

JEAN PIERRE GIBERT
Laboratoire de Petrographie-Volcanologie
Université Paris XI

SERGE PAUL
Laboratoire d'Aérométhodes
UER de Géographie, Université Paris VIII

Teledetekcja lotnicza w badaniach zjawisk geotermicznych w Chaudes-Aigues (Cantal, Francja)

WSTĘP

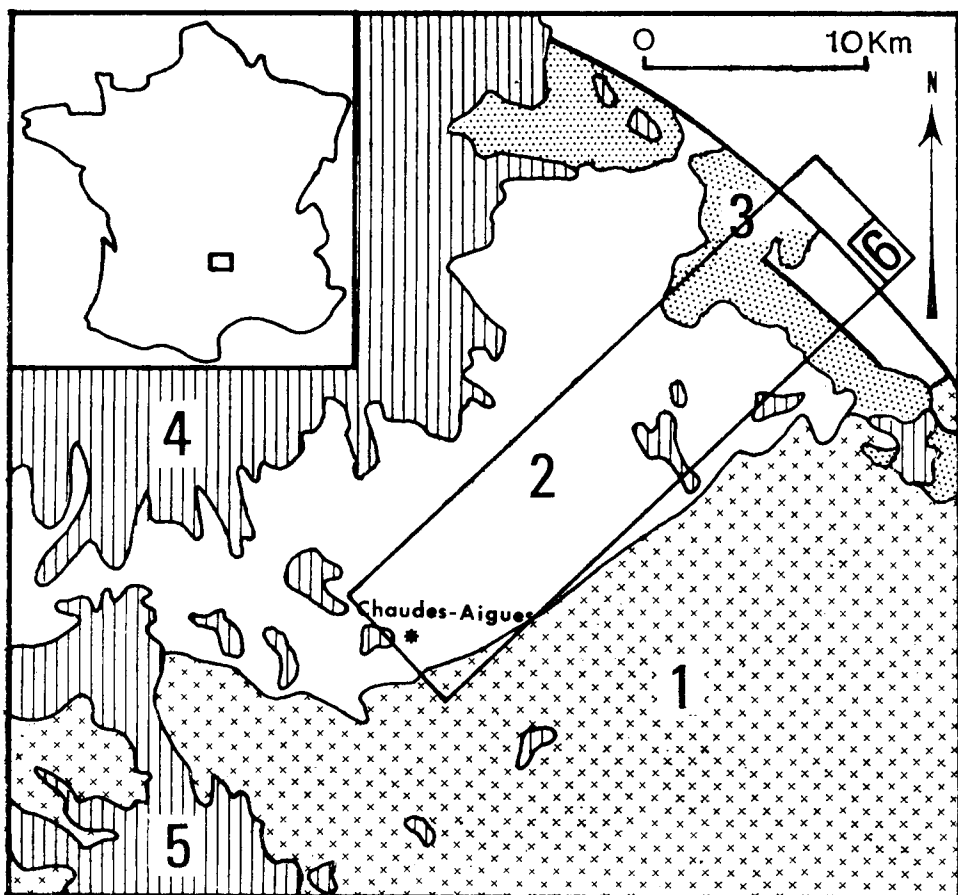
Obszar wpływow wód termalnych w Chaudes-Aigues, gdzie znajduje się najcieplejsze źródło naturalne we Francji (80°C), jest położony w środku francuskiego Masywu Centralnego pochodzącego z okresu hercyńskiego, odmłodzonego w orogenezie alpejskiej.

Z geograficznego punktu widzenia region otaczający stację termalną Caldaguez tworzy wysokie plateau (ryc. 1), wzniesione na wysokość 1000 m n.p.m., rozcięte głębokimi dolinami rzecznyymi, z których główną jest dolina rzeki Truyère, biegnąca ze wschodu na zachód. Lewym dopływem Truyère jest rzeka Remontalou o południowo-północnym przebiegu, nawadniająca Chaudes-Aigues (wys. 750 m). Klimat ma charakter umiarkowanie chłodnowilgotny, ze średnim rocznym opadem atmosferycznym 800 mm na wyżynach i 1000 mm na okolicznych szczytach masywu wulkanicznego: Aubrac i Cantal oraz zrębu Margeride (G a u s s e n, 1948), co pozwala na rozwój trwałej szaty roślinnej trawiastej na wyżynach i łagodnych zboczach, lesistej na stokach dolin o ekspozycji północnej i krzewiastej na stokach o ekspozycji południowej.

Na obszarze wpływu występuje 30 źródeł, które są zlokalizowane w środku regionu w serii krystaliczno-lupkowej Truyère (L a p a d u -H a r g u e s, 1951; R e s t i t u i t o, 1971). Seria ta, zdecydowanie gnejsowa, przebiega się między neogeńskimi masywami wulkanicznymi Cantal i Aubrac od północy i zachodu (ryc. 2) oraz wielkim kompleksem grani-



Rys. 1 Wycinek arkusza mapy topograficznej 1 : 50 000 Chaudes-Aigues
 Fig 1. Extrait de la feuille topographique à 1/50 000 de Chaudes-Aigues (document IGN-France)



Ryc. 2. Szkic lokalizacji obszaru wypływu wód gorących Chaudes-Aigues, na podstawie uproszczonej mapy geologicznej:

1 — kompleks granitowy Margeridy; 2 — seria krystalicznolupkowa Truyère; 3 — basen zapadliska wypełniony utworami oligocenu St. Flour-le Malzieu; 4 — skały wulkaniczne neogénskiego masywu Cantal; 5 — skały wulkaniczne neogénskiego masywu Aubrac; 6 — położenie modelu termosyfonu (vide ryc. 8) w postaci blokdiagramu zaznaczonego w postaci prostokąta

Fig. 2. Croquis de localisation de l'aire d'émergence d'eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues, sur fond de carte géologique simplifié:

1 — complexe granitique de la Margeride; 2 — série cristallophyllienne de la Truyère; 3 — bassin d'effondrement, à remplissage oligocène, de St Flour-le Malzieu; 4 — roches volcaniques du massif néogène du Cantal; 5 — roches volcaniques du massif néogène de l'Aubrac; 6 — emplacement du modèle de termosiphon présenté en figure 8, sous forme de bloc-diagramme dont n'est tracé ici que le rectangle de base

towym Margeride na południu i basenem zapadliskowym, wypełnionym utworami oligocenijskimi St. Flour-Malzieu na wschodzie. Badania geotermiczne tego obszaru są interesujące ze względu na fakt, że samo zjawisko wypływu gorących wód jest połączone ze szczególnym położeniem geologicznym regionu znajdującego się w sąsiedztwie wielkich neogénskich masywów wulkanicznych: Cantal (2700 km²) i Aubrac (500 km²)

Parametry techniczne teledetekcyjnych serii badawczych przeprowadzonych w rejonie Chaudes-Aigues
Tableau des caractéristiques des différentes campagnes de télédétection sur la région de Chaudes-Aigues

Seria badawcza (Campagne)	Nalot (Vol)	Typ samolotu (Type de vecteur aérien)	Data nalotu (Date de passage)	Godzina, początek rejestracji (Heure, début enregistrement)	Kierunek lotu (Direction de navigation)	Wysokość lotu (Alt. de vol) [m]	Typ detektora (Type de capteur)	Okno elektromagnetyczne (Fenêtre électromagnétique)	Rozdzielczość terenowa (Résol. au sol)	Pokrywa chmur (Couverture nuageuse)	Badania naziemne (Postes au sol)	Uwagi (Observations)
I	1	HD 34 IGN	22/07/70	15 h 52	NW-SE	2650	CYCLOPE SAT (a)	IRT	8,5	3/8	nie non	nalot technologiczny (vol technologique)
II	2	Samolot wojsk lotniczych (Avion de l'Armée de l'air)	05/12/72	14 h 57	N 330°	3900	RAAL-EMI (b)	fale milimetrowe (Ondes millimétriques)	—	7/8	nie non	
III	3	HD 34 IGN	22/10/73	19 h 01	N 180°	1900	CYCLOPE SAT (a)	IRT	5	0/8	2	
				19 h 16	N 270°							
				19 h 33	70°							
	4	HD 34 IGN	23/10/73	05 h 28	N 180°	1900	CYCLOPE SAT (a)	IRT	5	1/8	2	trochę mgły w głębi dolin (un peu de brume au fond des vallées)
				05 h 39	N 270°							
				05 h 50	70°							
	5	HD 34 IGN	25/10/73	11 h 48	N 75°	1900	DAEDALUS Honeywell (c)	widzialna i bliska podczerwień (visible et proche IR)	2,5	0/8	2	
				12 h 09	N 270°		HASSELBLAD (d)					
				12 h 34	N 90°							
					N 180°							
				N 360°								
IV	6	Pilatus LMD	20/04/74	05 h 25	NE-SW	4900	Radiomètre LMD CNRS (e)	IRT	40	0/8	2	
05 h 36	N-S											
05 h 52	NW-SE											

Małe litery w nawiasach (a, b, c, d, e) dotyczą odpowiednich charakterystyk detektorów omówionych w tab. 2.

Les lettres minuscules entre parenthèses (a, b, c, d, e) font référence aux caractéristiques des capteurs qui sont reportées en tableau 2.

Używane skróty (Abréviations utilisées):

CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique;

EMI: Emi Electronics Ltd;

IGN: Institut Géographie National;

IR: Infrarouge;

IRT: Infrarouge thermique;

LMD: Laboratoire de Météorologie Dynamique;

RAAL: Radar à antennes latérales;

SAT: Société Anonyme de Télécommunication.

Charakterystyka rejestratorów pokładowych
Tableau des caractéristiques des capteurs embarqués

Kamera fotograficzna (Chambres Photographiques)	Kąty pola widzenia (Angles de champ)	Format obrazu (Format image)	Optyka obiektywu (Optique de prise de vue)	Film (Emulsion)
(d) HASSELBLAD 500 EL	70	55 × 55	f : 50 mm 1/3,5	IR couleur Kodak 2443
	40	55 × 55	f : 10 mm 1/3,5	Panchromatique Kodak 2402

Detektory pasywne (Capteurs passifs)	Liczba obrotów lustra na sekundę (Nb. t/s du miroir)	Rozdzielczość terenowa (Résol. spatiale) [m]	Rozdzielczość termiczna (Résol. thermique) [°C]	Kąt pola widzenia (Angle de champ) [°]	Zakres spektralny (Bande spectrale) [µm]	Nośnik informacji (Support information)	Uwagi (Remarques)
(a) CYCLOPE	72	5	0,25	120	3—5	taśma magnetyczna (bande magnétique)	automatyczna kompensacja danych (compensation automatique de gain)
(e) LMD	1	10	0,10	90	10,5—12,5	taśma magnetyczna (bande magnétique)	wzorzec ciała czarnego (corps noir de référence)
(c) DAE-DALUS	80	2,5	+	87,20	0,38—1,10	taśma magnetyczna (bande magnétique)	spektrum wielokanałowe (10) (spectro multicanal) (10)

+ : Minimalna różnica względnego odbicia: $3\% < Ne\Delta\rho \leq 0,2\%$

+ : Différence de réflectance relative minimale

Detektor aktywny (Capteur actif)	Zakres spektralny (Bande spectrale) [MHz]	Szerokość impulsów Largeur d'impulsion [n sec.]	Krzywka anteny horyzontalnej (Lobe d'antenne horizontal) [m rad]	Nośnik informacji (Support de l'information)
(b) RAAL type P 391	(Ka) : 34,3—35,4	100	3,5	taśma magnetyczna (bande magnétique)

oraz w przedłużeniu strefy o nienormalnym podwyższeniu górnego płaszcza skorupy ziemskiej zbadanej pod Limagne, 50 km na północ od Chaudes-Aigues (Aubert i Perrier, 1971; Perrier i Ruegg, 1973).

W trakcie badań teledetekcyjnych, podczas których zastosowano poszerzoną gamę środków pozyskiwania danych i metod obróbki materiałów fotolotniczych (tab. 2 i zał. I), wykorzystano też wyniki wcześniejszych prac terenowych związanych z opracowaniem map geologicznych, jak również wyniki analiz: strukturalnej (Gibert i in., 1975), hydrologicznej (Bertrand i in., 1977) i geofizycznej tego regionu (Dupis i in., 1977) oraz opracowań laboratoryjnych z zakresu petrografii, geochronologii (Bellon i in., 1975), mineralogii (Gibert, 1978) i geochemii skał i wód. Owe badania teledetekcyjne miały podwójny cel: z jednej strony dostarczenie informacji naukowych, pozwalających lepiej przeanalizować środowisko naturalne wpływów gorących wód w Chaudes-Aigues, z drugiej zaś sprecyzowanie dziedzin zastosowania detekcji lotniczo-elektromagnetycznej i ulepszenie jej technik oraz metod w celu wykorzystania ich w badaniach geotermicznych.

