

CNEXO  
Groupement CGE . AA . ETPM

Présenté par SOGREAH

---

## Energie thermique des mers

Contrat-cadre CNEXO n°78/1929/YR  
Convention particulière n°1  
Rapport n°1

H310  
ENE  
Ee

SOMMAIRE

		Pages
Chapitre 1	INTRODUCTION	1
Chapitre 2	METHODOLOGIE	2
2.1	Présentation	2
2.2	Liste des tâches	2
2.3	P.E.R.T	3
2.4	Progression de l'étude; Correlations et extrapolations	3
Chapitre 3	MOYENS	4
Chapitre 4	TERMINOLOGIE	5
Chapitre 5	DONNEES DE BASE	6
5.1	Données de site	6
5.1.1	Données préliminaires	6
5.1.2	Données définitives	7
5.2	Démarrage de la centrale	8
Chapitre 6	TACHE 1	9
6.1	Objectif	9
6.2	Méthodes d'analyse	9
6.3	Analyse de la littérature	10
6.4		11
6.4.1	Délimitation du champ des paramètres	
a/	Rapport $Q_c/Q_f$	11
b/	Débit maximum d'eau chaude	11
c/	Débit maximum d'eau froide	12
d/	Débit minimum	12
6.4.2	Définition des données types	12
Annexe 1	Réseaux de répartition des tâches (P.E.R.T)	
Annexe 2	Site hawaïen de Keahole Point	
Annexe 3	Hawaï (relevés annuels de température)	
Annexe 4	Champ des débits $Q_c - Q_f$	
Annexe 5	Cycles étagés	



CHAPITRE - 1-

-0-0-0-0-0-0-

INTRODUCTION

Le CNEXO a demandé au Groupement CGE - AA - ETPM, d'effectuer une étude de faisabilité d'une Centrale d'Energie Thermique des Mers destinée à fournir principalement de l'électricité dans la gamme 1-10 MWe, et susceptible d'être implantée dans la zone d'influence économique française. Cette étude permettra de comparer les différentes techniques utilisables, les principales options de base étant les suivantes :

. Cycle thermodynamique : l'étude concernera essentiellement le cycle direct (ouvert) permettant de transformer en électricité l'énergie solaire captée par la surface des mers. Ce cycle sera cependant comparé aux cycles indirects (fermés) utilisant des fluides intermédiaires.

. Structure : la structure étudiée sera conçue pour être flottante et pourra :

(a) être implantée sur un site plus ou moins éloigné des côtes et exploitée comme Centrale "au large" ; ou

(b) être échouée et devenir la base d'une Centrale "au rivage".

Dans le premier cas le tuyau de prise d'eau froide sera disposé sensiblement verticalement au dessous de la structure, alors que dans le deuxième cas la prise d'eau froide sera assurée par un tuyau posé sur le fond marin.

Dans le premier cas l'énergie électrique produite sera transportée jusqu'à la côte par câble sous-marin.

. La comparaison entre les différentes solutions globales se fera sur les plans de la technique, de l'économie, de la sensibilité au facteur de taille et aux contraintes de sites, et de l'aptitude à fournir de l'eau douce comme sous-produit ainsi qu'à servir de banc d'essai dans l'éventualité du développement de centrales de grande puissance.

CHAPITRE -2-

-0-0-0-0-0-0-

METHODOLOGIE

2.1- Présentation :

-----  
Les différentes solutions seront basées dans un premier stade sur une puissance de 5 MW sur l'arbre de la turbine.

Les paramètres de base ainsi définis permettront de "dimensionner" les composants principaux et de déterminer la puissance des auxiliaires, donc en définitive la puissance nette de la centrale.

La centrale étant ainsi définie pour cette puissance, les composants seront extrapolés afin de constituer les centrales de la gamme 1 à 10 MWe nets, en tenant compte des mutations éventuelles de technologie que l'étude mettrait en évidence pour certains d'entre eux.

Les travaux se décomposent pour la convention particulière n° 1 en 14 tâches de la façon suivante :

2.2- Liste des Tâches :

- 
1. Définition des paramètres de base de deux cycles types pour une puissance, sur l'arbre de la turbine, de 5 MW
  2. Comparaison des différents fluides utilisables pour le cycle indirect (fermé)
  3. Echangeurs pour cycle indirect (fermé)
  4. Turbine pour cycle direct (ouvert)
  5. Turbine pour cycle indirect (fermé)
  6. Echangeurs pour cycle direct (ouvert)
  7. Désaération de l'eau de mer
  8. Comparaison des bilans énergétiques des deux cycles (direct et indirect)
  9. Structure acier - Structure béton
  10. Tuyau de pompage d'eau froide

11. Câble électrique sous-marin
12. Ancrage d'une structure flottante
13. Prise d'eau chaude
14. Recyclage des eaux chaudes et froides

#### 2.3- P. E. R. T

-----

L'exécution des tâches précédentes s'enchaînera selon le programme P. E. R. T. joint en annexe 1.

#### 2.4- Progression de l'étude ; correlations et extrapolations

-----

L'étude sera faite par itération.

Cette itération utilisera, pour chaque composant, des formules simplifiées de corrélations de prix selon les gammes de fonctionnement définies par les limitations technologiques.

Ces formules de corrélations de prix permettront de passer de la solution de base (5MW sur arbre turbine) aux centrales extrapolées dans la gamme 1 à 10 MWe nets.

-0-0-0-0-0-0-

MOYENS

Les tâches seront exécutées par les sociétés du groupement dont nous donnons la liste dans le tableau ci-dessous, ainsi que le nom des responsables, l'adresse et les numéros de téléphone et de télex :

SOCIETE	RESPONSABLE	ADRESSE
<u>ALSTHOM-ATLANTIQUE</u> ACB	M. MORA	2 Prairie au Duc 44050 NANTES Cedex Tél. (40) 47.31.32 Télex. 710 960
<u>NEYRTEC</u>	M. DUPORT	B.P. 61. 38041 GRENOBLE Tél. (76) 96.48.30 Télex. 320 750 F
<u>RATEAU</u>	M. ROC	141, rue Rateau B.P. 111 93123 LA COURNEUVE Tél. 838.92.89 Télex. 230.818
<u>ETPM</u> E P M	M. MAGLOIRE	Courcellor II 33-35 rue d'Alsace 92531 LEVALLOIS Tél. 759.64.06 Télex. 612.021
<u>C G E</u> CABLES DE LYON	M. THEVENON	170, av. J. Jaurès 60353 LYON Cédex 2 BP 7153 Tél. (78) 72.05.71 Télex. 340.009
<u>SEA TANK CO</u>	M. BERTHIN	Immeuble Iéna 12 rue Le Corbusier Zone SILIC - 9415 94150 RUNGIS Tél. 687.23.32 Télex. 200.939
<u>SOGELERG</u>	M. BERGUERAND	25 rue du Pont des Halles CHEVILLY LA RUE Cedex 902 94536 RUNGIS Tél. 687.84.68 Télex. 204 174 F
<u>SOGREAH</u>	M. GAUTHIER M	6 Rue de Lorraine 38130 ECHIROLLES B.P 172 Centre de Tri Tél. (76) 09.80.22 Télex. 980 875 F

CHAPITRE - 4 -

-0-0-0-0-0-0-0

TERMINOLOGIE

La terminologie adoptée dans le cadre des études de la phase A est la suivante :

- . Centrale au large ..... L
- . Centrale au rivage ..... R
- . Cycle direct (ouvert) .... D
- . Cycle indirect (fermé) ... I
- . Echangeurs par mélange ... M
- . Echangeurs par surface ... S

Les différentes solutions possibles sont représentées alors par le schéma suivant :



Enfin :

- . Température d'entrée eau chaude .....  $T_{CE}$
- . Température de sortie eau chaude .....  $T_{CS}$
- . Température d'entrée eau froide .....  $T_{FE}$
- . Température de sortie eau froide .....  $T_{FS}$
- . Température de vaporisation .....  $T_V$
- . Débit d'eau chaude .....  $Q_C$
- . Débit d'eau froide .....  $Q_F$

Ces notations sont d'ores et déjà utilisées dans le présent rapport.

CHAPITRE 5

-0-0-0-0-0-

DONNEES DE BASE

5.1- Données de site

5.1.1. Données préliminaires :

Pour les deux premiers mois de l'étude, décembre 1978 et janvier 1979, le Groupement appliquera son étude au site hawaïen de Keahole Point, pour lequel les données de base (océanographie, bathymétrie) figurent en annexe 2.

Les informations que nous avons pu réunir sur Hawaï ne sont pas toutes cohérentes notamment en ce qui concerne les relevés de température. Cette disparité provient de ce que les relevés n'ont pas tous la même origine et proviennent de sites différents. En conséquence nous avons retenu les mesures du seul site de Keahole Point.

Il en résulte le tableau simplifié suivant :

T° C	HIVER	VALEUR DE BASE	ETE
T <sub>CE</sub>	24	25	28
T <sub>FE</sub>	-	5	-

Les valeurs de base sont utilisés dès le démarrage de la tâche n° 1



Nous tiendrons compte par la suite des divers ajustements provenant de :

- la perte calorifique dans le tuyau de pompage d'eau froide
- l'effet éventuel de recyclage
- l'évolution de  $T_{CE}$  avec le temps, indiquée sur les figures 312 et 321 de l'annexe 2 et 3 -4 et 5 de l'annexe 3.

L'utilisation de valeurs légèrement disparates ne présente pas d'inconvénient à ce stade de l'étude ; par ailleurs elle permettra de prendre pleinement conscience du problème sur le plan qualitatif. Les enseignements que nous en tirerons nous permettront ensuite de traiter en connaissance de cause le problème du site réel.

