique.

La connaissance du régime hydrologique du bassin du haut-PARAGUAY, obtenue à l'aide du réseau hydrométéorologique à développer, reste l'objectif premier.

Cette connaissance scientifique du régime ne suffit pas. Il faut l'exploiter pour essayer d'établir en priorité un système de prévision des crues du PARAGUAY en aval des grandes lagunes, ensuite un système de prévision des crues du PARAGUAY à DESCALVADOS et un autre système pour la prévision des crues du CUIABÁ à CUIABÁ. Tel est l'objectif second. Les modèles destinés à élaborer puis à gérer ces systèmes de prévision de crues devraient avoir une portée plus générale afin de pouvoir, par simulation, étudier l'influence de tout aménagement hydraulique futur sur le régime d'écoulement. Le projet doit avoir ce dernier objectif également, mais en se contentant ici de livrer si possible un outil aux futurs utilisateurs et en esquissant simplement l'implantation de quelques uns des principaux aménagements envisageables, dans l'avenir. L'accent doit être mis sur les problèmes d'amélioration de la navigation de certains cours d'eau, dans cette phase d'étude préliminaire (régime hydrologique, implantation approximative des aménagements).

Dans ces conditions, la réalisation du plan d'équipement hydropluviométrique du bassin doit être aussi complète que possible. Certes, la priorité reste au réseau du seul PANTANAL comme conclut le procès-verbal de la réunion d'experts, mais il est impossible de négliger les bassins amont et d'en abandonner l'équipement au bon vouloir des autres entités (DNAE ... etc ...). En effet, tant les prévisions des crues du Haut-PARAGUAY et du CUIABÁ que les problèmes de navigation sur le JAURU et le TAQUARI, que le planning préliminaire d'aménagements hydrauliques futurs ne peuvent se faire sans stations hydrométriques et pluviométriques sur les hauts bassins. Le projet se doit d'installer un minimum de stations, en amont du PANTANAL.



#### 4. Les MOYENS NECESSAIRES à la REALISATION de la 2ème PHASE du PROJET

Ces moyens sont de divers ordres. Il y en a d'abord qui sont des moyens "supports" de l'étude hydrologique et qui, à ce titre, deviennent des objectifs secondaires complémentaires du projet : la géodésie (nécessité d'un nivellement relatif des divers points de mesure du plan d'eau dans le PANTANAL), la photointerprétation (nécessité de pallier l'absence de cartographie précise), l'hydrogéologie, la sédimentologie (le rôle des eaux souterraines dans l'écoulement, la situation du PANTANAL sous l'aspect "érosion-sédimentation").

Il y a ensuite des moyens, oserai-je dire, "vitaux" sans lesquels la réalisation pleine et entière du projet serait très difficile et sévèrement altérée : les modèles mathématique et hydrologique (nécessaires à l'élaboration puis à la gestion des systèmes d'annonce de crues), les stations de radiotransmission (indispensables à la gestion de ces systèmes d'annonce de crues).

Les modèles doivent être élaborés dans le cadre du projet ; les stations de radiotransmission doivent être d'abord expérimentées, ensuite installées en permanence. Le fait que ces moyens exigent une intervention active des experts pour assurer leur efficacité justifié que l'on considère ceux-ci comme des objectifs tertiaires ou logistiques du projet, si l'on peut dire.

Il y a enfin les moyens classiques en personnel, en matériel et en crédits de fonctionnement. Leur examen a conduit, lors de la réunion administrative du projet, à envisager une modification du plan d'opérations.

Nous allons examiner successivement ces trois ensembles de moyens, pour donner notre avis sur le rôle et l'importance attribuables à chacun d'eux, en prenant en considération les discussions qu'ils ont provoqué et les conclusions auxquelles on est arrivé lors des diverses réunions tenues à RIO du 18 au 21 Novembre.

##### 4.1. - Les objectifs complémentaires du projet

##### 4.1.1. - La géodésie (Cf. 2.3.3)

L'annonce par l'Instituto Brasileiro de Geodesia e Estatística, IBGE, de la réalisation d'un nivellement de 1er ordre entre BRASILIA et ACRE, passant par CUIABÁ (en 1969), doit faciliter la fermeture des mailles de nivellement du projet, dans leurs extrémités septentrionales.

Ainsi peut-on espérer réaliser le programme prévu (réduit en partie par cet appui IEGE à CUIABÁ) et même déporter plus nettement vers les zones inondables l'effort du projet dans sa dernière année pour y accroître le nombre de points cotés, même avec une précision de 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ordre, une fois les mailles principales de 1<sup>er</sup> ordre achevées. Ceci est un appoint important pour le réglage du modèle mathématique.