Część I

OD UJĘCIA PRAGMATYCZNEGO DO WYPRACOWANIA OPERACYJNEGO PLANU PRZEPROWADZENIA BADAŃ GEOTERMICZNYCH Z ZASTOSOWANIEM TELEDETEKCJI

W rejonie Chaudes-Aigues bacznią uwagę skierowano na uwypuklenie różnych zjawisk litologicznych, strukturalnych lub ściśle geotermicznych (dodatnie anomalie temperatury powierzchni Ziemi), stosując lotnicze badania elektromagnetyczne. W sumie zorganizowano w tym rejonie cztery serie badawcze, podczas których dokonano 6 nalotów w latach 1970—1974 (tab. 1). Należy nadmienić, że owe serie badawcze przeprowadzono w ramach planu teledetekcji lotniczo-satelitarnej pracującej w paśmie użytkowej podczerwieni termalnej dla poszukiwań i studiów nad przepływem energii w skorupie ziemskiej. W ramach tego planu dokonano też badań w innych regionach świata, a mianowicie: Afryce (Clin i in., 1970), Ameryce Środkowej (Gomez-Valle i in., 1970), Antylach (Guy i in., 1969), Islandii (Friedman i in., 1967; Williams i in., 1968; Palmason i in., 1970), Włoszech (Cassinis i in., 1970; Krafft i in., 1971), Japonii (Hase i in., 1967; Matsuno i in., 1968), Nowej Zelandii (Hochstein i in., 1970; Dawson i in., 1970), Pacyfiku (Fischer i in., 1964), ZSRR (Komarow i in., 1968; Shilin i in., 1969, 1972) i USA (Fischer i in., 1965; McLerran i in., 1965; Miller, 1965; Friedman, 1968; Miller, 1968; Moxham, 1969; White i in., 1969; Blinn i in., 1970; Vincent, 1972; Lyon, 1972). Obiecujące rezultaty osiągnięto w innych rejonach stosując czujniki

RAAL pracujące w różnych pasmach (X, L i Ka) promieniowania mikro-falowego (Blinn i in., 1968; Mac Donald, 1969; Schaber, 1967).

Pierwsza seria badawcza

Pierwsza seria badawcza obejmowała tylko jeden kierunek nalotu (ryc. 3) i stanowiła w 1970 roku pierwszą próbę lotniczego zastosowania czujnika CYCLOPE (tab. 2) na terytorium Francji nad obszarem geotermicznym (Paul, 1971, 1973 a i b, 1974). Rezultaty technologiczne były bardzo zadowalające, jeśli chodzi o pracę samego czujnika i jego systemu odtwarzania (na drodze fotograficznej) danych zarejestrowanych na taśmie magnetycznej (zał. I). Wizualizacja fotograficzna (fot. A) wykazała słuszość stosowania tego radiometru podczas nocnego nalotu celem zmniejszenia zaburzeń promieniowania długofalowego emitowanego oraz wyeliminowania promieniowania odbitego. Ponadto, ten sam materiał fotograficzny potwierdził, że pokrywa chmur, nawet bardzo cienka (w tym przypadku zachmurzenie wynosiło 1/8—2/8), jak też i lekka mgła, przeszkadzają w odczytaniu i interpretacji obrazu. Szczegółowa analiza materiału wykazała konieczność wykonania licznych rejestracji tego samego obszaru geograficznego celem wyeliminowania niektórych zjawisk antropogenicznych (Watson,



Fot. A. Obraz fotograficzny rejestracji dokonanej na taśmie magnetycznej w 1970 r. Próba technologiczna wykonana podczas dnia (15⁴⁵), skaner CYCLOPE-SAT (pasmo spektralne 3—5 μm) i samolot IGN (Hulot-Dubois H-D 34) na wysokości 1750 m. Powierzchnie ciemne odpowiadają strefom mniej zimnym niż powierzchnie jasne, których procent stanowią chmury (N), co jest niezbędne do zapewnienia ciągłości czytania zapisu

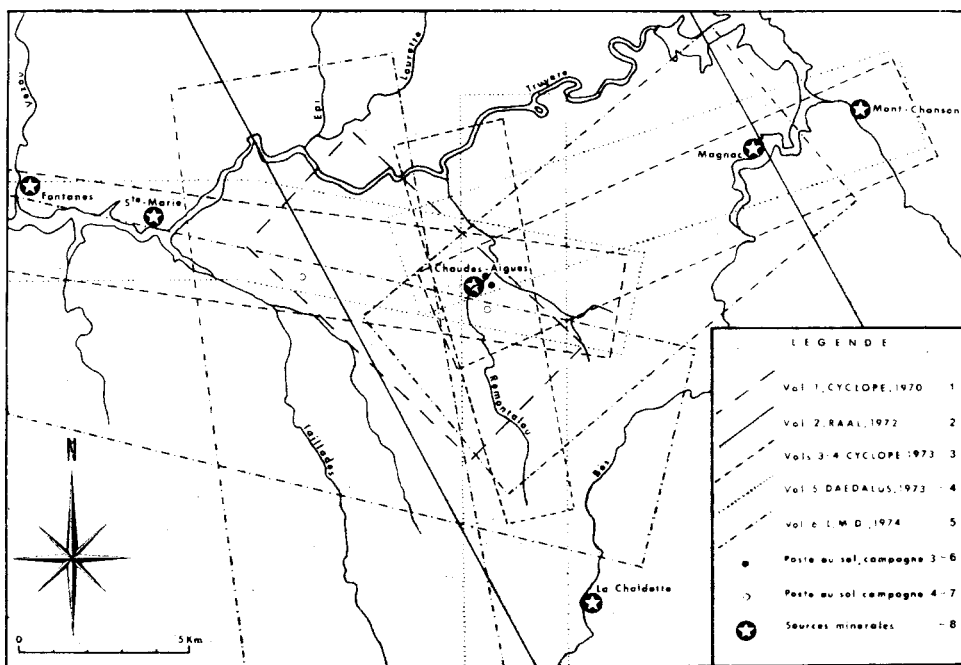
Photo A. Restitution photographique de l'enregistrement, sur bande magnétique, en 1970. Essai technologique, de jour (15 h 45), capteur CYCLOPE-SAT (bande spectrale 3—5 μm) et avion IGN (Hulot-Dubois, H.-D. 34), naviguant à une hauteur moyenne de 1750 m. Les surfaces sombres représentent des aires moins froides que les surfaces claires, dont le pourcentage constitué par les nuages (certaines masses nuageuses parmi les plus importantes sont signalées par des N sur le document) est trop important pour permettre une lecture suivie du document

1974; Cassinis i in., 1970). Podczas następnych serii badawczych, stosujących ten lub inny rejestrator podczerwieni, uwzględniono wyniki owej pierwszej serii obserwacji.

Druga seria badawcza

Obejmowała ona również tylko jeden kierunek nalotu (ryc. 3). Była wyprawą rozpoznawczą w małej skali (1 : 400 000), mającą na celu uzyskanie informacji o obiektach geologicznych za pomocą emitowanych mikrofal. Do tego momentu nie przeprowadzono żadnego eksperymentu z użyciem radaru bocznego wybierania RAAL (tab. 2) nad jakimkolwiek poligonem geologicznym we Francji.

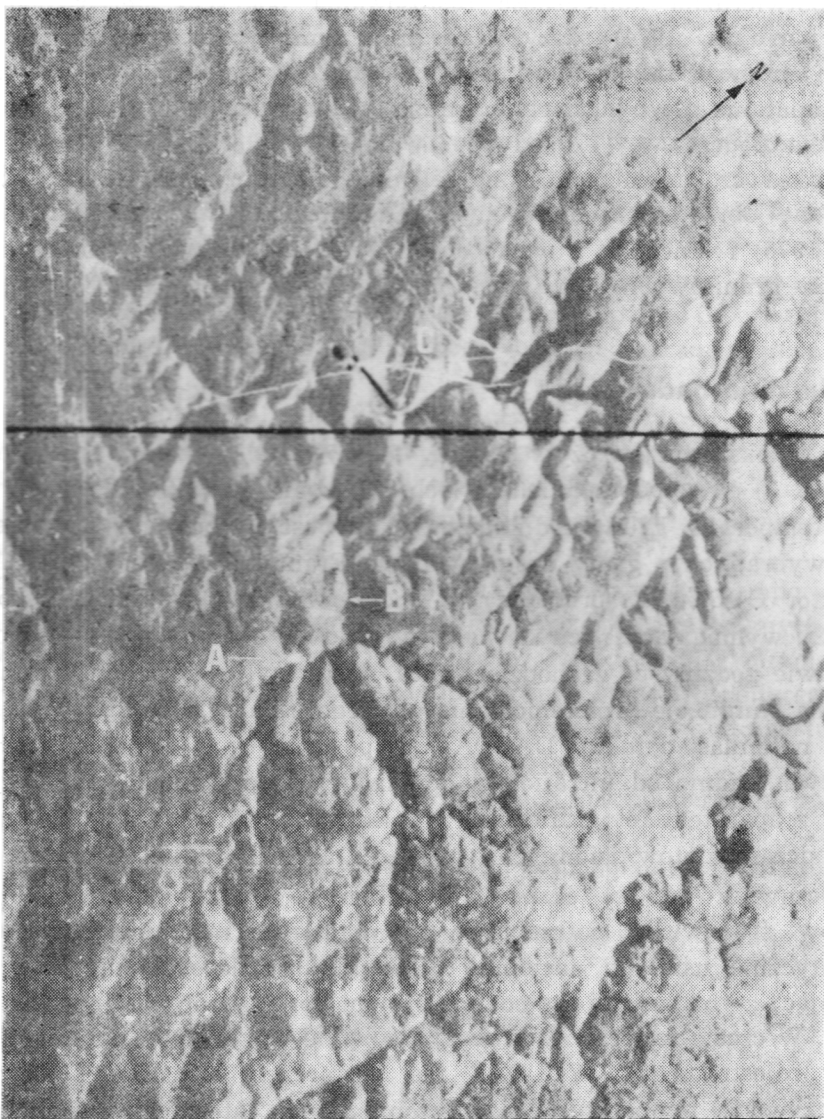
Bardzo dobra jakość wizualizacji fotograficznej (fot. B) danych zarejestrowanych na taśmie magnetycznej (zał. I), mimo znacznego zachmurzenia (7/8), wykazała użyteczność tego typu radiometru w rejonie charakteryzującym się klimatem umiarkowanie wilgotnym. Ponadto, analiza i interpretacja materiału otrzymanego z pojedynczego tylko kierunku na-



Ryc. 3. Zasięg powierzchni objętych rejestracją teledetekcyjną w rejonie Chaudes-Aigues:

1-5 — trasy i zasięgi poszczególnych nalotów badawczych (tab. 1), 6 — naziemne punkty pomiarowe zainstalowane w czasie 3 serii badawczej, 7 — naziemne punkty pomiarowe zainstalowane w czasie 4 serii badawczej, 8 — źródła mineralne

Fig. 3. Tracé des surfaces couvertes, au sol, par les enregistrements de télédétection, dans le secteur de Chaudes-Aigues



Fot. B. Postać fotograficzna zapisu RAAL powiększenia filmu 70 mm (dokument francuskich Wojsk Lotniczych). Poprzeczne linie odniesienia są w odstępach 12 km. Kilka błędów obrazu wzdłuż Truyère występuje też na oryginalnym negatywie:

A — Chaudes-Aigues, **B** — rzeka Remontalou, **C** — rzeka Truyère, **D** — południowo-wschodnia część wyżyny bazaltowej Cantal, **E** — granity Margeride

Photo B. Visualisation photographique de l'enregistrement RAAL, par agrandissement du film 70 mm. (document Armée de l'Air française). Les lignes de références transversales sont à intervalles de 12 km. Les quelques défauts sur l'image, le long de la vallée de la Truyère, existent aussi sur le négatif original:

A — Bourg de Chaudes-Aigues, **B** — Remontalou, rivière, **C** — Truyère, rivière, **D** — Plateaux basaltiques du sud-est du Cantal, **E** — Granite de la Margeride

lotu potwierdziła konieczność zastosowania pokrycia stereoskopowego (K o o p m a n s, 1974) skrzyżowanego z tym typem nadawczo-odbiorczym, ponieważ każda struktura równoległa lub prawie równoległa do linii omiatania nie była dostatecznie zarejestrowana. Ale takiego właśnie pokrycia podczas tej ekspedycji nie można było uzyskać, bowiem ta seria badawcza miała poszerzony cel metodologiczny i rejestrowała różnicowane obiekty naziemne, np.: wulkanizm Mont Dore (Brousse i in., 1975) i łańcucha Puys (P a u l, 1976) lub cechy geomorfologiczne cokołów granitowych (C o q u e i in., 1977).