Les conditions d'accès au site, les données météorologiques, les relevés bathymétriques, la nature des sols, les profils de courant utilisés proviennent de la note d'information transmise par le CNEXO sur le site de Keahole Point, Ainsi que pour les températures, certaines informations complémentaires pourront cependant être utilisées si nécessaires dans le même esprit.

#### 5.1.2. Données définitives :

Ensuite, à partir du troisième mois (février 1979), le Groupement appliquera son étude à un site qui aura été retenu par le CNEXO. Ce dernier procède en effet à la recherche systématique du (ou des) meilleur site possible dans les DOM/TOM s'agissant d'une centrale de 1 à 10 MWe. Le CNEXO communiquera donc au Groupement à la fin janvier 1979 toutes les données naturelles en sa possession relatives à ce site et utiles pour le bon déroulement des études techniques.

Au cas où certaines données nécessaires n'auraient pu être obtenues, des valeurs théoriques seraient adoptées d'un commun accord entre les parties.

Il faut remarquer ici que, plus une solution de centrale sera dépendante du site, moins le marché potentiel correspondant sera important. Il paraît donc intéressant de choisir le site du prototype de sorte que ses données soient les plus favorables à toutes les solutions envisagées. Par contre la meilleure solution sera, à conditions économiques égales, la plus indépendante du site car elle représentera alors une valeur de substitution non négligeable sur le plan du bilan énergétique global et par la même, une promesse d'activité importante pour l'Industrie.

#### 5.2- Démarrage de la centrale

-----

Le démarrage de la centrale prototype s'effectuera en utilisant le réseau électrique terrestre auquel elle est raccordée.

TACHE 1 :

"Définition des paramètres de base de deux cycles types pour une puissance sur l'arbre de la turbine de 5 MW".

6.1. Objectif :

L'objectif de la tâche était de définir les valeurs des paramètres de base nécessaires aux divers participants du Groupe de Travail pour aborder leurs propres tâches.

Il s'agit : des débits d'eau chaude et d'eau froide, des températures des rejets ainsi que de la vapeur aux bornes de la turbine.

6.2. Méthodes d'analyse :

Des considérations simples montrent que le cycle E.T.M. est défini, pour des températures  $T_{CE}$  et  $T_{FE}$  données par QUATRE paramètres fondamentaux qui sont :

- Le refroidissement de l'eau chaude
- L'échauffement de l'eau froide
- et les écarts de température Eau de Mer - Vapeur respectivement, à l'évaporateur et au condenseur.

Les valeurs à attribuer à ces écarts thermiques ne sont pas a priori déterminées par des considérations purement physiques, mais par des considérations plus complexes où interviennent les coûts directs et les coûts induits des composants thermodynamiques de la centrale : circuits d'eau chaude et d'eau froide, évaporateur, turbine, condenseur, ainsi que les bilans des puissances produites et consommées dans chacun de ces sous-systèmes.

Les données techniques et économiques permettant d'effectuer des balances entre ces divers composants n'étant pas connues à ce stade de l'étude, il a été considéré que l'examen des données de la littérature fournirait un bon

guide de départ.

Cette analyse (résumée au § 3 ci-après) a été complétée par quelques considérations simples qui permettent de limiter le champ des paramètres (§ 4 ci-après).

### 6.3. Analyse de la Littérature :

L'analyse critique de la littérature a permis de dégager deux groupes de projets :

- les projets américain et japonais

Centrale flottante où  $Q_C \sim Q_F$  en Cycle Indirect.

Pour les cycles Directs :

- Les projets français anciens (Abidjan, Guadeloupe)

où :  $Q_C / Q_F \sim 3$

Projet cherchant à minimiser le débit d'eau froide (Centrale à Terre).

- Un projet de l'Université de Massachusetts.

où  $Q_F \sim 3 Q_C$  ; choix qui résulte à notre avis d'une erreur de raisonnement sur les puissances de pompage d'eau chaude (centrale flottante).

L'examen de la distribution des niveaux thermiques choisis aux échangeurs montre de grandes différences de projet à projet, même pour le groupe des projets de centrale L I S américain et japonais, pour des résultats économiques très variables, malgré les "optimisations" faites aux dires des auteurs.

Il subsiste donc, au stade actuel du projet, une grande latitude de choix des paramètres du cycle, il est donc raisonnable d'envisager que l'étude des sous ensembles (tuyau d'eau froide, échangeurs, turbine) soit abordée à partir d'une plage de paramètres suffisamment large pour laisser toute liberté ultérieure d'optimisation et toutes chances de ne pas biaiser d'entrée le résultat des optimisations ultérieures.

## 6.4. Delimitation du Champ des Paramètres

### Définition des Données Types

6.4.1. La délimitation, dans le cadre de la Tâche 2, du domaine à couvrir, a été faite en s'inspirant des résultats de l'analyse de la documentation technique et en s'appuyant sur les considérations résumées ci-après :

#### a/ Rapport $Q_C / Q_F$

Qu'il s'agisse de l'incidence sur le coût du sous-système correspondant, ou de l'incidence sur la puissance auxiliaire consommée, il apparaît à peu près certain que le circuit d'eau froide "pèse plus lourds" que le circuit d'eau chaude, et ceci quel que soit le type de centrale considéré.

Il y a donc toutes chances, lorsqu'on sera en mesure d'optimiser les valeurs des débits, pour que l'on soit conduits à des débits d'eau froide au plus égaux aux débits d'eau chaude correspondants. Nous avons donc adopté la valeur 1 comme limite inférieure du rapport  $Q_C / Q_F$  (voir limite 1 du graphique joint en annexe 4). Il est plus délicat d'assigner une borne supérieure à ce même rapport. Cependant une valeur égale à 3 paraît raisonnable (limite 2 du graphique), compte tenu de la littérature et de ce que la prise en compte d'un rapport plus grand pourrait rendre plus délicat le problème du panache de rejet.

#### b/ Débit Maximum d'eau chaude

L'adoption d'un débit d'eau chaude élevé est évidemment favorable puisque cela améliore la forme du cycle de Rankine, et de plus "tire" le cycle vers le haut, en augmentant la pression d'entrée de turbine. En contre-partie, cette augmentation entraîne a priori une augmentation de la puissance auxiliaire correspondante, cet effet étant plus sensible pour le cycle direct en raison de la puissance nécessaire à l'extraction des incondensables.

Nous avons proposé une limite de 30 m<sup>3</sup>/sec qui paraît bien constituer la limite pour tous les cas.

c/ Débit Maximum d'eau froide

Les considérations de puissance de pompage et de coût des sous-systèmes, et de difficultés technologiques, conduisent à différencier ici nettement les centrales au rivage et les centrales au large.

Nous avons proposé 12 m<sup>3</sup>/sec pour les premières (limite 3 du graphique) et 20 m<sup>3</sup>/sec pour les secondes (limite 3').

d/ Débits minima

Même si l'on recourt à des évaporations et/ou à des condensations étagées (voir annexe 5), on ne peut pas, pour des raisons pratiques, réduire l'écart de température du cycle au delà d'une certaine valeur. Cette considération conduit à ne pas travailler en-dessous de la limite 4 du graphique définie pour l'instant d'une façon partiellement arbitraire.

6.4.2. Les études des sous-systèmes, en particulier les circuits d'eau chaude d'eau froide et de rejets, seront conduits en tenant compte des limites de débits indiquées aux paragraphes précédents.

Il est apparu intéressant, en vue de certaines études d'intégration, de fixer deux points-types qui ont été choisis à dessin aux extrémités du domaine :

Point A -  $Q_C = 15$  m<sup>3</sup>/sec. -  $Q_F = 5$  m<sup>3</sup>/sec. -  $T_{CS} = 22^\circ\text{C}$  -  $T_{FS} = 13^\circ\text{C}$   
 -----  
 Ce cas correspondant plutôt à une centrale au rivage.

Point B -  $Q_C = 30$  -  $Q_F = 20$  m<sup>3</sup>/sec. -  $T_{CS} = 23^\circ\text{C}$  -  $T_{FS} = 7^\circ\text{C}$   
 -----  
 Ce cas correspondant à une centrale au large.

ANNEXE 1

Réseaux de répartition des tâches

Méthode P. E. R. T.

Schéma préliminaire

CP n° 1

ANNEXE 2

Site hawaïen de Keahole Point

Ocean physical characteristics

Ocean currents

Bathymetry and bottom conditions

Winds and sky

-----

Survey station locations for field program (Fig. 1.2.1.)

Current and temperature measurement (tables 3.1.1. and 3.2.1.)

Water temperature history (Fig 3.2.2. and 3.2.1. )

-----

Monthly weather data - Characteristic conditions



## TRANSPORTATION

Air transportation to Honolulu from the mainland United States is available from any major airport. Excluding charter flights and foreign airlines, there are approximately 28 daily scheduled landings at Honolulu International Airport from the mainland. In addition, there are a few daily flights directly to Hilo on the island of Hawaii.

The Big Island has two major all-weather airports, one located on the east side at Hilo and the other near the town of Kailua-Kona at Ke-ahole Point. There is a third secondary airport located about 30 miles north of Ke-ahole near the town of Waimea. The four local airlines serving the Big Island presently have 23 daily arrivals at Hilo, 22 at Ke-ahole (5 of which stop at Waimea); flight time from Honolulu to Ke-ahole averages 30 minutes by the jets currently in use.

Surface shipping is provided by barge from Honolulu. The scheduling provides for three trips per week into the port of Hilo and two per week into Kawaihae Harbor north of Kona. In addition there are direct shipping routes from the mainland to Hilo.