On peut envisager une prolongation de séjour de l'expert en géodésie, mais il faut absolument que l'ingénieur brésilien de contrepartie soit fourni avant le départ de l'expert, pour être présent jusqu'à la clotûre du projet.

#### 4.1.2. - La photointerprétation (Cf. 2.3.2)

L'effort doit être fait pour préciser, autant que faire se peut, la délimitation des zones inondées et inondables, en utilisant les essais de photointerprétation détaillées (au stéréoscope) des zones échantillons pour améliorer le travail "grossier" sur mosaïques.

L'ordre de priorité entre l'une ou l'autre des tâches est secondaire devant l'efficacité des résultats et ce qu'en attendent les hydrologues pour la compréhension du régime hydrologique et la formulation du modèle mathématique.

#### 4.1.3. - Hydrogéologie et sédimentologie

Les souhaits exprimés lors des réunions pour limiter le champ d'investigation de ces deux disciplines aux liaisons étroites avec l'écoulement de surface sont tout à fait réalistes.

L'hydrogéologie n'offre d'intérêt majeur qu'en ce qu'elle permet d'expliquer l'influence de la nappe phréatique sur le régime d'écoulement et la sédimentologie qu'en fournissant une appréciation de l'ordre de grandeur des transports solides fluviaux.

Des observations ou mesures dans ces 2 domaines sont parfaitement réalisables par des hydrologues, au sens large du terme.

Des consultants sont indispensables pour dégager les traits généraux, programmer et orienter les observations et mesures, analyser certains problèmes spécifiques.

#### 4.2. - Les objectifs logistiques du projet

##### 4.2.1. - Les modèles d'élaboration des systèmes de prévision des crues (Cf. 3.2.1)

Comme on l'a vu, les modèles nécessaires sont de deux groupes, l'un mathématique, les autres hydrologiques.

Le modèle mathématique du PANTANAL opérera avec comme "entrées" les débits des divers affluents, les niveaux en divers points et les précipitations sur le bassin, sa topologie étant définie à l'aide des résultats de la photointerprétation et de la géodésie.

Les modèles hydrologiques des haut-bassins opéreront à l'aide d'opérateurs pluies-débits dans lesquels les "entrées" sont les précipitations, les débits en amont servant seulement d'éléments de réglage.

En conséquence, des capteurs de limnimétrie et de pluviométrie sont nécessaires aux modèles, les seconds étant indispensables pour les modèles hydrologiques.

La formulation, l'élaboration et le réglage de tels modèles ne peuvent se faire que sur ordinateur de grande capacité, type IBM série 360 par exemple. Un tel ordinateur n'existe que dans les grandes villes de la côte, et il faut prévoir un support et une transmission des données du terrain à CORUMBA d'une part et de CORUMBA à ce centre de calcul, l'un et l'autre compatibles avec l'ordinateur.

La carte perforée paraît la meilleure solution pour le support d'information : établissement manuel aisé après contrôle et critique des données d'observations, calcul des données de base à l'aide de programmes déjà classiques et opérationnels ... etc ...

La liaison entre CORUMBA et le centre de calcul ne peut bien se faire que par voie Telex, équipée de correcteurs d'erreurs (ceci pour la phase d'exploitation seulement).

Pour l'élaboration des modèles, on utilisera la totalité des stations mises en place dans le cadre du réseau hydropluviométrique. Peut-être dès la crue de 1969, et sûrement après celle de 1970, les données d'observations seront-elles suffisantes pour formuler et essayer les modèles ; leur réglage définitif ne pourra intervenir qu'à l'issue de la

dernière année d'observations complètes, celle de 1971, si aucun obstacle ne surgit dans le processus d'élaboration.

Les données hydropluviométriques fournies par le réseau projeté devraient suffire à construire des modèles assez précis. Leur réglage, comme l'extension de leur domaine de validité, dépendent fortement de la quantité de données.

On peut, en considérant l'année hydrologique 1971-72, évaluer ainsi la somme de données hydrométriques et limnimétriques disponibles en fin de projet :

A. Pour le PANTANAL

- a) Cinq stations hydrométriques de plus de 7 ans (CUIABÁ, LADÁRIO, PORTO ESPERANÇA, FORTE COIMBRA, PORTO MURTINHO).
- b) Huit stations de 6 à 7 ans dont une limnimétrique (PORTO JOFRE).
- c) Seize stations de 4 ans dont 11 hydrométriques (10 dues au projet UNESCO-DNOS) et 5 limnimétriques (3 dues au projet).
- d) Onze stations de 3 ans, toutes dues au projet, dont 6 seront limnimétriques (total approximatif).