Trzecia seria badawcza

Na tę ekspedycję złożyły się trzy naloty (tab. 1) wzdłuż tych samych osi (ryc. 3) co w poprzednich seriach, rozłożone na cykl obserwacji nocnych temperatur z uwzględnieniem właściwości dwóch różnych detektorów, wybranych z gamy dostępnych we Francji (L a i d e t i in., 1974). Detektor CYCLOPE, pracujący w podczerwieni w przedziale 3—5 μm (tab. 2), wymagający nocnych nalołów na dwie godziny przed wschodem i na dwie godziny po zachodzie słońca, dostarczył materiałów pozwalających na eliminację promieniowania odbitego (P a u l, 1973 a; W a t s o n, 1974), natomiast detektor DAEDALUS, posiadający 10 kanałów rozszczepiających widmo od ultrafioletu do bliskiej podczerwieni (tab. 2), połączony z aparatem fotograficznym Hasselblad służył do ustalania położenia podczas nalołów dziennych.

Począwszy od tej ekspedycji, celem uzyskania fizycznych parametrów środowiska potrzebnych do badań termodynamicznych, systematycznie ustalano naziemne posterunki pomiarowe (zał. II) współdziałając z badaniami teledetekcyjnymi prowadzonymi podczas nalołów. W czasie tej serii badawczej względne wartości termoradiacji wykryte rejestratorem CYCLOPE nie dostarczyły właściwej informacji o rzeczywistej temperaturze powierzchni ziemi. Zatem pomiary temperatury, ciśnienia atmosferycznego i wilgotności pozostały do konkretnego określenia i wyjaśnienia wpływu czynników mikroklimatycznych na ich przestrzenny rozkład. W czasie tej serii badawczej zainstalowano jedynie dwa naziemne posterunki pomiarowe. Oczywiście, byłaby przydatna większa ich liczba, ale ograniczone środki zarówno kadrowe, jak i techniczne, nie pozwoliły na rozszerzenie prac w tym kierunku.

Ponadto pierwsza faza analizy materiałów zebranych podczas tej ekspedycji wykazała konieczność systematycznego podejmowania wypraw na ten teren, w celu uczytelnienia faktów i zjawisk geologicznych wykrytych za pomocą teledetekcji.

Czwarta seria badawcza

Radiometr podczerwieni (tab. 2) z Laboratorium Meteorologii Dynamicznej (LMD) (M o n g e i in., 1971), który zainstalowano na pokładzie samolotu wolno latającego i odbywającego lot po osiach zbliżonych do poprzednich (ryc. 3), został użyty do badania obiektu geotermicznego po raz pierwszy. Zarówno długość zastosowanego promieniowania termalnego (10,5—12,5 μm), jak i rozdzielczość termalna tego czujnika szczególnie sprzyjają uwidocznieniu nieznacznych różnic temperatury powierzchni ziemi charakterystycznych dla obszarów geotermalnych (w przeciwieństwie do czynnego wulkanizmu, gdzie obserwuje się znaczne różnice temperatury ziemi).

Dwa ostatnie naloty tego cyklu badawczego odbyły się o wschodzie słońca (tab. 1), wtedy gdy naziemne aparaty pomiarowe wskazywały gwałtowny skok temperatury (więcej niż 2°C). Do analizy wykorzystano jedynie dane z pierwszego nalotu, odbywającego się dokładnie nad strefą testowaną.

Radiometr LMD rejestrował tylko fizyczne wartości temperatury, a naziemne posterunki pomiarowe weryfikowały poprawność danych uzyskiwanych podczas nalołów (zał. II). Ponadto, wskazania o wymianie ciepła pomiędzy podglebiem a powierzchnią gruntu stanowiły interesujący materiał dla poznania wyżyn bazaltowych i cokołu krystaliczno-lupkowego, gdzie zainstalowano dwie stacje pomiarowe (ryc. 3).

Rejestracja dodatkich anomalii termicznych na powierzchni spowodowała, że zaprogramowano w rok po nalołach — aby trafić na podobne warunki klimatyczne — przeprowadzenie serii pomiarów naziemnych aparaturą detekcyjną promieniowania podczerwonego (BARNES PRT-6), podobną do lotniczej a uzupełnioną przez termistory użyte jako termometry kontaktowe (P a u l i in., 1976).

Konieczność analizy wieloczynnikowej

Te różnorodne wyprawy badawcze wykazały, że w celu uzyskania optymalnej liczby informacji należy przestrzegać następujących zasad:

- uzgodnienia skali i typu poszukiwanego zjawiska (litologia, spękania, anomalia termiczna powierzchni, ...) z własnościami radiometru używanego w badaniach teledetekcyjnych (rozdzielczość przestrzenna lub termiczna, pożądane pasmo, ...), wybranego z gamy detektorów lotniczych będących do dyspozycji (nocny lot, wysokość, nalot szybki lub powolny, ...);
- dokonania wyboru pory badań teledetekcyjnych, uwzględniającego lokalne czynniki klimatyczne i meteorologiczne, bujność i stan wegetacyjny szaty roślinnej (wydaje się na przykład, że w naszych umiarkowanych rejonach, koniec zimy jest najlepszą porą dla IRT teledetekcji powierzchniowych anomalii termicznych, tymczasem jest to

bardzo niewygodna pora z uwagi na znaczną ilość opadów deszczu); — uzgodnienia kierunków nalotów z regionalnymi wielkimi strukturami geologicznymi, tzn. z kierunkami przeważających uskoków, lineamentów, źródeł mineralnych, żył i okruszcowań; jest to szczególnie istotne przy stosowaniu radaru, który nie pozwala na rejestrację form liniowych usytuowanych równolegle do kierunku omiatania wysyłanych fal.

Stosowanie w praktyce wymienionych zasad prowadzi do stwierdzenia sprzeczności charakterystyk różnych rejestratorów stosowanych nawet w czasie tej samej wyprawy, z wyjątkiem zapisów fotograficznych dokonywanych podczas nalotów dziennych (np. w celu skontrolowania osi, stanu szaty roślinnej itp). Kolejną trudność stanowi dążenie do zbadania kilku obiektów (np. liczne zróżnicowane cele, nawet nie bardzo od siebie oddalone geograficznie) podczas tej samej wyprawy.

Wszystkie poczynione uwagi nie zamierzają pomniejszyć konieczności kombinowanego użycia różnych technik teledetekcji, albowiem każda z nich wnosi różne, ale uzupełniające się informacje. Powtarzanie zapisów danych, dokonywanych na tym samym obiekcie w różnym czasie (godziny lub daty), w przestrzeni (skrzyżowane osie, pokrycie stereoskopowe itp) jest kolejną zasadą do przestrzegania celem wyeliminowania omyłek zapisu.

Naziemne stanowiska pomiarowe są w każdym wypadku niezbędne do bezpośredniego odczytywania parametrów fizycznych (sprawdzanie terenowe) oraz danych jakościowych takich jak: stan szaty roślinnej, istnienie lub brak stref mgielnych itp. Co więcej, jest rzeczą konieczną systematyczne przewidywanie następnej fazy wyprawy naziemnej z oprzyrządowaniem teledetekcyjnym *ad hoc*, a także geologicznym, nawet lekkim geofizycznym takim jak urządzenie do płytkich wierceń lub do badań magnetyzmu ziemskiego, aby umożliwić właściwszą interpretację pierwszej obróbki danych teledetekcyjnych.

Wymienione uwagi nie są wyczerpujące, ale podkreślają, że na poziomie doboru technologii i metod badań poszukiwawczych z zastosowaniem teledetekcji lotniczej konieczna jest poważna, wieloczynnikowa analiza celem osiągnięcia maksimum informacji uzupełniających bez zbędnych lub fragmentarycznych danych.

C z ę ś ć II

METODOLOGIA TELEDETEKЦИИ LOTNICZEJ W GEOTERMICZNYCH PRACACH BADAWCZYCH

W latach 1968—1975 ukazało się wiele publikacji dotyczących teledetekcji opartej na rejestracji podczerwieni termalnej i promieniowania

mikrofalowego oraz stosowania tej metody w geologicznych pracach badawczych (autorzy artykułu wyselekcjonowali pewne pozycje bibliograficzne na ten temat i umieścili na końcu pracy w postaci zał. III).

Można zauważyć, że w latach 1968—1969 badacze posługują się różnymi materiałami i dobierają obiekty w terenie, które posłużą jako wzorce danych zarejestrowanych podczas badań powierzchniowych anomalii cieplnych typu geotermicznego lub wulkanicznego. W latach 1970—1972 obserwuje się duży postęp w zakresie analizy obrazów IRT i kartografii radarowej. Skanery typu RAAL pracują w różnych zakresach widma (zwłaszcza w pasmach X, L i K). Dopiero począwszy od 1973 roku wprowadza się fizyczno-matematyczne modele teledetekcyjne dotyczące wymiany termicznej między ziemią a atmosferą. Jeśli nawet pojawia się dużo nowych propozycji w dziedzinach technicznych (pozyskiwanie i obróbka danych), to jest niewiele prac (Pascucci, 1971) dotyczących wspólnego użytkowania różnych czujników i samolotów nad tym samym obszarem badań na potrzeby geotermalne.

W ramach takich tendencji na poligonie w Chaudes-Aigues podjęto studia teledetekcyjne w dwóch skalach: miejscowej i regionalnej i w trzech pasmach spektralnych, celem wprowadzenia zjawiska wpływów gorących wód do modeli wyjaśniających.

Lokalne badania strukturalne w dużej skali

Do badań strukturalnych w dużej skali zastosowano radiometr jednokanałowy CYCLOPE-SAT, pracujący w podczerwieni termalnej (pasmo 3—5 μm). Radiometr ten o automatycznej kompensacji wyników nie rejestruje danych fizycznych, co utrudnia lub wręcz uniemożliwia otrzymanie map jednakowej temperatury. Natomiast jego rozdzielczość przestrzenna i termiczna, jak również jego system odtwarzania danych (zał. I) metodą fotograficzną pozwala na znaczną dokładność obserwacji. Dlatego też, biorąc pod uwagę wybraną wysokość nalotu (1900 m), możliwa była obserwacja kontrastów termicznych rzędu kilku metrów na ziemi, czyli wymiarów wystarczających do wyznaczenia anomalii termicznej wynikającej ze strefy uskokowej, bez względu na to czy prawdziwą przyczyną tej anomalii był jeden z wymienionych czynników:

- większa zasobność w zimną wodę lub przeciwnie w wodę gorącą znajdującą się w szczelinie w stosunku do terenu otaczającego,
- bujność i gęstość szaty roślinnej w poziomie strefy spękanej,
- pochodzenie antropogeniczne: strefy uskokowe mogły być wykorzystane przez człowieka jako kanały irygacyjne lub drenażowe.

Na uzyskanych fotografiach w kilku skalach i kilku tonacjach szarości zaobserwowano parę wyrównanych liniowych zjawisk termicznych

- (o charakterze lineamentów — fot. C), które można tłumaczyć jako:
- rozpoznany w podłożu uskok,
 - podłużne rozciąganie uskoków już znanych w terenie lub też redukcowanie boczne tychże uskoków,
 - powstawanie nowych szczelin, dotąd nie obserwowanych.

Z uzyskanych informacji strukturalnych wyłoniły się dwie odrębne, różnopoziomowe grupy informacyjne: jedna — potwierdzająca rozprzeszczenie wielkich linii tektonicznych obserwowanych w terenie, druga — rejestrująca spękania towarzyszące wielkim liniom tektonicznym, a więc drugorzędne ze względu na rozciągłość podłużną (kilkadziesiąt metrów) i szerokość strefy spękań, lecz ważne dla cyrkulacji cieczy.