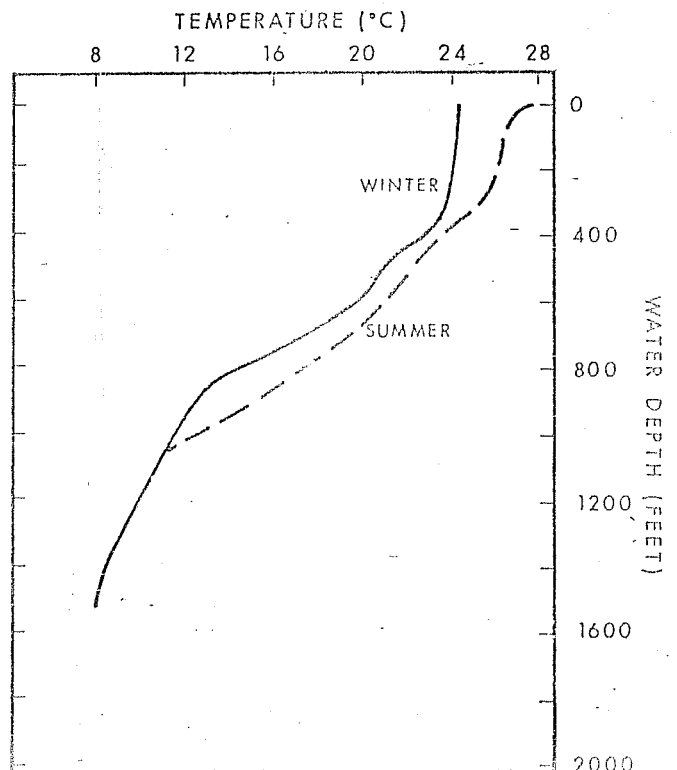
The port of Kawaihae, located 23 miles northeast of Ke-ahole Point, is a commercial deep water harbor. It is about 150 sea miles southeast of Honolulu and 2,051 sea miles from San Francisco. This harbor is protected to a great extent against northeasterly storms by the Kohala Mountains and against southerly storms by a promontory to the south. The harbor is partially exposed to waves approaching from the northwest direction, but these are not usually severe due to the sheltering offered by the other islands lying in that direction. This port, now dredged to an average depth of 40 feet, has adequate facilities for any vessels used in oceanographic research or deep water pipe line installation. Smaller vessels may be moored at the small boat harbor at Honokohau located just three miles south of Ke-ahole Point.

## THE OCEAN

**Physical Characteristics.** Deep oceanic water is as close to shore off Ke-ahole Point as anywhere in the world. Consequently, conditions typical of the open ocean can be found within a mile from the shore.

The vertical profiles of temperature and nutrients show that cold, nutrient-rich deep water is available within 4,000 feet of the shoreline. The illustration shows two profiles as they occurred off Ke-ahole Point in the spring of 1972. Water with a temperature less than 10°C (50°F) is found at 1,200-foot depth decreasing to nearly 5°C at about 2,500 feet. Although the surface mixed layer of

Thermocline Offshore Ke-ahole Point



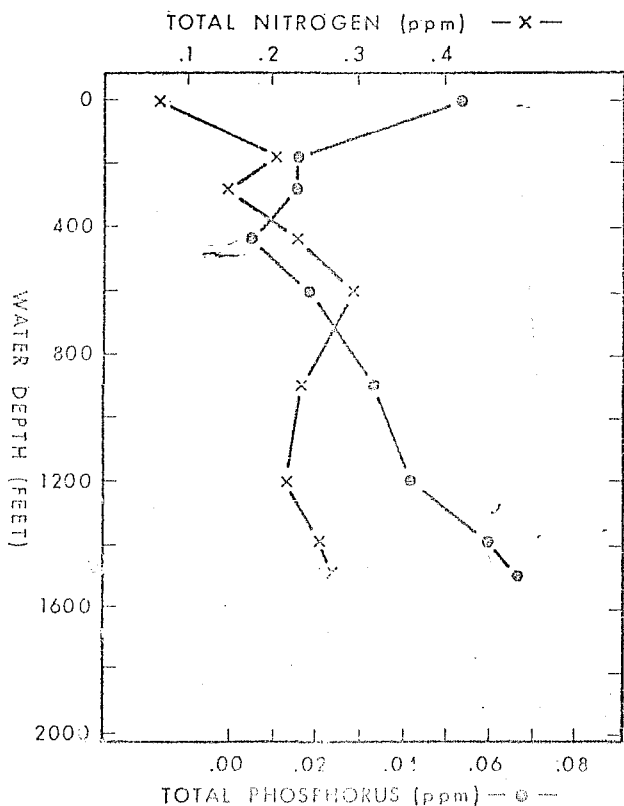
water undergoes seasonal changes in thickness and temperature, the water properties below about 500 feet tend to remain the same throughout the year, with temperature decreasing with depth, and nutrient concentrations increasing. At Ke-ahole Point, water less than 11°C may be obtained within one-half mile of the shoreline.

The surface layer (mixed layer) responds to the seasonal changes in circulation, mixing, and incident radiation (insolation). The general pattern is that the mixed layer is deeper (350 ft.) and colder (25°C) in the spring; shallower (200 ft.) and warmer (28°C) in the summer. There are small diurnal changes and some variation within a month

(±1/2°C). Annual average differences among succeeding years do not exceed ±1-1/2°C. These variations depend on actual conditions, but they do represent expected maximum values and variations.

**Ocean Currents.** Observations in the offshore Ke-ahole area have indicated that the currents are a combination of tidal and geostrophic with a modal value offshore of one-half to three-quarters of a knot. The northeasterly trending drift is dominant in the area, indicating an overall net transport in that direction. More recent observations taken during the fall of 1977 have indicated a nearshore-to-offshore structural difference in the currents. These measurements revealed that the nearshore surface and near bottom flow tended to be toward the south-southeast, following the contours, out to about 4,000 feet offshore. Further offshore the dominant flow was in the opposite direction—toward the north-northwest. Maximum surface current speeds were observed from 2.1 knots nearshore to 0.7 knots offshore. Near bottom flows were in the 0.2 - 0.5 knots range.

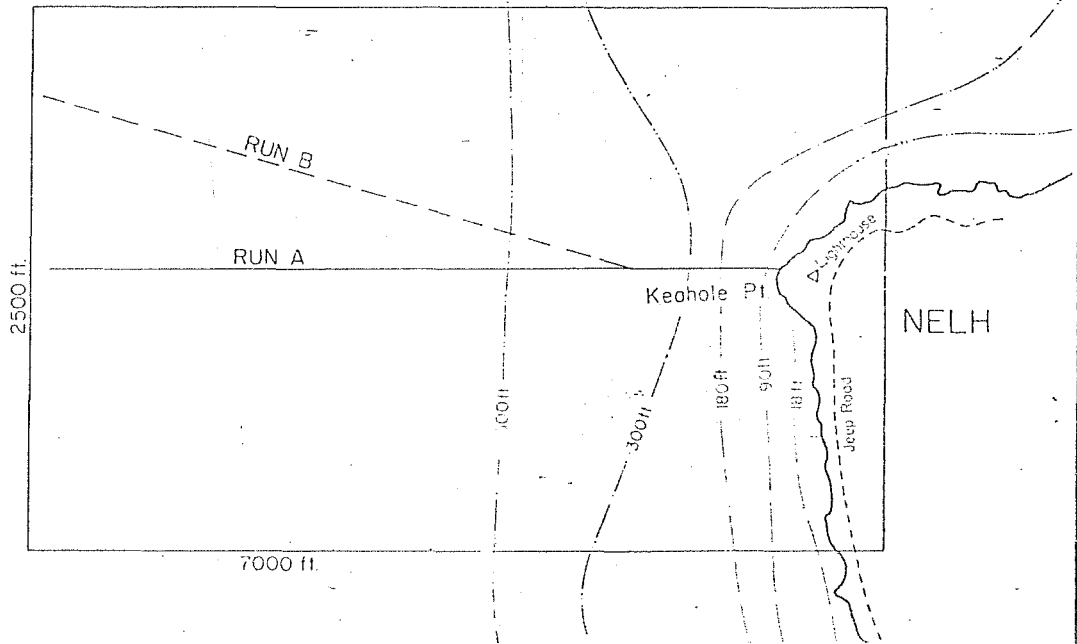
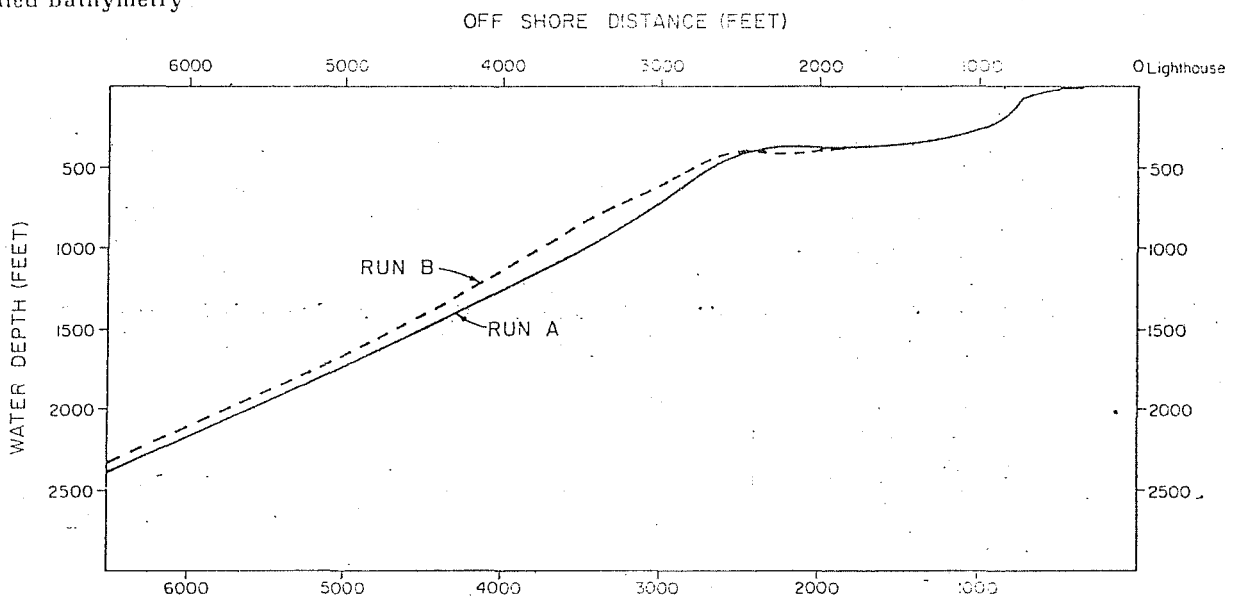
Nutrient Content Offshore Ke-ahole Point.