B. Pour les bassins amont du PANTANAL

- a) Douze stations de 7 ans dont 2 limnimétriques.
- b) Quatre stations limnimétriques de 6 ans.
- c) Environ 20-25 stations hydrométriques de 2 à 3 ans, toutes dues au projet.

Cette somme paraît a priori convenable pour élaborer les modèles prévus.

4.2.2. - La radiotransmission des données

Contrairement aux opinions qui prévalaient lors de la conception et de la préparation du projet, la région du PANTANAL est relativement

accessible et beaucoup moins inhospitalière que le sont le delta lacustre du NIGER ou les marécages du CHARI en AFRIQUE pour ne citer que deux réseaux hydrographiques comparables que nous connaissons bien.

Le chef de projet et ses collaborateurs ont amplement prouvé qu'il était possible et sans effort surhumain d'installer et de gérer dans le PANTANAL un réseau de limnigraphes et de pluviographes classiques à enregistrement de longue durée (énergie par pile ou batterie, autonomie de 3 à 4 mois).

En outre, durant tout le projet, de fréquentes visites aux stations sont nécessaires pour procéder aux étalonnages des cours d'eau. En conséquence, la collecte des données d'observations nécessaires à l'élaboration des modèles de crues peut se faire en utilisant les méthodes classiques de gestion (tournées par avion léger, capteurs à autonomie de 3-4 mois).

La radiotransmission des données est inutile à ce stade du projet. Elle est par contre indispensable pour l'exploitation ultérieure des systèmes de prévision.

Il n'y a donc jusqu'à maintenant pas d'inquiétude à avoir sur l'apparent retard, vis-à-vis du plan d'opérations, de la mise en place des stations à radiotransmission automatique. Une expérimentation poussée doit avoir lieu en 1969. En 1970, et surtout en 1971, on procèdera à l'installation du réseau de radiotransmission. En effet, ce n'est qu'au moment du réglage des modèles élaborés qu'il sera vraiment possible de dire combien de stations (et lesquelles) sont nécessaires à l'exploitation des systèmes de prévision de crues.

#### 4.3. - Les moyens en personnel

Le retard accusé par le projet lors de son démarrage conseillait un réajustement du calendrier d'experts du plan d'opérations (appendix IV, II Manning table for ..., page 30). La nouvelle formulation des objectifs du projet et des moyens conséquents que nous avons exposée et qui découle des réunions de Novembre impose une modification du plan d'opérations pour ce qui est du calendrier d'experts.

Un projet de modification a été discuté et approuvé dans ses grandes lignes lors de la réunion administrative (il est joint au projet de procès-verbal de ladite réunion).

On a tenu à être rigoureux et nous avons refusé que soit envisagé a priori une augmentation des "experts mois" comme une réduction des "contreparties-mois" palliée par un accroissement des dépenses de fonctionnement et en personnel subalterne.

L'achèvement de la période quinquennale du projet devrait être maintenant Mars 1972. Pour des raisons d'année budgétaire, les représentants du DNOS ont souhaité que le maximum de travaux soient achevés pour la fin de 1971. Afin de concilier ces deux points de vues, et pour ne pas dépasser le plafond d'"experts-mois", nous suggérons d'arrêter tous les experts en Décembre 1971, le chef de projet et certains éléments de la contrepartie restant en activité en Janvier 1972.

Les modifications éventuelles dans la répartition des experts sont :

- le remplacement des experts permanents en hydrogéologie et en sédimentologie par des consultants ;
- l'utilisation des mois ainsi libérés pour engager un second hydrométéorologiste pour 2 ans (celui-ci devrait avoir une certaine expérience du traitement des données sur ordinateur) ;
- l'augmentation des séjours du technicien radio et de l'ingénieur en géodésie ;
- la réduction du séjour de l'hydraulicien fluvial qui devient analyste de systèmes pour la formulation des modèles.

Pour ce qui est de la contrepartie, les modifications sont de même nature, avec en plus la prise en compte d'un troisième hydrométriste et d'un quatrième technicien topographe.

L'esprit qui a présidé à ces modifications nous semble sain. Cela n'exclut pas quelques corrections de détails pour arriver à la solution définitive satisfaisant toutes les parties.