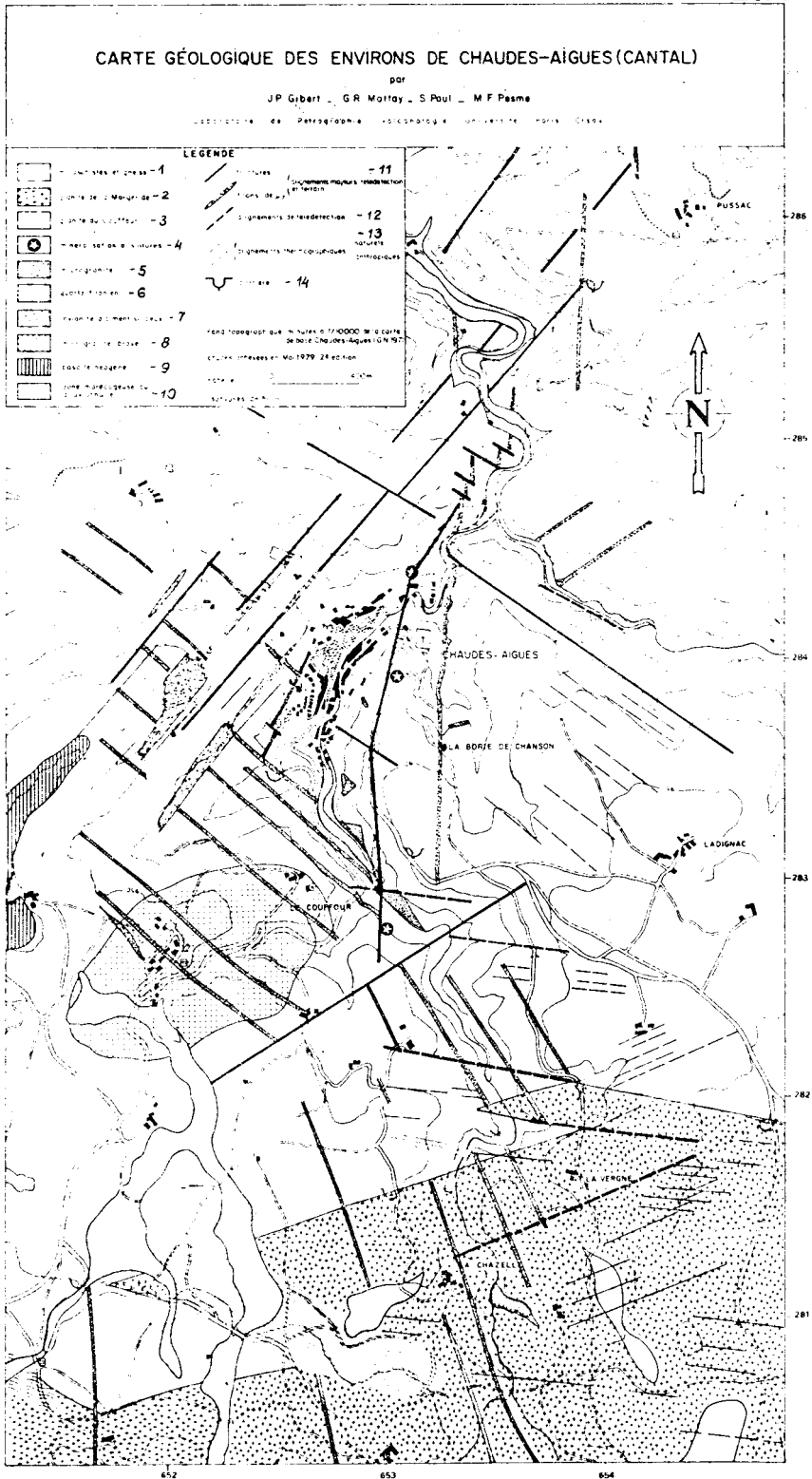
Gęstość spękań towarzyszących, uwidoczniła na obrazie termograficznym, była potwierdzona w terenie w kilku punktach dostępnych dla bezpośredniej obserwacji (np. skarpa niedawno odnowionej drogi, chodniki górnicze itp.). Zatem informacje uzyskane w terenie w tych kilku punktach i poszerzone o informacje będące efektem badań radiotermalnych z użyciem radiometru CYCLOPE pozwoliły oszacować zagęszczenie uskoków (Gibert i in., 1974 a) serii krystaliczno-lupkowej wokół obszaru wypływu wód termalnych w Chaudes-Aigures (ryc. 4). Informacje te były podstawą opracowania hipotezy dotyczącej istnienia zbiornika geotermicznego, powstałego w wyniku dużej przepuszczalności szczelinowej w regionie, gdzie przepuszczalność skał krystalicznych i krystaliczno-lupkowych jest bardzo słaba.

Regionalne badania strukturalne w małej skali

Badania te zostały przeprowadzone według danych uzyskanych przez nadawczo-odbiorczy skaner RAAL. Zwykła analiza przetworzonego materiału fotograficznego bliskiego wierności kartograficznej, dzięki systemowi korekcji geometrycznych i uwzględnieniu parametrów lotu, pozwala rozróżnić liczne odcinki zacienione lub przeciwnie — bardzo jasne (fot. B), mniej lub bardziej prostolinijne i uszeregowane, odpowiadające wcięciom rzeźby. Ze względu na ich powtarzający się charakter na podstawie roboczej hipotezy, można przypisać tym lineamentom topograficznym pochodzenie strukturalne.

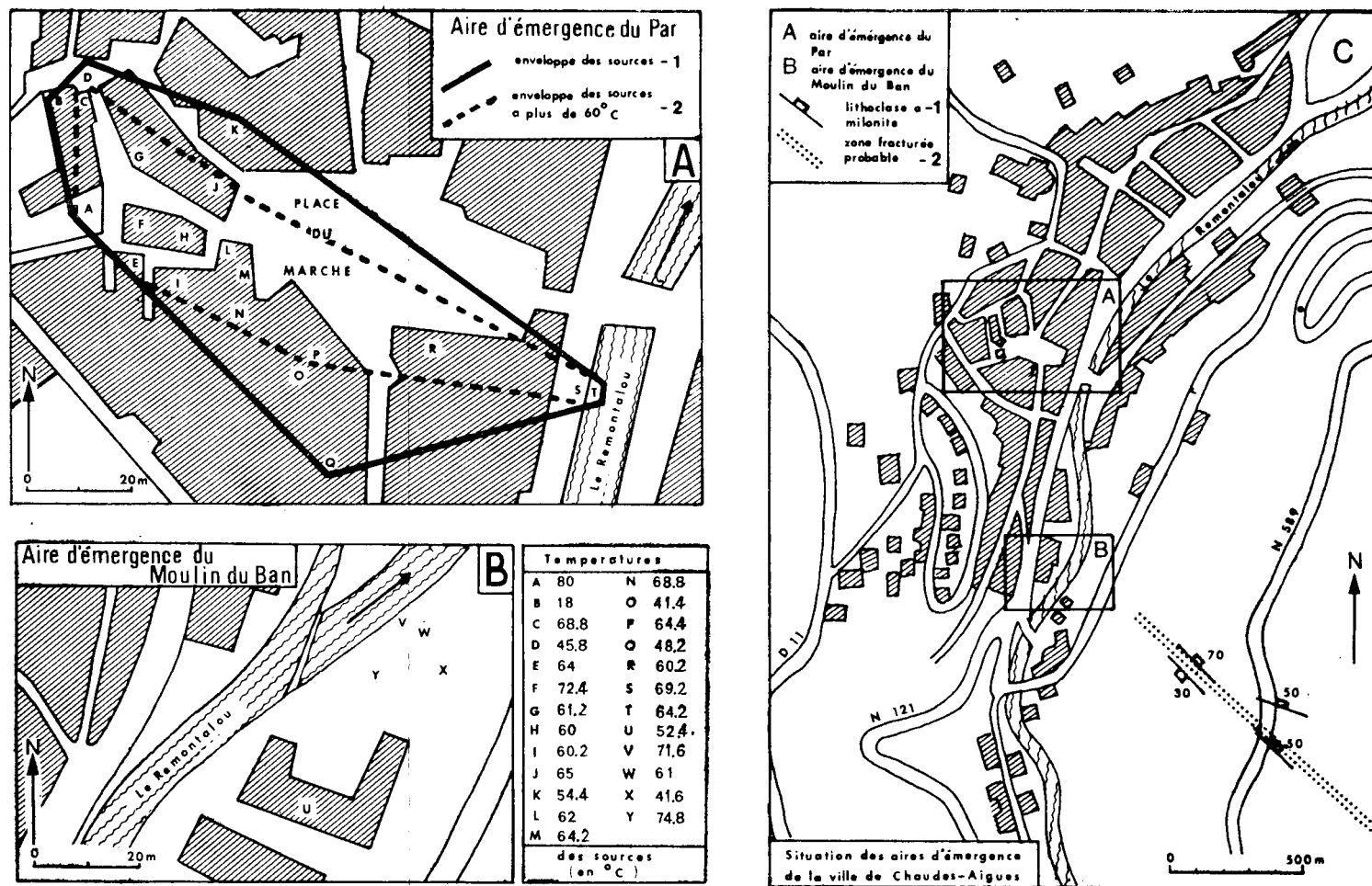
Przeprowadzona analiza wizualna lineamentów okazała się lepsza niż obróbka za pomocą optycznej filtracji obrazu w świetle spójnym. Ta ostatnia bowiem nie sprawdziła się z powodu zubożenia uzyskanych informacji. Analiza wizualna przebiegała w dwóch etapach:

- odtworzenie w przybliżeniu przebiegu lineamentów na podkładzie topograficznym w skali 1:100 000, a więc w tej samej skali, do jakiej powiększono materiał fotograficzny (ryc. 5),



Rys. 4. Uproszczona mapa geologiczna okolicy Chaudes-Aigues 1:10 000:

1 — lupek mikowy i gnejs, 2 — granit Margeride, 3 — granit Couffour, 4 — mineralizacje siarkowe, 5 — mikrogranit, 6 — kwarc żyłowy, 7 — mylonit o spoiwie krzemionkowym, 8 — drobny granit strząskany tektonicznie, 9 — bazalt neogénski, 10 — strefa podmokła lub aluwialna, 11 — lineamenty główne (uskoki i żyły), 12 — lineamenty określone z materiałów tektogenicznych, 13 — lineamenty termogracyczne (naturalne i antropogeniczne), 14 — kamie-



Ryc. 7. Położenie gorących źródeł termomineralnych w Chaudes-Aigues. Źródła występują w dwóch różnych strefach: „Par” nazwa głównego źródła w Chaudes-Aigues o temperaturze +80°C i o wydajności 275 l/min i „Moulin du Ban” (od nazwy źródła zasilającego zakłady lecznicze do dnia dzisiejszego). Źródła strefy Par (A) występują wzdłuż azymutu 140°, podczas gdy źródła strefy Moulin du Ban (B) znajdują się w bezpośrednim przedłużeniu strefy uskokowej, widocznej w terenie i na dokumentach teledetekcyjnych, która biegnie też w kierunku azymutu 140°:

A — źródła strefy Par: 1 — zasięg występowania źródeł, 2 — zasięg występowania źródeł o temperaturze powyżej 60°C; B — źródła strefy Moulin du Ban, w tabeli temperatura źródeł w °C; C — lokalizacja obu stref źródeł: 1 — litoklaza milonitowa, 2 — prawdopodobna strefa uskokowa

Fig. 7. Localisation des sources thermo-minérales de Chaudes-Aigues. Les sources se répartissent en deux zones bien distinctes, celle du „Par” (du nom de la principale source de Chaudes-Aigues, d'une température de 80°C et d'un débit de 275 l/min) et celle du „Moulin du Ban” (du nom de la source qui alimentait l'établissement thermal, jusqu'à une période récente). Les sources de la zone Par (A) s'alignent suivant une direction N 140°, tandis que celles du Moulin du Ban (B) se trouvent dans le prolongement immédiat d'une zone fracturée, visible sur le terrain et sur documents de télédétection, et qui s'allonge, elle aussi, suivant une direction N 140°

Fot. C. Fotograficzny obraz rejestracji dokonanej na taśmie magnetycznej o osi N-S z 1973 roku. Dane: rejestracja wieczorna (19⁰⁸), skaner CLCLOPE-SAT pracujący w przedziale 3—5 μm , samolot IGN Hurel-Dubois—34 z wysokości około 1000 m. Warto podkreślić, że zachowanie się termodynamiki „dzień/noc” obiektów nie jest identyczne na obu przedstawionych zapisach skanera CYCLOPE; na przykład w zapisie dziennym (fot. A) promieniowanie wydzielane przez wody jest najslabsze (odcień biały w gamie szarości), podczas gdy w zapisie nocnym promieniowanie wydzielane przez wody (A) daje najsilniejszy ton (czarny w gamie szarości):

A rzeka Truyère, B — miasteczko Chaudes-Aigus, C — szosa państwowa, D — rzeka Rementalou