**Bathymetry and Bottom Conditions.** The bathymetry offshore Ke-ahole is characterized generally by a very steep slope to depths of 6,000 feet. However, detailed bathymetry has not been available until recently. In the summer of 1977 the State of Hawaii funded a study to provide this detailed information as a preliminary site-selection survey for a deepwater pipeline. A number of precision depth records were run from the westernmost portion of the NELH Ke-ahole site (just seaward of the U.S. Coast Guard lighthouse) to a depth of about 3,000 feet. The result of one of these profiles is given in the illustration.

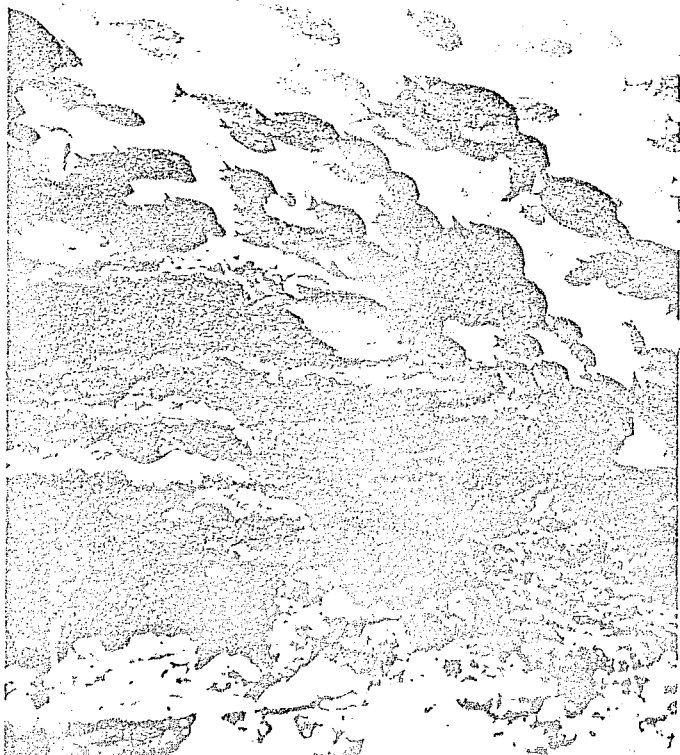
The bottom slope from about the 450-foot depth contour to the 3,000-foot depth was between 25° and 30°. This steep slope was also investigated visually to a depth of 400 feet using the STAR II submersible in order to determine the

Detailed Bathymetry



characteristics of bottom material and roughness. The bottom of the major slope region was generally hard basalt covered by a thin layer of sand. The bottom slope was smooth, with a few rock outcroppings and channels occurring at the 450-foot depth where the major slope begins. Very little benthic life and no precious corals were observed.

**The Biota.** Visual and quantitative surveys have been made of the larger invertebrates, the species composition of corals and echinoderms, and reef physiography. The overall species composition was similar to that of other areas of the Kona coast. Differences noted at the various study areas around the Point were attributed to changes in exposure,



Surgeon Fish, 100 feet depth, off Ke-ahole Point.

depth, and substrate factors. These differences were predictable and serve as indicators of environmental variation.

One hundred twenty species of reef fishes were recorded within the four study regions at Ke-ahole Point. The fishes range in size from less than one inch to over six feet. An equally wide range of feeding types, activity patterns, body colors and shapes characterized the Ke-ahole fish fauna. A comparison of Ke-ahole with West Hawaii fish assemblages at other stations indicates no significant difference.

The micromollusk assemblages represent sensitive indicators of a variety of environmental parameters in benthic marine communities. Those studied at Ke-ahole Point indicate an absence of eutrophic, silty-sand, and anaerobic conditions, and of freshwater intrusions. Thus the indicators imply active currents, well mixed oxygenated water, and no significant amount of freshwater inflow.

## WINDS AND SKY

The Ke-ahole area is located on the southwestern or Kona (lit. leeward) side of the island of Hawaii. Because of the relatively large land mass of this island, diurnal onshore-offshore breezes are observed. They are not significant on any of the other Hawaiian Islands. The daytime onshore breeze causes clouds to build up against Mt. Hualalai at altitudes between 2,500 and 4,000 feet. Along the coastline, however, the sky is relatively cloud-free most of the year. During 1972, only 22 days with significant amounts of cloud cover were reported from the Ke-ahole Airport. Rainfall, which is correlated with cloud cover, is also low for this area. Predominant wind speeds are between 8 and 10 knots principally from the southwest sector. Occasional winter storms which approach the islands from the southwest can cause rough surf conditions and locally heavy rain for brief periods.