#### 4.4. - Les moyens matériels et financiers

A priori, et telle était d'ailleurs la volonté formelle des représentants du DNOS, il ne pourrait être question d'envisager la moindre augmentation du coût du projet.

Pour la plupart des postes du budget prévisionnel, on peut considérer que les évaluations sont satisfaisantes à condition de pouvoir procéder à quelques arbitrages.

C'est du côté des moyens logistiques du projet : modèles et radiotransmission, que l'on peut avoir quelques inquiétudes quant à la réalisation complète des objectifs dans le cadre du budget prévisionnel.

Tout au long de son rapport, l'ingénieur électronicien expert semble contraint de fixer son choix sur un certain équipement pour des raisons non seulement techniques mais également financières. Mais celui-ci avait raisonné sur l'hypothèse de départ selon laquelle le réseau hydro-météorologique serait à base de stations automatiques (40 environ). Or, les réflexions précédentes sur le rôle des dites stations (Cf. 4.2.2) laissent augurer une réduction de ce nombre, pour l'exploitation des systèmes de prévision des crues.

Enfin, tant que les expérimentations de 1969 ne sont pas achevées, on ne peut prétendre sérieusement à l'insuffisance du budget prévu.

En matière de modèle mathématique, il semble bien par contre que la complexité du régime du PANTANAL est telle que le montant prévu au budget serait insuffisant si l'on faisait appel à une firme privée. Or, il semble maintenant possible de tenter l'élaboration des modèles à l'aide des seuls moyens de l'UNESCO et du secteur public brésilien parce que :

- a) il existe des ordinateurs de grande capacité dans diverses entités publiques à RIO, SAO PAULO et PORTO ALEGRE ;
- b) le Centre d'Hydrologie Appliquée de PORTO ALEGRE (projet UNESCO - Université Fédérale du Rio Grande do Sul) peut assister le projet BRA/21, car il dispose de professeurs experts en mathématiques, programmation, analyse de systèmes ... etc ...

Une étroite collaboration entre ces deux projets de l'UNESCO au BRÉSIL nous paraît tout à fait recommandable ; elle pourrait permettre d'atteindre les objectifs du projet en matière de modèles et dans le cadre du budget prévu. C'est pourquoi le choix de PORTO ALEGRE comme centre de calcul du projet peut être mis en balance avec celui de RIO, qui, lui, paraît évident a priori.

LISTE des PARTICIPANTS à la REUNION PLENIERE du COMITE CONSULTATIF  
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE du PROJET ERA/21, le 20-XI-68 à RIO.

---

Ten. Cel HERMANO LOMBA SANTORO  
Serviço Geográfico do Exército (S.G.E.)

Dr. MAURICIO SAMPAIO  
Escritório de Meteorologia (M.A.)

Dr. DÉLIO FERNANDES  
Divisão de Águas - DNAE (M.M.E.)

Dra. IZA RONDON LIMA VERDE  
Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis - (DNPVN - M.T.)

Dr. DORIVAL FERRARI  
Fundação Nacional de Geografia e Estatística - (I.B.G.E.)

- \* Dr. JEFFERSON DE ALMEIDA  
Chefe do Gabinete do Diretor-Geral do DNOS
- \* \* Dr. PAULO FOGGI PEREIRA  
Diretor da Divisão de Pesquisas do DNOS, e  
Co-Diretor do Projeto de Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai
- \* \* Dr. GERALDO ANTÔNIO PERGHER  
Chefe de 11º Distrito Federal de Obras de Saneamento (Mato Grosso)
- \* \* Dr. LUDOVICO LISONI  
Diretor do Projeto de Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai
- \* \* Dr. PIERRE DUBREUIL  
Consultante Permanente da UNESCO
- (1) Dr. ROGER BERTHELOT  
Perito e Consultor da UNESCO
- (1) Dr. WILLIAM CHARLES PETERSON  
Perito da UNESCO



- (1) Dr. GERIT JAN KROLL  
Perito da UNESCO
- (1) Sr. FRANCK M. TUCKER  
Perito da UNESCO
- (1) Dr. HUMBERTO CASTELLO BRANCO DE OLIVEIRA FILHO  
Geólogo do DNOS
- \* \* Comte. JOÃO MARIA DE CASTRO ROMARIZ  
Assessor

- \* Participe également à la réunion administrative
- \* \* Participent également " " et à la réunion d'experts
- (1) Participent " à la réunion d'experts