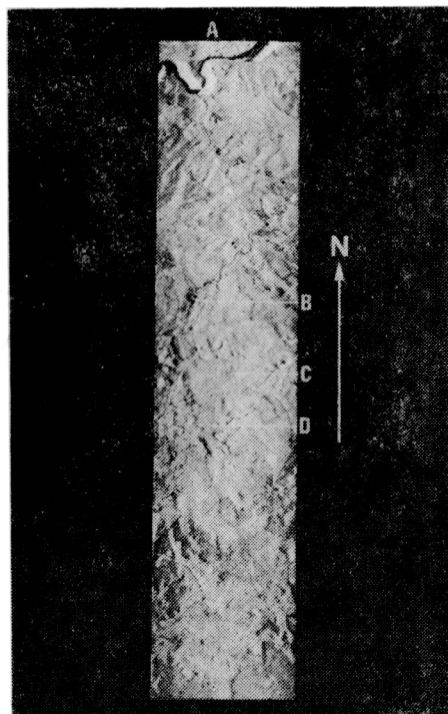
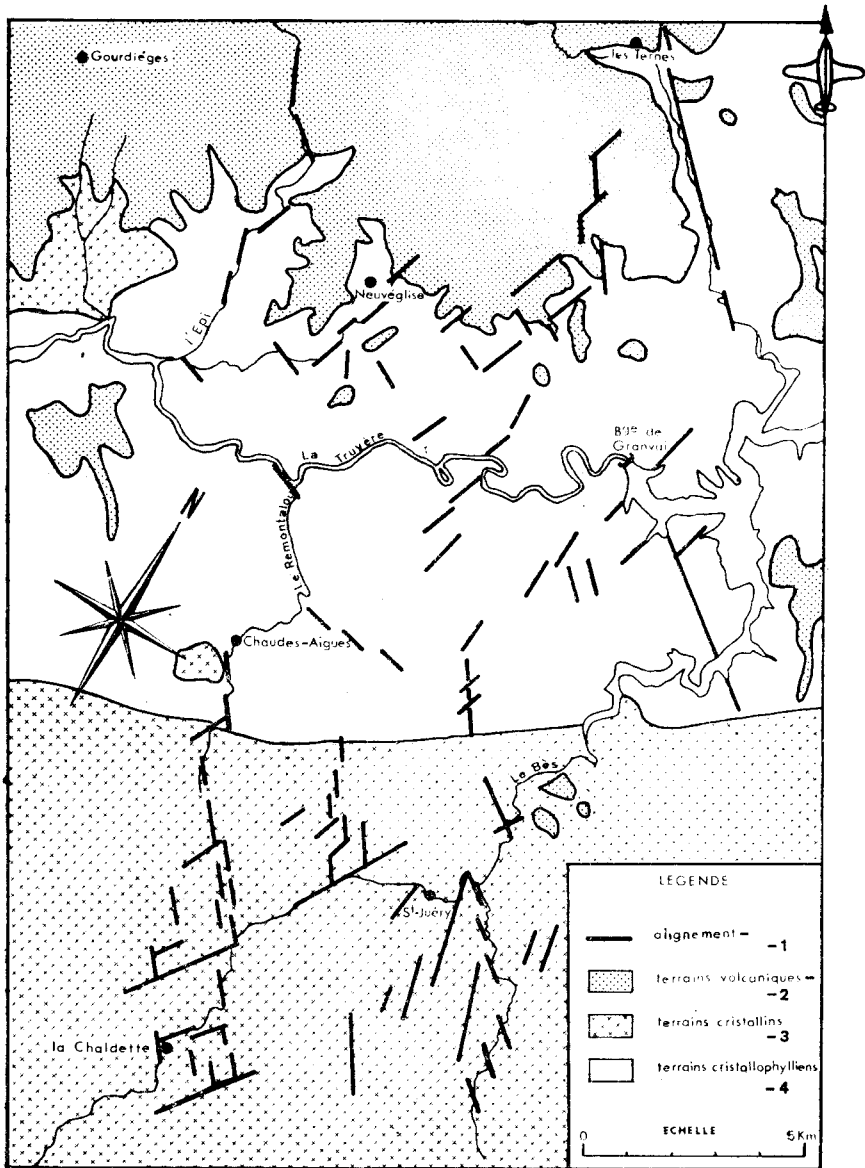


Photo C. Restitution photographique de l'enregistrement sur bande magnétique de l'axe nord-sud, en 1973. Spécifications: enregistrement de début de nuit (19 h 05); capteur CYCLOPE-SAT, sensible dans une bande spectrale de 3—5 μm ; avion Institut Géographique National, Hurel-Dubois H. D.—34, naviguant à une hauteur moyenne de 1000 m. On notera que le comportement thermodynamique jour/nuit des cibles n'est pas identique sur les deux enregistrements CYCLOPE présentés ici. Par exemple, sur l'enregistrement du jour (photo A), le rayonnement émis par les eaux se situe au niveau le plus faible de la dynamique (blancs de la gamme des gris), alors que sur l'enregistrement de nuit, le rayonnement émis par les eaux (A sur cette image) se place au niveau le plus fort de la dynamique (noirs de la gamme des gris):

A — Truyère, rivière; B — Bourg de Chaudes-Aigus; C — route nationale; D — Rementalou, rivière



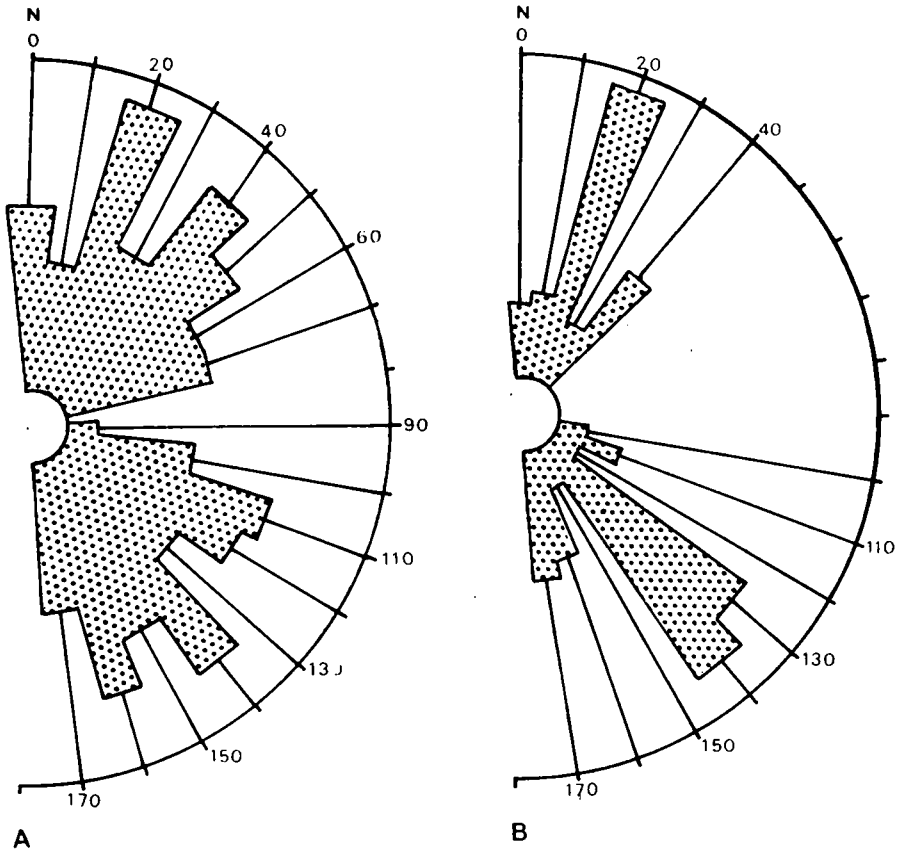
Ryc. 5. Mapa lineamentów określonych w wyniku wizualizacji fotograficznych danych uzyskanych systemem RAAL i na podstawie schematu geologicznego. Zasięgi i orientacja tej mapy są identyczne z powierzchnią zarejestrowaną na ryc. 4:

1 — lineamenty, 2 — tereny wulkaniczne, 3 — tereny krystaliczne, 4 — tereny krystaliczno-lupkowe

Fig. 5. Carte des alignements repérés sur la visualisation photographique des données recueillies par le RAAL, sur fond géologique schématisé. Les limites et l'orientation de cette carte sont celles du gabarit de surface de l'enregistrement

— wykonanie statystycznego diagramu biegunowego obserwowanych kierunków, z uwzględnieniem liczby i długości rozpoznanych lineamentów (ryc. 6).

Diagram ten został następnie porównany ze statystycznym diagramem biegunowym kierunków różnych żył mineralnych i luster tektonicznych znanych z badań terenowych (ryc. 6). Porównanie uwidoczni-



Ryc. 6. Statystyczne diagramy biegunowe:

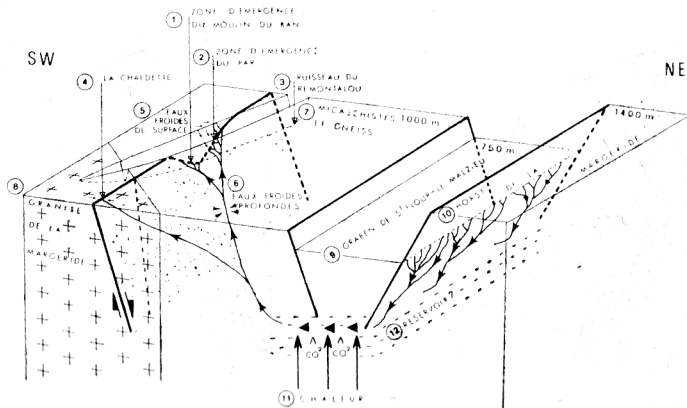
A — diagram kierunków żył mineralnych i luster tektonicznych mierzonych w terenie, w okolicach Chaudes-Aigues, B — diagram kierunków lineamentów mierzonych na mapie interpretacyjnej według danych z RAAL

Fig. 6. Diagrammes polaires statistiques:

A — diagramme des directions d'épontes de filons et de miroirs de faille, mesurées au sol, dans environs de Chaudes-Aigues, B — diagramme des directions d'alignements mesurées sur la carte d'interprétation des données RAAL

nych kierunków wykazało, że oba diagramy pokrywają się prawie dokładnie. Na materiale radarowym jedynie kierunek N 60°—70° nie został zarejestrowany ze względu na swą równoległość do kierunku omiata-
tania nadajnika, a więc kierunku, który nie daje odbicia nadanej fali. Mimo braku pełniejszego pokrycia, obserwacje kierunków tektonicznych

uchwyconych przez ten radiometr uwidoczniły większe znaczenie kierunku N 140° w tym regionie (Gibert i in., 1976), kierunku uskoku, przez które wypływają gorące wody (ryc. 7). Znaczenie tego szczególnego usytuowania linii tektonicznych było elementem determinującym wypracowanie modelu termosyfonu (ryc. 8), wyjaśniającego zjawisko wypływów gorących wód w Chaudes-Aigues (Gibert i in., 1974 b; Gibert, 1976).