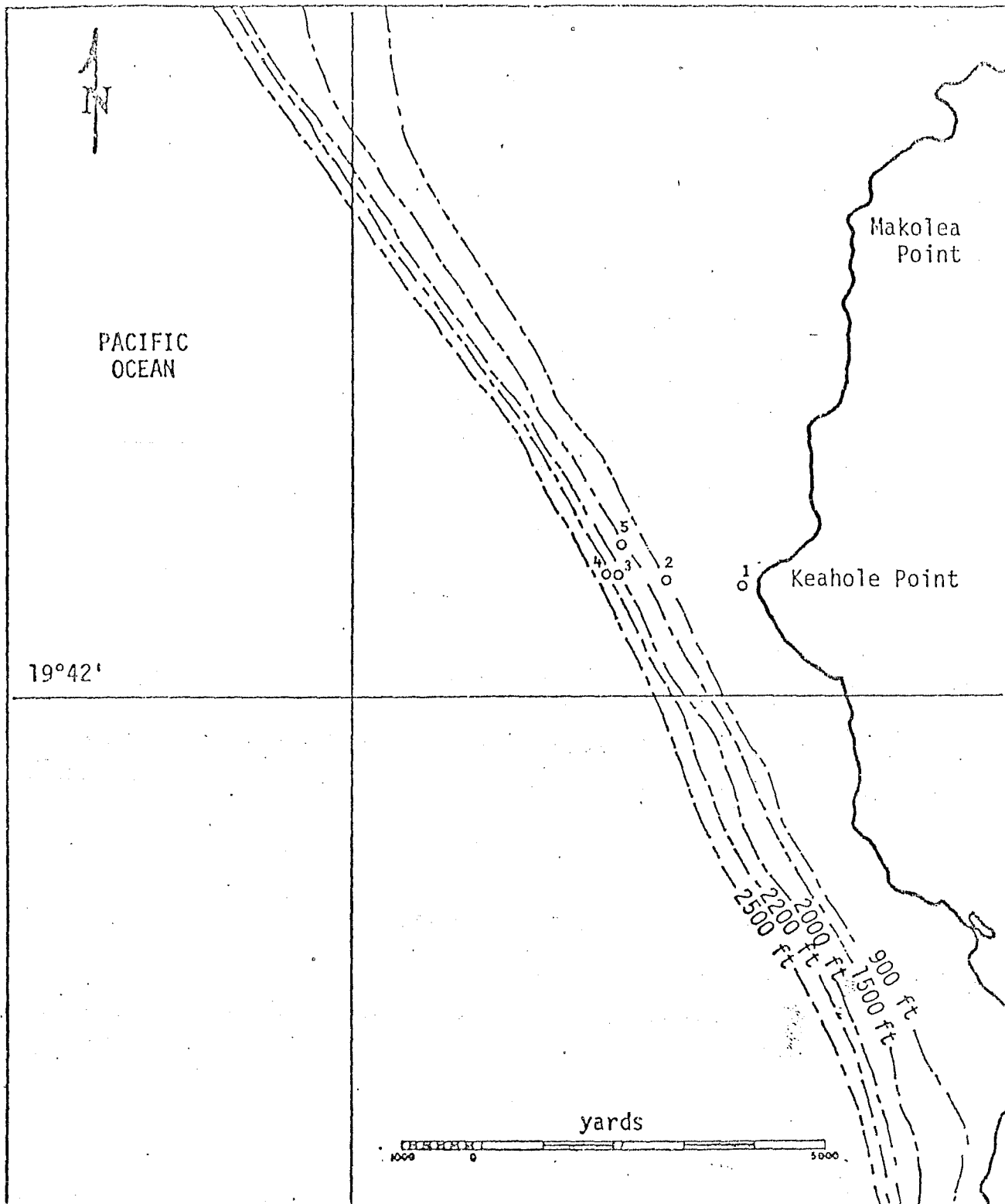


Fig. 1.2-1 SURVEY STATION LOCATIONS FOR FIELD PROGRAM

TABLE 3.1-1

SUMMARY OF NEARSURFACE AND BENTHIC CURRENT METER OBSERVATIONS,  
KEAHOLE POINT, HAWAII, SEPTEMBER-OCTOBER 1977

Station/Depth	Observation			Current Speed (knots)		Current Direction (° mag)		Net Flow		Tidal Direction	
	Date	Total Time (hrs)	Depth (ft)	Range	Mode	Range	Mode(s)	Direction	Speed (knots)	Ebb	Flood
1/110	9/18-9/19	28.3	51	0.0-0.5	0.1-0.2	0-360	185	S	0.03	VAR	S
	9/23-10/1	187.8	51	0.0-0.9	0.1-0.2	0-360	215	SSW	0.09	VAR	VAR
	10/1-10/2	22.5	51	0.0-0.6	0.1-0.2	0-360	200	SSW	0.09	ESE	SSW
	10/15-10/16	31.7	51	0.3-2.1	0.5-0.6	165-225	185	SSW	0.90	SSW	S
2/900	10/16	7.5	30	0.3-1.0	0.6-0.7	125-175	140	SE	0.62	SE	-
	10/16	7.6	896	0.0-0.4	0.0-0.1	0-360	215, 320	WSW	0.01	SW	NE
5/1500	10/2	2.2	30	0.2-0.7	0.4-0.5	295-355	325	NNW	0.49	-	NNW
	10/2	2.2	1496	0.0-0.3	0.1-0.2	55-95 175-355	75, 250, 305	WNW	0.06	NW	E
3/2000	10/2	2.8	30	0.1-0.7	0.4-0.5	285-355	335	NNW	0.48	NNW	-
	10/15	5.6	30	0.3-0.9	0.5-0.6	95-155	135	SE	0.69	SE	SE
	10/2	2.8	1996	0.0-0.3	0.1-0.2	75-335	215	S	0.12	SSW	-
	10/15	5.7	1996	0.0-0.4	0.1-0.2	55-285	10	NNE	0.18	NNW	-
4/2200	10/1	5.8	30	0.3-0.7	0.4-0.5	285-355	300	NW	0.51	NNW	NW
	10/1	5.0	2196	0.0-0.5	0.1-0.2	15-355	140	SSE	0.09	W	SE

KHB

III-254

TABLE 3.2-1  
 SUMMARY OF THE THERMAL RESOURCE AND VARIATIONS  
 OBSERVED IN SITU OFF KEAHOLE POINT, HAWAII, OCTOBER 1977

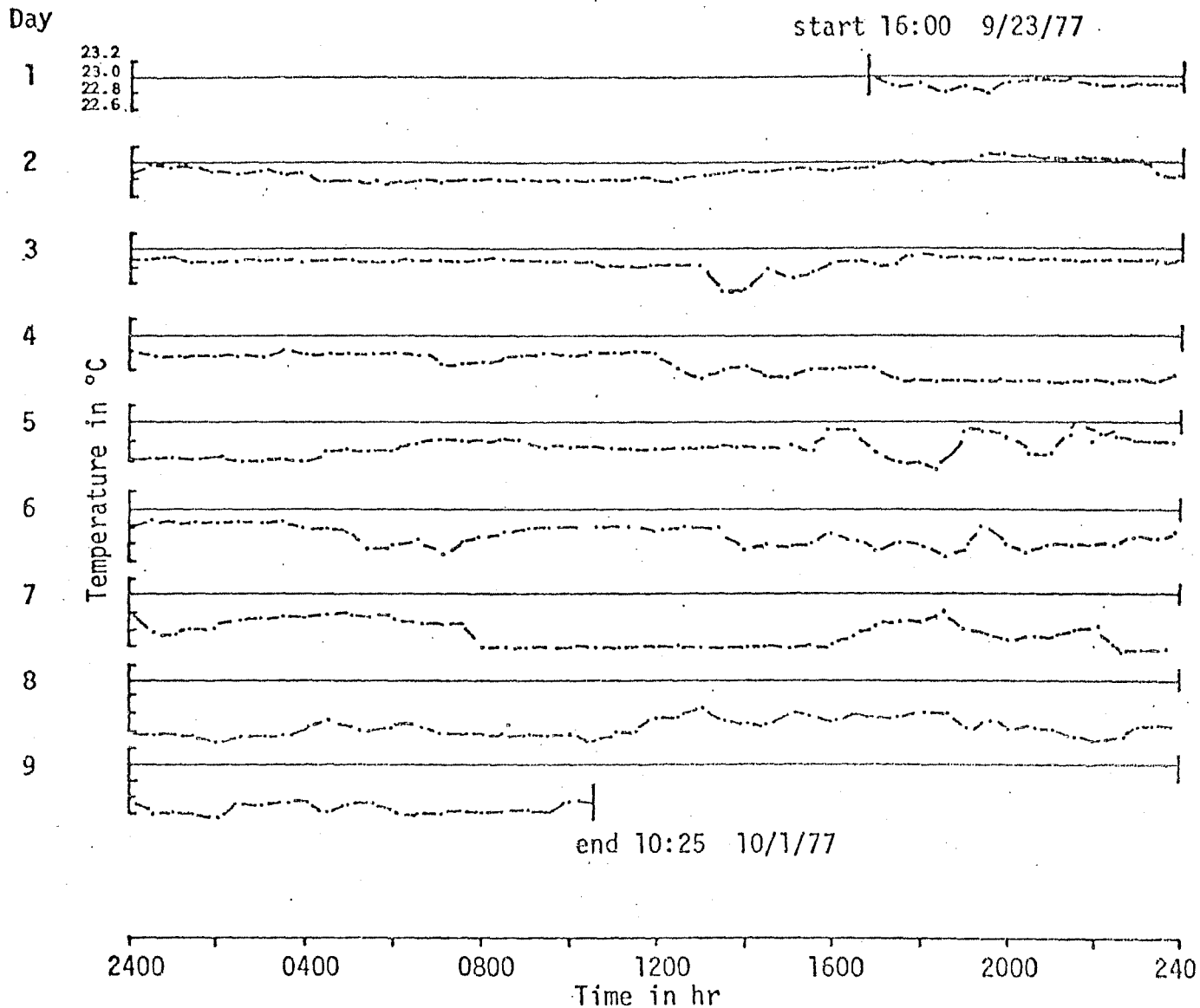
Station	Approx. Depth (ft)	Total Time (hrs)	Temperature Range (°C)	Variation (°C)	Thermal Resource Surface to Depth* (ΔT-°C)		Variation in Δt (°C)
					min	max	
1	70	188.6	22.48° - 23.20°	0.72	-	-	-
2	900	7.6	9.66° - 10.23°	0.57	12.25°	13.54	1.29
5	1500	2.2	6.00°	0.0	16.48	17.20	0.72
3	2000	2.8	5.30° - 5.38°	0.08	17.10	17.90	0.80
		(2 wks separation) 5.7	5.62° - 5.75°	0.13	16.73	17.45	0.72
4	2200	5.0	5.05	0.0	17.43	18.15	0.72

\*Note - Water temperatures at Station 1 were, when compared with historical data, during the observational period. This was believed to be due to extensive cloud cover from volcanic eruptions on Hawaii several days in progress at the time data were taken.

III-255

KIIB





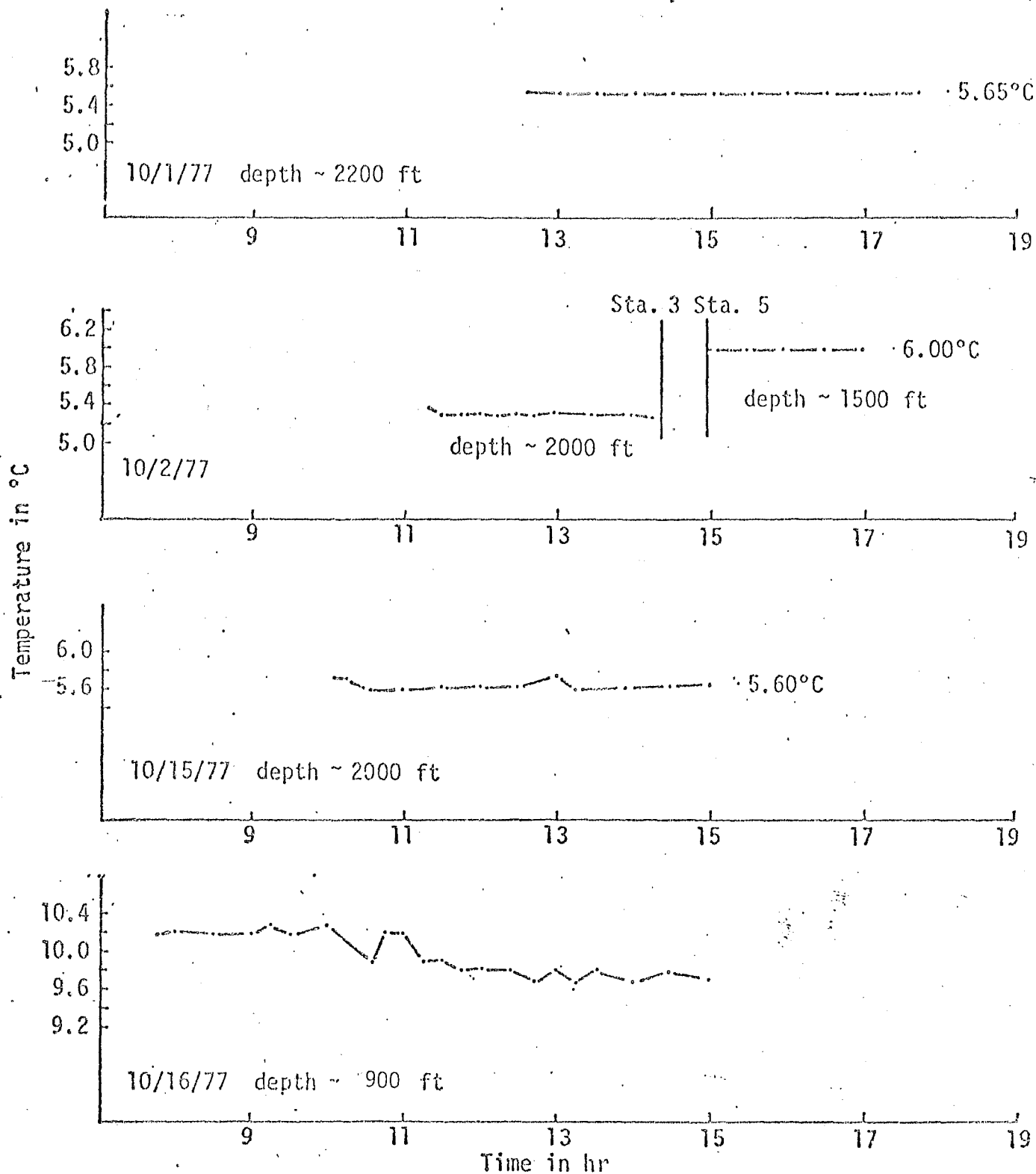
Summary Statistics:

Maximum surf  $\Delta t$  in 24 hrs =  $0.35^{\circ}\text{C}$   
 Overall surf  $\Delta t$  in 9 days =  $0.42^{\circ}\text{C}$   
 Maximum rate of change =  $0.15^{\circ}\text{C/hr}$

STATION 1: KEAHOLE POINT

From 09:00 9/23/77 to 10:25 10/1/77  
 51 ft in 110 ft

Fig. 3.2-1 WATER TEMPERATURE HISTORY



Note: Temperatures  $\pm 0.03^\circ\text{C}$

Fig. 3.2-2 WATER TEMPERATURE HISTORY.  
STATIONS 2, 3, 4, & 5

T A B L E I

MONTHLY WEATHER DATA - CHARACTERISTIC CONDITIONS

MONTH	CLOUD COVER (TENTHS)	TEMPERATURE (° C)			WIND SPEED (M/SEC)
		Sea water	Air	Wet Bulb	
JAN	5	24.9	25	21	4.1.
FEV	7	24.4	24	21	4.1
MAR	6	24.0	26	22	4.6
APR	5	24.7	26	22	4.1
MAY	7	25.4	28	23	3.6
JUN	7	25.8	28	23	2.6
JUL	7	26.0	27	23	3.1
AUG	6	26.7	28	24	3.1
SEP	6	27.9	28	24	4.1
OCT	6	26.8	28	24	4.1
NOV	6	26.2	27	23	4.1
DEC	4	25.7	27	23	4.1

ANNEXE 3

HAWAII

Relevés annuels de température (Fig. 3, 4 et 5)

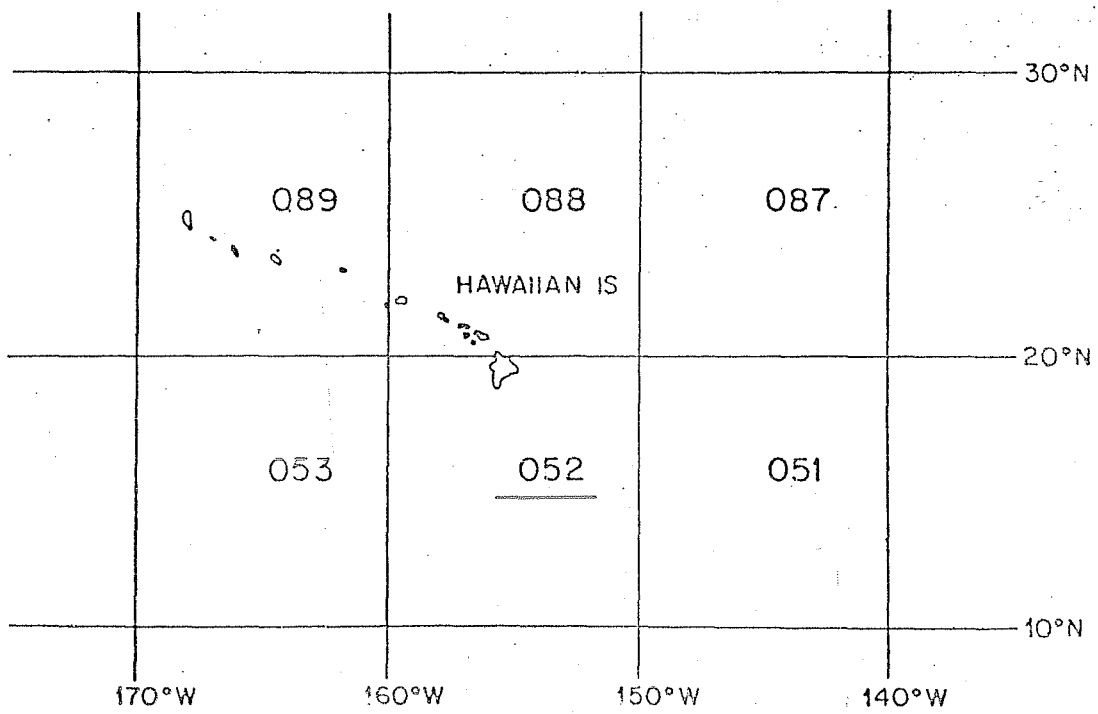
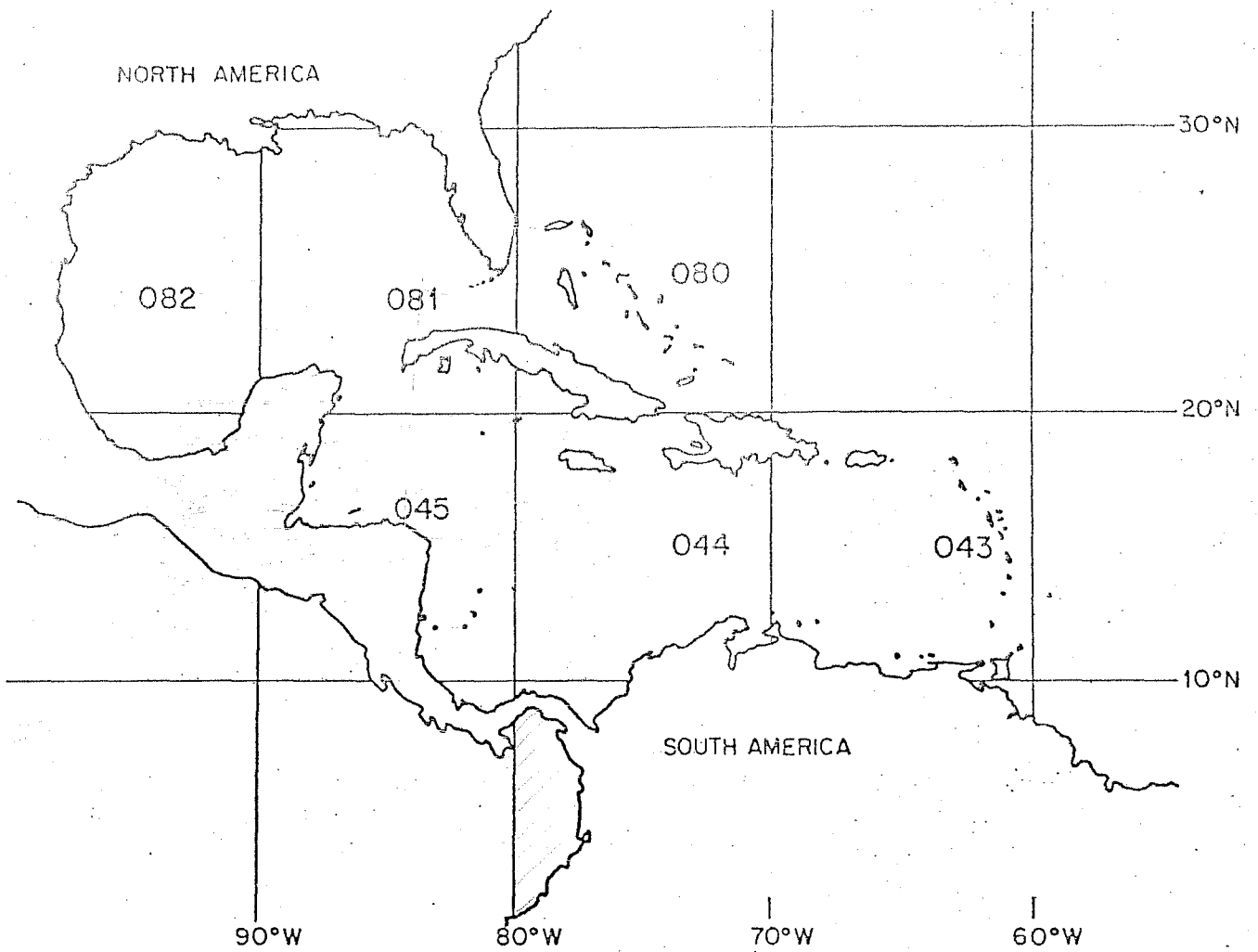