Ryc. 8. Model termosyfonu wyjaśniający pochodzenie gorących wód w Chaudes-Aigues. Na ryc. 2 wyjaśniona jest lokalizacja blokdigramu:

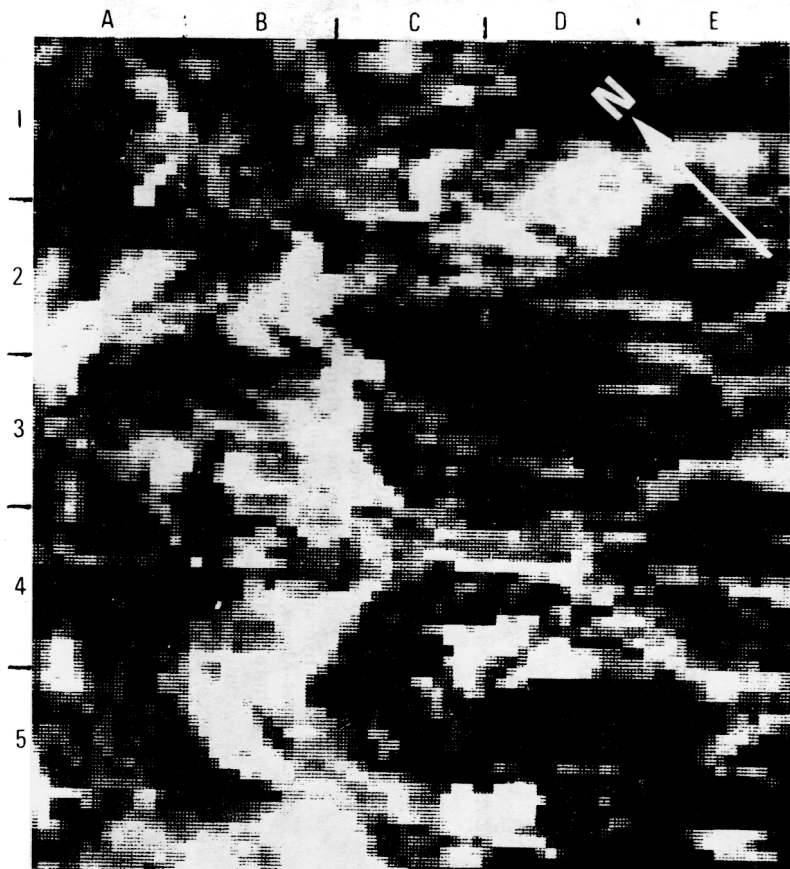
1 — strefa wypływów źródeł „Moulin du Ban”, 2 — strefa wypływów źródeł „Par”, 3 — rzeka Remontalou, 4 — Chaldette, 5 — zimne wody powierzchniowe, 6 — zimne wody wgłębne, 7 — łupki mikowy i gnejs, 8 — granity Margeride, 9 — rów tektoniczny St Flour — Le Malzieu, 10 — zrzęb Margeride, 11 — ciepło, 12 — zbiornik

Fig. 8. Modèle de thermosiphon, proposé pour expliquer l'origine des eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues. Voir aussi la figure 2 pour la localisation du bloc-diagramme

Lokalne studium podpowierzchniowej cyrkulacji wód gorących

Znajomość cyrkulacji gorących wód wokół obszaru ich wypływów jest jednym z głównych etapów pozwalających określić drogi i mechanizmy podnoszenia się poziomu wód gorących. W trakcie badań poszukiwawczych stosowano jednokanałowy radiometr omiatający LMD (tab. 2) zamontowany na pokładzie samolotu wolno lecącego.

Jeśli na obranej wysokości lotu rozmiary podstawowej powierzchni badanej wynoszą około 30 m (fot. D), co nie jest możliwe w badaniu strukturalnym w dużej skali, to dane zarejestrowane są fizycznymi wartościami temperatury. Na podstawie danych fizycznych, potwierdzonych przez stacje naziemne z dokładnością 0,2°C—0,3°C, stało się możliwe wy-



Fot. D. Wyciąg z termogramu (wizualizacja w systemie Visumat) bez korekcji geometrycznej i po powiększeniu sprowadzającym część oryginalnego dokumentu do skali wystarczającej do czytania gołym okiem. Jasne powierzchnie przedstawiają strefy mniej zimne niż plamy ciemne. Linie omiatańskie poziome są prostopadłe do osi lotu. Można wyznaczyć przebieg doliny Remontalou (B-5, C-4, C-3, B-2, A-1), miasteczko Chaudes-Aigues (C-3) oraz jasną „kieszki” na północ od aglomeracji (B-2), która oznacza dodatnią anomalię termiczną — obszar Falgeyrou (vide ryc. 9). O tej porze dnia (6⁰⁵), przed wschodem słońca, wyżyny trawiaste są ciemne, a więc zimne (A-4), podczas gdy strefy zalesione są jaśniejsze, a więc mniej zimne (B-5), co wydaje się być spowodowane ociepleniem lasu przez powietrze cieplejsze niż przypowierzchniowe, jak to wykazały pomiary wykonane tamże na ziemi w dniu nalotu

Photo D. Extrait de la thermographie brute (visualisation par le système Visumat), sans correction géométrique et après un agrandissement amenant une partie du document original à une échelle de lecture à l'oeil nu. Les surfaces claires représentent des aires moins froides que les surfaces sombres. Les lignes de balayages horizontales, sont perpendiculaires à l'axe de vol. On peut repérer le tracé de la vallée du Remontalou (B-5, C-4, C-3, B-2, A-1), le bourg de Chaudes-Aigues (C-3), ainsi qu'une tache claire au nord de l'agglomération (B-2) qui marque l'anomalie thermique positive de surface du Falgeyrou (voir aussi la figure 9). A cette heure du jour (06 h 25), le soleil n'étant pas encore levé, les plateaux sont sombres, donc froids (A-4), tandis que les zones boisées sont plus claires donc moins froides (B-5), du fait, semble-t-il, que les bois sont réchauffés par l'air qui est à une température plus élevée que celle de la surface du sol, comme l'ont montré des mesures faites au sol, le jour du vol dans ce secteur

konanie map odchyłek temperatur dodatnich w stosunku do rejestrowanej średniej temperatury lokalnej (ryc. 9). Mapy te wykazały na północ od Chaudes-Aigues anomalię temperatury powierzchni tego samego rzędu co anomalia wywołana przez wypływy. Tej z kolei anomalii towarzyszy inna, położona 200 m wyżej, ale drugorzędna. Istnienie tych dwóch anomalii zostało następnie zweryfikowane w terenie (Paul i in., 1976) podczas zestawiania naziemnych wskaźników mających poprzec badania teledetekcyjne. Są to:

- wzrost temperatury wody rzeki Remontalou o około 2°C po przekroczeniu miejsca anomalii,
- obecność uskoku o kierunku N 140°, identycznym ze szczelinami, którymi podnoszą się wody termalne w samym Chaudes-Aigues (Bertrand i in., 1977),
- występowanie w miejscach anomalii znacznej mineralizacji siarczanej (Gibert, 1978) dającej dowód na cyrkulację wód wstępujących,
- lokalizacja, właśnie na peryferiach anomalii, źródła mineralnego, które niestety zanikło w wyniku robót drogowych, co przeszkodziło w zbadaniu go.

Występowanie tej powierzchniowej anomalii termicznej zarejestrowanej dzięki teledetekcji wzbogaconej o dodatkowe wskaźniki, wskazuje na istnienie cyrkulacji gorących wód pod powierzchnią ziemi w rejonie miejsca zwanego Falgeyrou. Te badania mają kapitalne znaczenie dla rozszerzenia eksploatacji gorących wód poza obwodem miejskim Chaudes-Aigues i poza chronioną strefą gorących wód mineralnych.

Modele typu przyrodniczego

Przedstawione trzy typy studiów dostarczają więc specyficznych informacji o trzech aspektach badań geotermicznych w rejonach krystalicznych i krystaliczno-lupkowych w klimacie umiarkowanie wilgotnym. Rezultaty uzupełniające się wzajemnie, wykorzystane łącznie z informacjami uzyskanymi podczas badań terenowych (petrografia, mineralogia,

Fot. E. Panchromatyczne zdjęcie lotnicze obszaru Chaudes-Aigues wykonane przez IGN 1975, 2698, 179, UAG-454, nr fot. 1359:

A — strefa anomalii termicznej w okolicy Falgeyrou (vide ryc. 9), B — pływalnie i korty tenisowe pod gołym niebem (ryc. 9), C — strefa wypływu wód hydrotermalnych „Par” położonych w obrębie zabudowy miejskiej Chaudes-Aigues, D — rzeka Remontalou

Photo E. Photo aérienne panchromatique du secteur de Chaudes-Aigues. Mission Institut Géographique National français, 1975, France, 2698, 170, U.A.G.-454, photo n° 1359:

A — zone d'anomalie thermique de surface du Falgeyrou (voir aussi la figure 9); B — piscine et tennis à ciel ouvert (voir aussi la figure 9); C — aire d'émergence d'eau hyperthermale du „Par”, située dans le périmètre urbain de Chaudes-Aigues; D — Remontalou, rivière

kartografia, hydrologia, gleboznawstwo, tektonika, geochemia wód i skał, geofizyka itp), pozwoliły zaproponować modele interpretacyjne zjawiska wypływu gorących wód w Chaudes-Aigues. Należy jednak podkreślić, że jeśli obróbka danych teledetekcyjnych wymaga zastosowania modeli fizyczno-matematycznych, najczęściej skomplikowanych ze względu na liczbę parametrów, które należy uwzględnić (cechy charakterystyczne rejestratora, samolotu, nawigacji, atmosfery, analizowanych powierzchni



itp), to przeciwnie, zaproponowane tutaj modele interpretacyjne nie są i nie były przedstawiane jako modele typu ilościowego. W efekcie zaproponowane wzorce powstają wspólnie z informacjami dostarczonymi przez inne techniki i metody badania. W ten sposób powstały:

- model cyrkulacji wód pod powierzchnią uwzględniający wyniki badań hydrologicznych i mineralogicznych,
- hipoteza istnienia zbiornika wód termalnych opierająca się na wynikach terenowych badań geologicznych, petrograficznych i geofizycznych, takich jak sztuczny magnetyzm ziemski,
- model termosyfonu, na który złożyły się wyniki badań strukturalnych, geochemicznych i mikrotektonicznych.

Taka integracja danych uzyskanych różnymi technikami i metodami badawczymi, wyłania problem ujednoczenia ilościowych informacji celem wypracowania modeli fizyczno-matematycznych, łączących w sobie wszystkie parametry. Taki wysiłek nie jest konieczny wówczas, gdy jest się w stadium badań poszukiwawczych, których cel sprowadza się do oszacowania prawdopodobieństwa istnienia takiego lub innego zjawiska (cyrkulacja płynów podpowierzchniowych, zbiornik, termosyfon), a nie w trakcie badań mających na celu eksploatację.

WNIOSKI

Taki syntetyczny artykuł prowadzi do zestawienia niezbędnych elementów w dwa niepełne, ale podstawowe wnioski. Ponadto sposób zebrania doświadczeń z eksploracji geotermicznej za pomocą teledetekcji lotniczej nad poligonem Chaudes-Aigues (fot. E), uzmysławia kilka podstawowych uwag, które mogą być upowszechnione w każdym innym doświadczeniu tego typu:

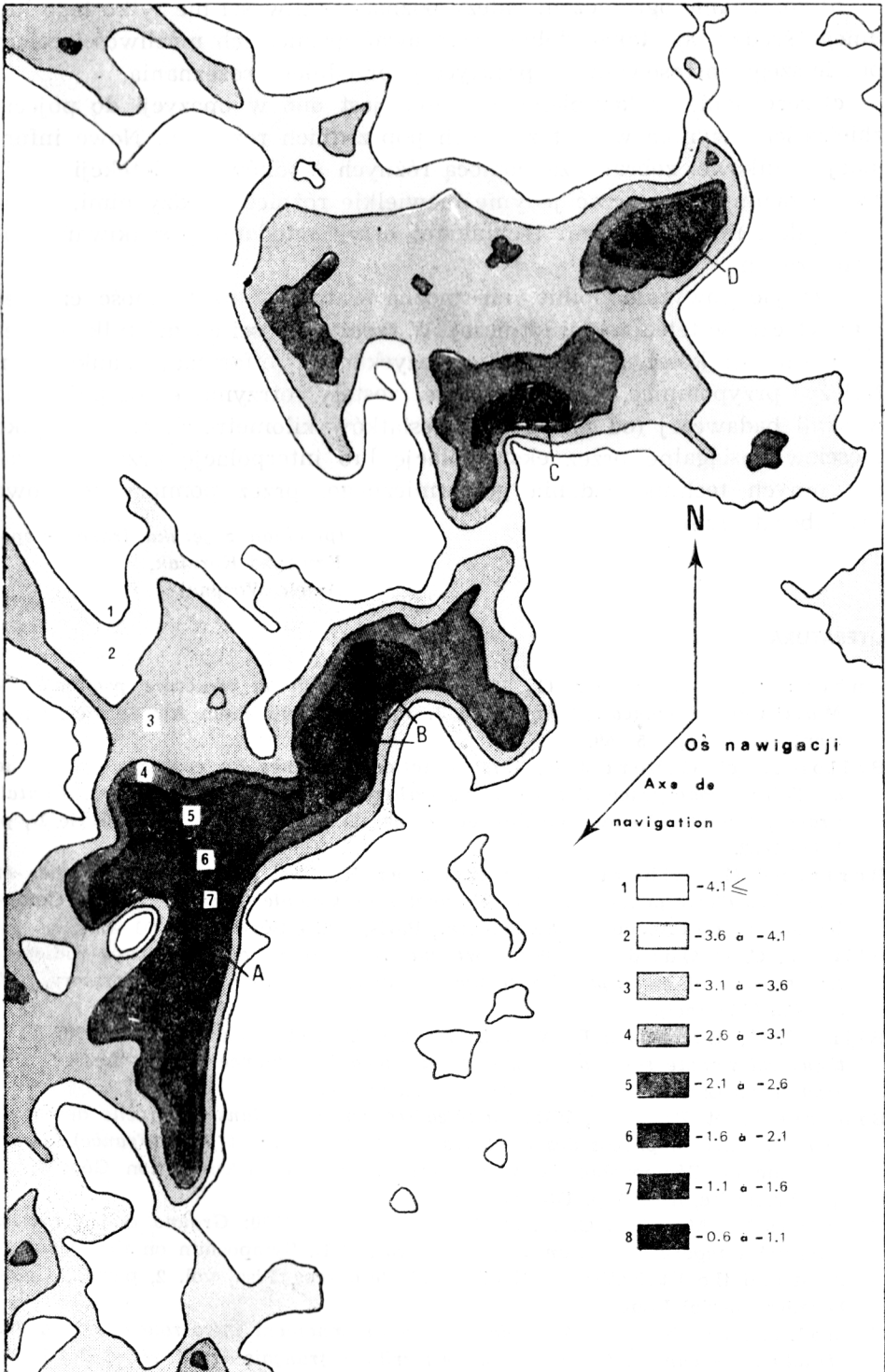
a) rozeznanie w kosztach i ilości pracy: czas potrzebny na wybór środka (lub środków), techniki (lub technik) i metody (lub metod) odpowiednich dla osiągnięcia jasno określonego celu (lub celów) w możliwie najkorzystniejszych warunkach;