Figure 1. Marsden Square Identification

PMW

111-30

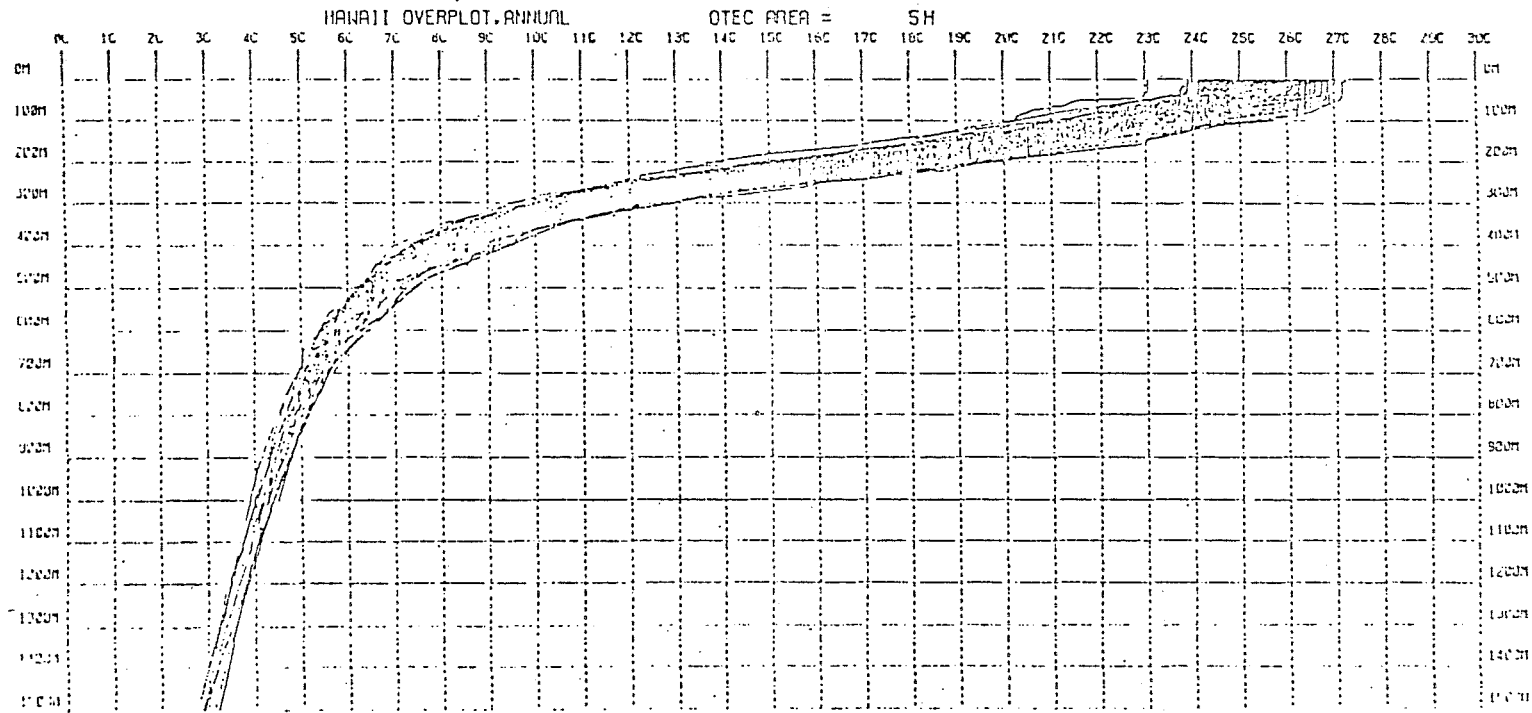


Figure 3: Annual Overplots (Purged)

HAWAII AREA 5-H MONTHLY DELTA T CONTOUR

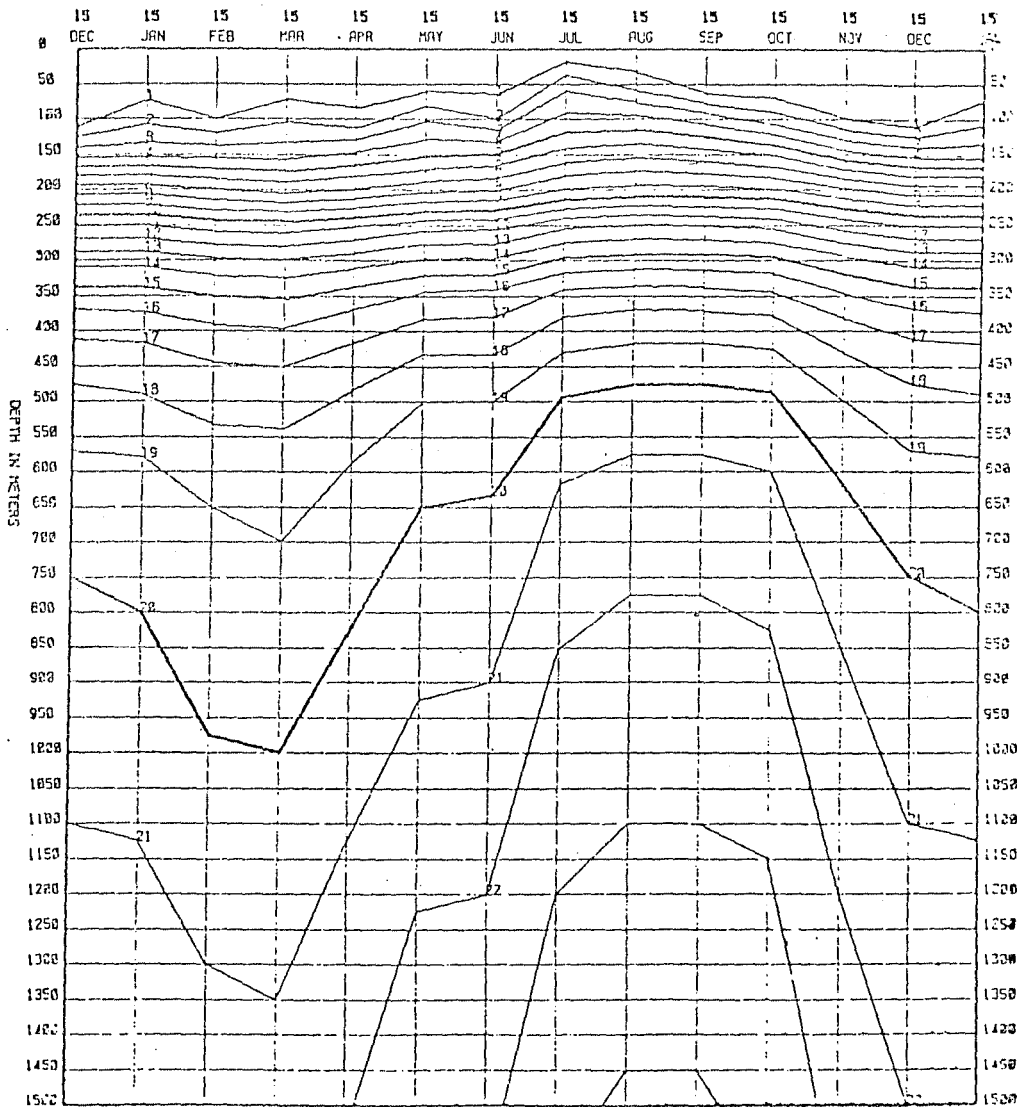


Figure 4: SURFACE TEMPERATURE-TEMPERATURE AT DEPTH DIFFERENTIAL ( $^{\circ}\text{C}$ ) BY MONTHS. 5H. (Minimum depth in area=0m; maximum depth=4900m)

ARM

IX-225

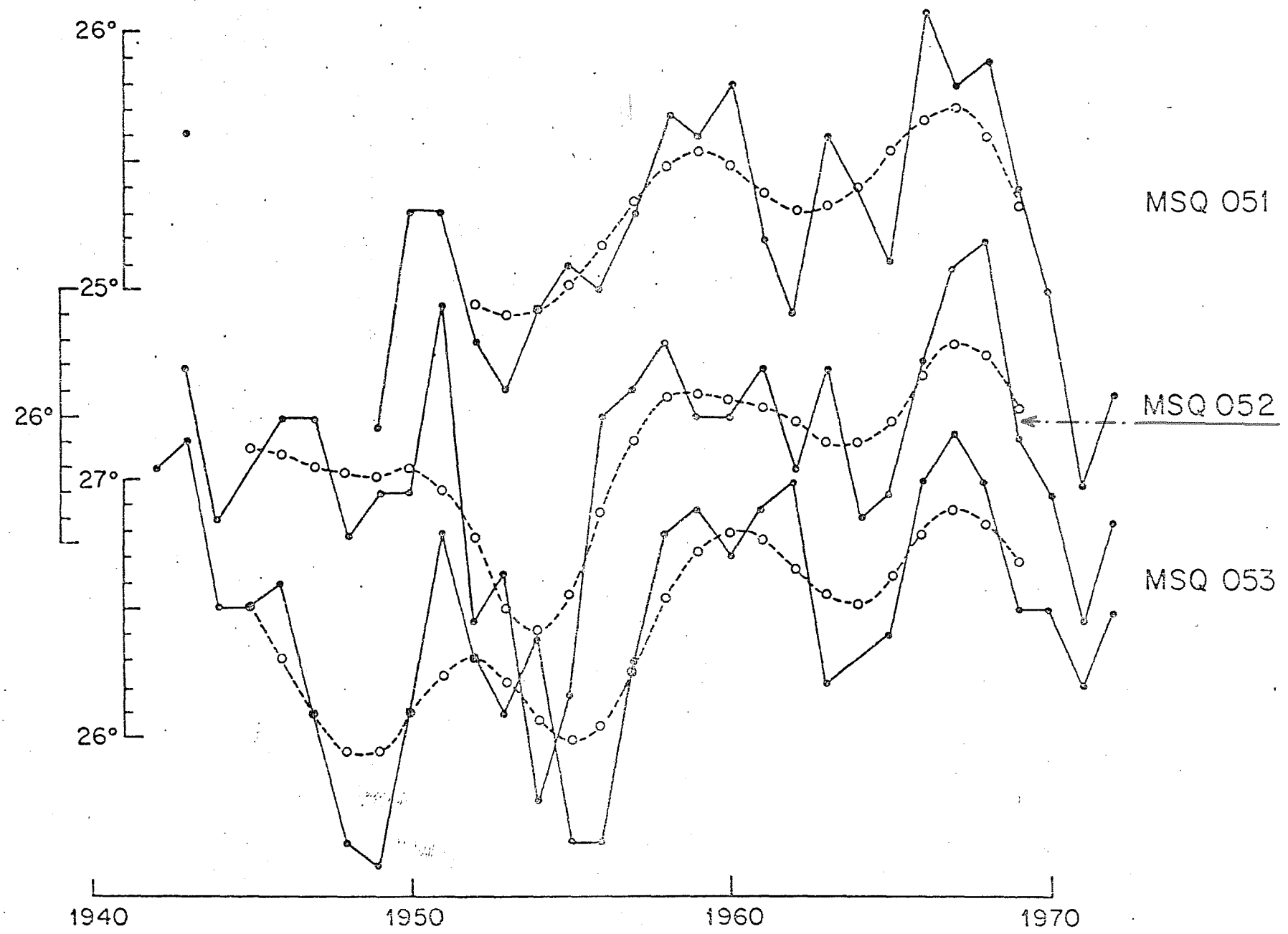
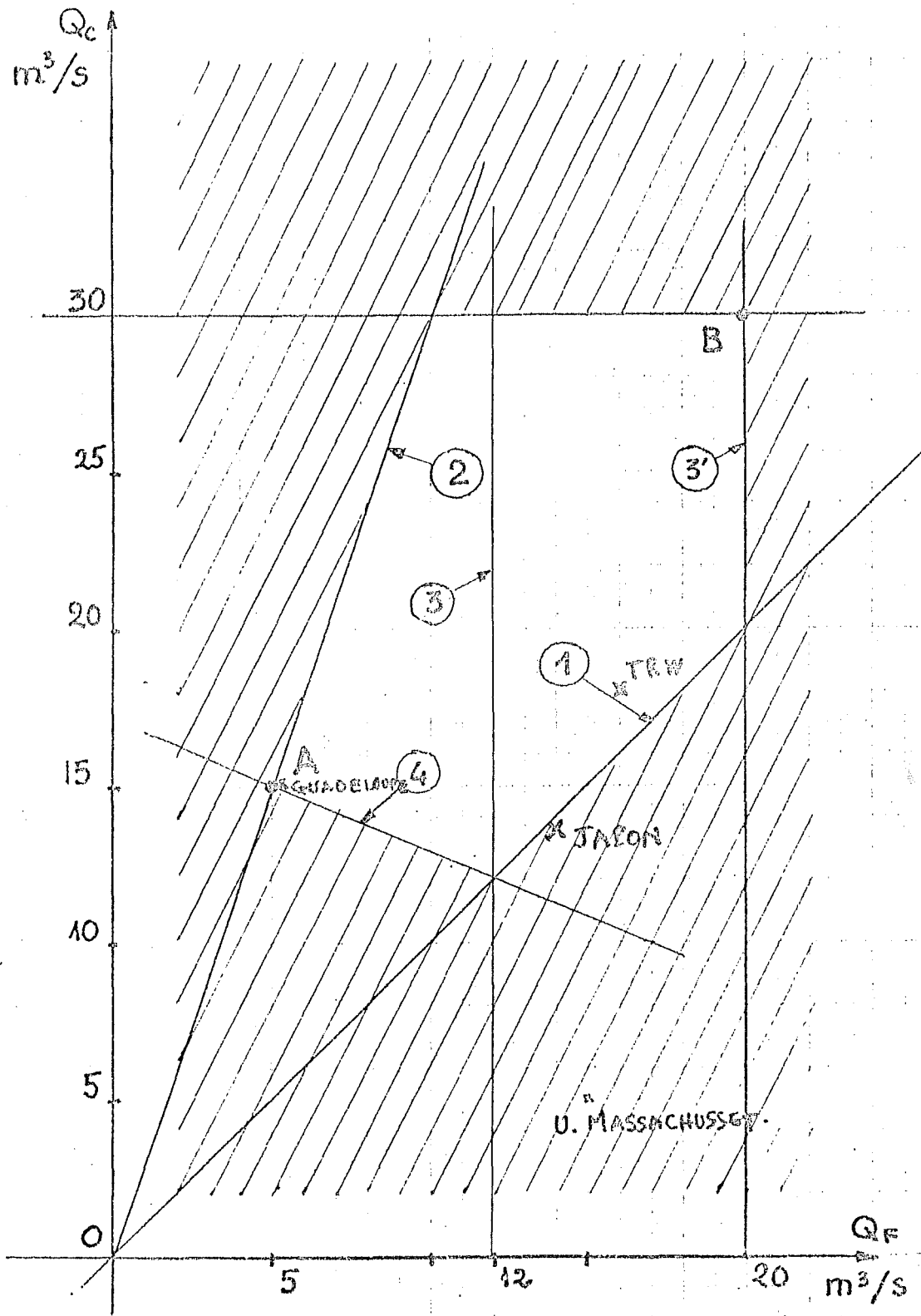


Figure 5. Progression of annual sea surface temperatures, Hawaiian waters, Southern part.





DELIMITATION du CHAMP des DEBITS D'EAU FROIDE et d'EAU CHAUDE  
 ( $Q_F$ ) ( $Q_C$ )  
 POUR une CENTRALE E.T.M. de 5 MW sur l'ARBRE de la TURBINE.

CYCLES ETAGES - Les figures ci-jointes illustrent l'intérêt qu'il peut y avoir à recourir à des condensations étagées si l'on adopte une valeur faible pour le débit d'eau froide  $Q_F$ .

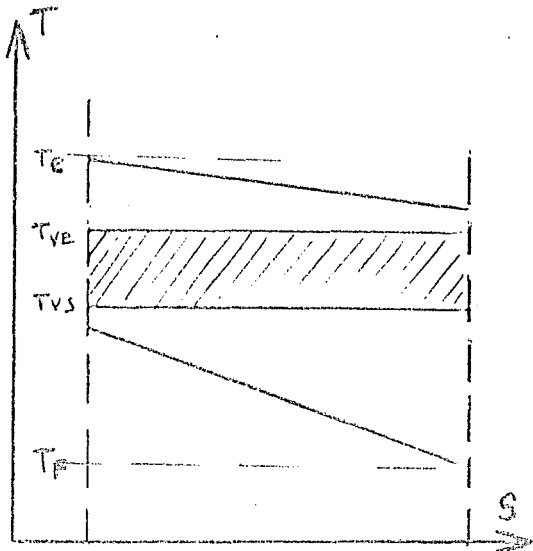


fig a

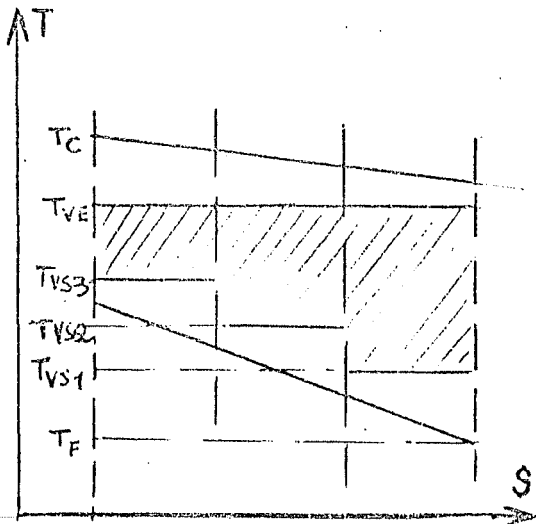


fig b

La figure a/ représente, en diagramme T.S. l'évolution des températures et le cycle turbine (rectangle hachuré) dans le cas d'une évaporation et d'une condensation à un seul étage et par conséquent d'un flux unique de vapeur.

En raison de la forte élévation de température de l'eau froide à travers le condenseur le faible débit  $Q_F$  se traduit par une différence de température ( $T_{VE} - T_{VS}$ ) qui peut devenir inacceptable du point de vue de la turbine et du rendement de cycle.

La figure b/ représente le même diagramme mais avec condensation à 3 étages: le flux de vapeur issu de l'évaporateur est partagé en trois flux qui sont turbinés et condensés en parallèle, la condensation s'opérant sur trois étages "en série" de la circulation de l'eau froide.

Les écarts de température  $T_{VS1} - T_{VE}$ ,  $T_{VS2} - T_{VE}$ , disponibles sur les deux premières turbines partielles, sont notablement accrus par rapport au cas précédent. L'amélioration du rendement de cycle est illustrée par la comparaison de l'aire hachurée avec celle de la figure précédente.

La disposition à condensation étagée (prévue par G. CLAUDE puis par la Sté E.D.M.) contraint à l'utilisation d'une turbine cloisonnée. La complication qui en résulte doit être mise en balance avec les avantages d'un circuit d'eau froide à faible débit. Cette disposition s'applique aussi bien au cycle direct qu'au cycle indirect.

La même idée pourrait évidemment s'appliquer à un fractionnement de l'évaporation, mais ceci paraît a priori moins intéressant, la réduction du débit d'eau chaude n'étant pas aussi "attractive" que celle du débit d'eau froide.

o o o