Ryc. 9. Mapa równych odchyłek temperatur dodatnich w odniesieniu do średniej temperatury lokalnej ($-4,1^{\circ}\text{C}$). Mapa pozwala śledzić anomalię za anomalią od obszarów gorących do obszarów mniej ciepłych w cięciu co $0,5^{\circ}\text{C}$. Granice badanych stref wyznaczono według kierunków przekrojów kartograficznych:

A — obszary zasilania Par, **B** — basen kąpielowy i korty tenisowe pod gołym niebem, **C** — anomalia drugiego rzędu, **D** — dodatnia anomalia termiczna obszaru Falgeyrou

Fig. 9. Carte isoplète des écarts positifs de température par rapport à la moyenne locale ($-4,1^{\circ}\text{C}$). Cette carte permet de parcourir l'anomalie niveau par niveau de l'aire la plus chaude ($-0,6$ à $-1,1^{\circ}\text{C}$) à l'aire la moins chaude ($-3,6$ à $-4,1^{\circ}\text{C}$) au pas de $0,5^{\circ}\text{C}$. Les limites de la zone étudiée ont été tracées selon les directions du découpage cartographique:

A — aire d'émergence du Par; **B** — piscine à ciel ouvert et courts de tennis; **C** — anomalie de second ordre; **D** — anomalie thermique positive de surface du Falgeyrou



b) rozeznanie ograniczeń: należy poznać możliwości nie tylko tego lub innego środka, ale także dobrze oszacować granice ich możliwości celem pełniejszego zastosowania w praktyce poprzedniego rozeznania,

c) rozeznanie w komplementarności: jest ono w opozycji do pojęcia zbieżności i wynika wprost z dwóch poprzednich rozeznań. Nowe informacje naukowe, zebrane za pomocą różnych środków teledetekcji lotniczej, powinny dopuszczać jedynie niewielkie różnice między nimi, podobnie jak i między innymi technikami oraz metodami poszukiwań geotermicznych.

Uznając powyższe opinie, nie można wątpić w użyteczność czy też nieużyteczność teledetekcji lotniczej. W rzeczywistości chodzi tylko o ocenę stosunku: koszt i ilość nowo pozyskanych informacji naukowych. Należy przypomnieć, że informacje zostały otrzymane bezpośrednio w skali badawczej (od metra do dziesiątków kilometrów), co jest tylko częściowo osiągalne przez ekstrapolację lub interpolację przy stosowaniu innych technik badania geotermicznego: przez pomiary terenowe i w laboratorium.

(przekład z języka francuskiego:
Krystyna Korniak,
Aniela Woryna)

LITERATURA

- Aubert M. et Perrier G., 1971 *Géomorphologie et structure profonde du Massif Central français*, Symposium J. Jung. Editions Plein Air Service, Clermont-Ferrand, p. 45—69.
- Bellon H. et Gibert J.-P., 1975: *Datations absolues du contexte géologique de l'aire d'émergence des eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues, Cantal, France*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 280, Série D, p. 1849—1852.
- Bertrand G., Gibert J.-P. et Laugier R., 1977: *Caractères physiques et modalités d'émergence des eaux thermales de Chaudes-Aigues (Cantal)*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 285, Série D, p. 501—504.
- Blinn J. C. et Quade J., 1968: *Airborne multi-frequency microwave radiometric sensing of an exposed volcanic province*, Jet Propulsion Laboratory, TM 33—405 (Abstract).
- Blinn J. C., Brennan D. A., Chapman P. E. et Quade J. G., 1970: *Multispectral remote sensing of an exposed volcanic province (Mount Lassen)*, Jet Propulsion Lab. Calif. Inst. of Tech. Pasadena, 43 p.
- Brousse R. et Paul S., 1975: *La télédétection radar dans l'approche des accidents linéaires à propos des fractures du Massif du Mont-Dore (France)*, 3^{ème} Colloque de Géomorphologie Volcanique. Bulletin de l'Association Géographique Française, n° 426, p. 175—178.
- Cassinis R., Marino C. M. et Tonelli A. M., 1970: *Ground and Airborne Thermal Imagery on Italian Volcanic Areas*, U.N. Symposium on the Development and the Utilization of Geothermal Resources, Pisa, vol. 2, part 1, Geothermics Special Issue.
- Clin M. et Pouchan P., 1970: *Mesures du rayonnement infra-rouge le long des structures volcano-tectoniques dans le territoire français des Afars et des Issas*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 271, p. 1351—1353.

- Coque-Delhuille B. et Paul S., 1977: *L'apport de la télédétection par radar latéral aéroporté à l'étude des socles cristallins: l'exemple de la Margeride occidentale*, Revue de Géomorphologie Dynamique, n° 4.
- Dawson G. B. et Dickinson D. J., 1970: *Heat flow studies in thermal areas of the north Island of New Zealand*, U. N. Symposium on Development and Utilization of Geothermal Resources. Pisa, Italy, vol. 2, part 1, p. 466—473.
- Dupis A. et Gibert J.-P., 1977: *Apport de la magnéto-tellurique de faible profondeur aux études hydrogéologiques: l'exemple de l'aire d'émergence d'eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues (Cantal-France)*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 285, p. 139—142.
- Fischer W.A., Moxham R.M., Polcyn F. et Landis G.H., 1964: *Infrared Surveys of Hawaiian volcanoes*, Sciences, vol. 146, n° 3645, p. 733—742.
- Fischer W. A., Friedman J. D. et Sousa T. M., 1965: *Preliminary results of aerial infrared surveys at Pisgah Crater, California*, Geological Survey, Washington D. C.
- Friedman J.D., Williams R.S. et Millier J., 1967: *Infrared Surveys in Iceland in 1966*, Am. Geophys. Union Trans., vol. 48, n° 1, p. 288.
- Friedman J.D., 1968: *Thermal anomalies and geologic features of the Mono Lake area, California, as revealed by infrared imagery*, In NASA, Monned Spacecraft center earth resources aircraft program status rev., vol. 1. Tech. Letter NASA-82, U.S.G.S. Interagency Report Under NASA Contract R-146-09-020.
- Gaussen H., 1948: *Carte de précipitation de la France à 1/500 000*, Ministère des Travaux Publics, Direction de l'Hydrolique.
- Gibert J.-P. et Paul S., 1974a: *Télédétection et géologie de terrain sur la secteur de Chaudes-Aigues (Cantal)*, Bulletin d'Institut Géographique National français, n° 27, p. 17—22.
- Gibert J.-P. et Paul S., 1974b: *Etude de l'aire d'émergence des eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues (Cantal)*, Compte rendu annuel d'une recherche financée par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, Action Concertée Géothermie, Décision d'aide n° 73-7-1322, Partie Télédétection, 12 p.
- Gibert J.-P., Sorel D. et Vergely P., 1975: *Tectonique cassante polyphasée et émergences d'eaux hyperthermales: le site de Chaudes-Aigues (Cantal)*, Bulletin de la Société Géologique de France, (7), XVII, n° 4, p. 629—636.
- Gibert J.-P., 1976: *Etude de l'aire d'émergence d'eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues (Cantal)*, Compte rendu de fin d'étude d'une recherche financée par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, Action Concertée: Géothermie, Décisions d'aides: 73-7-1322 et 74-7-1375, 38 p.
- Gibert J.-P. et Paul S., 1976: *Directions tectoniques télédéteectées par radar latéral aéroporté dans la région de Chaudes-Aigues (Cantal-France)*. Photogrammetria, 32, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p. 15—24.
- Gibert J.-P., 1978: *Circulations de fluides dans les environs de Chaudes-Aigues (Cantal-France) avec précipitations d'halotrichite-pickéringite*, Bulletin de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie, à paraître.
- Gomez-Valle R. C., Friedman J. D., Gawarecki S. J. et Banwell C. J., 1970: *Photogeologic and thermal infrared reconnaissance surveys of the Los Negritos-Ixtland de los Hervores geothermal areas, Michoacan, Mexico*. U. N. Symposium on Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, Italy, vol. 2, part 2, p. 381—398.
- Guy M. et Pekar L., 1969: *Une étude thermographique sur les Antilles*, Revue de Photo-interprétation, n° 1, fascicules 5—6, Edition Technip. Paris.

- Hase H., Matsuno K. et Nishimura K., 1967: *On the applications of infrared imagery for geothermal investigations*, Japan Geothermal Energy Association, 11, p. 6—15.
- Hochstein M. P. et Dickinson D. J., 1970: *Infrared Remote Sensing of thermal Ground in the Taupo Region, New Zealand*, U.N. Symp. on Develop. and Utiliz. of Geotherm. Resources, Pisa, Italy, vol. 2, part 1, p. 420—423.
- Komarov V. B., Shilin B. V., Miroshnikov M. M. et Feoktistov, 1968: *The methods of applications of infrared aerial photography where studying the volcanoes and thermal activities of Kamchatka Peninsula*, 5th. Symposium on Remote Sensing of Environment, Michigan University, Ann Arbor.
- Koopmans B. N., 1974: *Les images stéréoscopiques SLAR (radar latéral) doivent-elles être préférées aux simples bandes en vue de la cartographie thématique?* I.T.C. Journal, 3, p. 15—22.
- Krafft M. et Feraud G., 1971: *Réalisation d'une carte des températures dans l'infra-rouge du sol du cratère de Vulcano (Iles Eoliennes, Italie)*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t. 272, p. 207—210.
- Laidet L. et Paul S., 1974: *Acquisition de données dans les programmes français de télédétection pour les sciences de la terre*, Intern. Soc. for Photogram., Com. I, Stockholm, 14 p., Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie, n° 55, p. 14—20.
- Lapadu-Hargues P., 1951: *La structure du socle hercynien au sud du Massif du Cantal*, Bulletin des Services de la Carte Géologique de France, t. 49, n° 232, p. 179—191.
- Lyon R. J. P., 1972: *Infrared spectral Emittance in Geological Mapping: Airborne Spectrometer Data from Pisgah Crater, California*, Science 1975, p. 983—986.
- Mac Donald H. C., 1969: *Geologic evaluation of radar imagery from Darien province, Panama (Geologic evaluation of Radar imagery in eastern Panama and northern Columbia)*, Kansas University Lawrence, 136 p.
- Mc Lerran J. H. et Morgan J. O., 1965: *Thermal mapping of Yellowstone Park*, Proc. 3 d. International Symposium on Remote Sensing of Environment. University of Michigan, p. 517—530.
- Matsuno K., Hase H. et Nishimura N., 1968: *On I.R. Imagery and its Application to the Mapping of Geothermal Distributions*, Photogrammetria, 25, p. 61.
- Miller L. D., 1965: *Location of anomalously hot earth with infrared imagery in Yellowstone Park*, Proc. 4th International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, p. 751—769.
- Miller L. D., 1968: *Steaming and Warm Ground in Yellowstone National Park — Their Location, Geophysics, Vegetation and Mapping with Aerial Multispectral Imagery*, Ph D. Thesis, University of Michigan, 245 p.
- Monge J. L. et Sirou F., 1971: *Radiomètre infra-rouge aéroporté à balayage mécanique dans la gamme 10,5—12,5 microns*, 3ème Journées d'Optique Spatiale, Marseille, Edition CNES, 401—423.
- Moxham R. M., 1969: *Aerial Infrared Surveys at the Geysers Geothermal Steam field, California*, In: *Geological Survey Research*, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 650 C, p. 106—122.
- Palmason G., Friedman J. D., Williams R. S. Jr., Jonsson J. et Saemundsson K., 1970: *Aerial infrared surveys of Reykjanes and Tarfajokull thermal areas, Iceland, with a section on the cast of exploration surveys*. U.N. Symposium on Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, Italy, vol. 2, part I, p. 399—412.

- Pascucci R.F., 1971: *Comparative contribution of three remote sensors to geologic mapping*. Amer. Soc. of Photogram., Ann. meeting 37th., Washington D.C., Techn. papers, 219—225.
- Paul S., 1971: *Enseignements préliminaires sur les expériences aéroportées de Juillet 1970 et de Février 1971*. Rapport au Comité des Programmes d'Applications du Centre National d'Etudes Spatiales français, Mai 1971. Programme des Ressources Terrestres, CPA. RT. 70 33, 5p., Centre Spatial de Brétigny, 91 Brétignysu-Orge, France.
- Paul S., 1973a: *Téledétection et stéréophotogrammétrie dans les sciences de la terre*. Un volume, 16—24, 360 p., 146 figures et cartes, 7 cartes infographiques polychromées placées sous pochette hors texte. Edition Doin, Paris, pp. 116—117.
- Paul S., 1973b: *La téledétection électromagnétique aérienne en terrains éruptifs*, La Recherche Spatiale, n° 5, volume XII, p. 14—16, planche 111. Edition Centre National d'Etude Spatiale — Dunod, Paris.
- Paul S., 1974: *Communications cartographiques des données fournies par la thermographie et la photographie multibande aéroportées (cas des terrains volcaniques)*, La téledétection des ressources terrestres, Ecole d'été de Tarbes de 1973, Edition du Centre National d'Etudes Spatiales, p. 477—488.
- Paul S., 1976: *Apports des données obtenues par téledétection à la généralisation structurale en cartographie morphologique*, VIII ème Conférence Cartographique Internationale, Moscou, Août 1976. Actes des Journées de téledétection du GDTA, Toulouse oct. 1976, t. 1, p. 119—134.
- Paul S., Gilbert J.-P., Pontier L., Dechambenoy C. et Menenger L., 1976: *A surface thermal anomaly in the region of Chaudes-Aigues (France) detected on aerial thermographs*, Remote Sensing of Environment, 5, p. 177—190.
- Perrier G., et Ruegg J. C. 1973: *Structure profonde du Massif Central français*, Annales de Géophysique, 29, p. 435—502.
- Restituuto J., 1971: *La vallée de la Truyère entre Garabit (Cantal) et Sarrans (Aveyron, Massif Central français)*, Thèse 3° Cycle, Pétrographie, Clermont-Ferrand.
- Schaber G. G., 1967: *Earth resources survey program. Radar images, San Francisco Volcanic Field, Arizona — A liminary evaluation*, Geological Survey, Flagstaff, Arizona, 20 p.
- Shilin B. V. et Gusev N. A., 1969: *Thermal Aerial of the volcanoes of Kamchatka*, Soviet Geology, n° 5.
- Shilin B. V., Gusev N. A., Vavilov E. I. et Karizhenskii E., 1972: *Thermal activity of uson caldera based on infrared and photographic aerial survey*, International Symposium on Remote Sensing of Environment, 8th, Ann Arbor, Michigan, Proceedings, vol. 2, p. 1147—1157.
- Vincent R. K. 1972: *Rock type Discremination from Ratioed Infrared Scanner Images of Pisgah Crater, California*, Science 1973, p. 986—988.
- Watson K., 1974: *Geothermal reconnaissance from quantitative analysis of thermal infrared images*, International Symp. on Remote Sensing of Environment, 9th, vol. 3, 1919—1932.
- White D. E. et Miller L. D. 1969: *Calibration of Geothermal Infrared Anomalies of low Intensity in Terms of Heat Flow, Yellowstone National Park*, EOS, American Geophysical Union Transactions, 50, p. 348.
- Williams R.S., Friedman J.D., Thorarinsson S., Sigurgeirsson T. et Palmason G., 1968: *Analysis of 1968 Infrared Imagery of Surtsey, Iceland*, Surtsey Research Progress Report IV. The Surtsey Research Society, Reykjavik, 803 p.

Sposób obróbki danych zarejestrowanych przez różne detektory
Modes de traitement des données enregistrées par les capteurs

HASSELBLAD:

- wywoływanie filmów fotograficznych negatywowych (70 mm),
- odbitki pozytywowe na papierze i powiększanie (165 × 165 mm).

DAEDALUS:

- wizualizacja fotograficzna na filmie 126 mm każdego z dziesięciu kanałów z urządzeniem odtwarzającym Honeywell i korektą zniekształceń (tg, t, z i wahania $\pm 5^\circ$).

CYCLOPE:

- wizualizacja fotograficzna na filmie 70 mm z przystawką odtwarzającą SAT (skala około 1 : 50 000),
- powiększenia fotograficzne aż do skali około 1 : 10 000, korespondujące z podziałką danych terenowych.

LMD:

- wizualizacja fotograficzna (system LMD) na filmie 40 mm (skala około 1 : 200 000),
- powiększenia fotograficzne aż do skali około 1 : 50 000,
- wizualizacja danych numerycznych na aparacie VISUMAT (MATRA-SFOM) i obróbka geometryczna celem skorygowania deformacji wynikających ze skośnego kąta padania wiązki na krawędzi omiatania,
- obróbka komputerowa: wydruk w wartościach cyfrowych dyskretnych dla oznaczenia stref anomalii termicznych, wydruk w wartościach rzeczywistych dla wykończenia map równych odchyłek temperatur (linie i pola).

RADAR:

- wizualizacja fotograficzna na filmie 70 mm (skala 1 : 400 000),
- powiększenia fotograficzne do skali około 1 : 100 000.

Wyposażenie naziemnych posterunków pomiarowych
Matériels mis en place dans les postes de mesures au sol

Trzecia seria badawcza:

- a) posterunek na wyżynach (wysokość 875 m) blisko fermy Borie de Chanson, 1 km na wschód od Chaudes-Aigues;
- b) posterunek w dolinie Remontalou u północnego wyjścia z Chaudes-Aigues (wysokość 750 m).

Każda ze stacji dysponowała następującym wyposażeniem:

- rejestrujący termo-baro-hygrograf od 21 do 23 października 1972, do określania warunków meteorologicznych w czasie całej wyprawy,
- precyzyjny termometr rtęciowy (z dokładnością do $0,1^{\circ}$) wykonujący pomiary w momencie przelotu samolotu, weryfikujący i precyzujący dane termo-baro-hygrografu.

Czwarta seria badawcza (podczas nalotów):

- a) posterunek na wyżynach (wysokość 950 m) u wschodniego wyjścia z Chaudes-Aigues;
- b) posterunek na wyżynach (wysokość 1000 m) położony 7 km na zachód od Chaudes-Aigues.

Posterunki te dysponowały następującym sprzętem:

- rejestrujący termo-baro-hygrograf,
- trzy precyzyjne termometry rtęciowe (o dokładności $0,1^{\circ}$) umieszczone odpowiednio: 10 cm pod powierzchnią, na powierzchni i 50 cm nad powierzchnią, dokonujące pomiarów temperatury co 5 min od 1 godz. przed aż do 1 godz. po przelocie samolotu.

Seria badawcza rok po nalotach.

Posterunki dysponowały następującym sprzętem:

- radiometr BARNES PRT 6,
- dwa kontaktowe termometry termistorowe, jeden z nich rejestrujący,
- termometr przepływowy i rejestrator do ciągłego pomiaru temperatury powietrza.

**Elementy bibliografii chronologicznej (1968—1975) dotyczącej metod i środków
służących do teledetekcyjnych badań geotermicznych**
**Éléments de bibliographie chronologique (années 1968—1975) des méthodes et
moyens en matière d'exploration géothermique par télédétection**

1968

- Chapman P. E., 1968: *Ground trench for geology (ground truth parameters for remote sensing of geological conditions)*, California University, Remote Sensing of the Environment, 27 p.
- Friedman J. D. and Williams R. Jr, 1968: *Infrared of active geologic processes*, International Symposium on Remote Sensing of Environment, 5th., University of Michigan, Ann Arbor, Proceedings, p. 787—815.
- Lowe D. S., 1968: *Infrared studies (infrared scanner for thermal mapping and multispectral sensing in remote sensing aircraft program, NASA, Manned spacecraft center earth resources aircraft program status rev., vol. 1 et 2.*

1969—1970

- Abdel-Hady M. et Matulaci R. V., 1970: *Surface and subsurface Exploration by Infrared Survey*. National Research Council, Highway Research Board Special Technical Report n° 270, Washington D. C.
- Bastuscheck C. P., 1970: *Température au sol et infra-rouge thermique*, Photogrammetric Engineering, vol. XXXVI, n° 10.
- Edgerton A.T. et Trexler D.T., 1970: *A study of microwave techniques applied to geologic problems*, Report n° 1361R-1, U.S. Geological Survey. Washington D. C.
- Oberste-Lehn D., 1970: *Phenomena and properties of geologic materials affecting microwaves*. Stanford remote sensing laboratory. Technical Report 70—10.
- Spencer R. J. et Walsh P. J., 1970: *The measurement of surface temperature with an I.R. scanning imager (surface temperature measurement with airborne I.R. scanning imager for terrain analysis)*, Electrooptical Optical Systems Design Conference, 7th., New York, Proceedings, p. 533—543.

1971

- Garnier B. J., 1971: *The observation of topographic radiations in surface radiative temperatures by remote sensing from a small aircraft (Remote sensing of surface radiations temperature topographic variations by precision radiation thermometer equipped aircraft, calibrating for atmospheric attenuation)*, International Symposium on Remote Sensing of Environment, 7th., University of Michigan, Ann Arbor, Proceedings, vol. 1, p. 495—500.
- Hase H., 1971: *Surface heat flow studies for remote sensing of geothermal resources (Thermal I.R. remote sensing of surface geothermal heat flow, presenting nighttime heat budget equation based on solar and geothermal energy)*, International Symposium on Remote Sensing on Environment, 7th., University of Michigan, Ann Arbor, Proceedings, vol. 1, p. 237—245.
- Lorenz D., 1971: *Problems inherent in remote sensing of the earth's surface using thermal infrared radiation (Earth surface remote sensing with thermal I.R. radiation investigating uncovered soils with heat balance equations under various weather conditions and times of day)*, Bildmessung und Luftbildwesen, vol. 39, p. 235—242.

- Miroshnikov M.M., Karizhenskii E. Ia, Shilin B.V. et Gusev N. A. 1971: *Thermal infrared imagery in aerial surveys of natural resources*, Soviet Journal of Optical technology, 38, p. 131—138.
- Monge J. L. et Sirou F., 1971: *Radiomètre infra-rouge aéroporté à balayage mécanique dans la gamme 10,5—12,5 microns*, 3^{ème} Journée d'Optique Spatiale, Marseille, édition CNES, p. 401—423.
- Pascucci R. F., 1971: *Comparative contribution of three remote sensors to geologic mapping (side-looking radar, thermal I.R. scanner and passive microwave radiometers for remote sensors for geologic mapping)*, Amer. Society of Photogram., ann. meeting 37th., Washington D. C., Techn. papers, p. 219—225.
- Watson K., Rowan L.C. et Offield T.W., 1971: *Application of thermal modeling in the geologic interpretation of I.R. images*, Proc. 7th. Intern. Symp. on Remote Sensing of Environment. Univ. of Michigan, vol. 3, p. 2017—2041.
- Wolfe E.W., 1971: *Applications de l'infra-rouge thermique à la géologie*, Photogrammetric Engineering, vol. XXXVII, n° 1.

1972—1973

- Alouges A., 1972: *Thermographie et télédétection des ressources terrestres*, L'Ingénieur-Constructeur, n° 168.
- Bonn F., Clement T. P., Gadrois D. F., Jalbert C., Laseunesse M. et Trudel C., 1972: *Utilization of thermal infrared ground measurements for determinations of adequate surveying periods in remote sensing*, International Symposium on Remote Sensing of Environment, 8th., Ann Arbor, University of Michigan, Proceedings, p. 709—714.
- Sabins F. F. 1973: *Enregistrement et traitement des images infrarouge-thermique*, Photogrammetric Engineering, vol. XXXIX, n° 8.
- Vincent R.K. and Thomson F., 1972: *Spectral compositoin imaging of silicate rocks (Broad scale remote mapping of spectral composition of silicate rocks from thermal I.R. scanners data)*, Journal of Geophysical Research, 77, p. 2465—2472.

1974

- Cassinis R., Lechi G. M. et Tonelli A. M., 1974: *Contribution of space platforms to a ground and airborne remote sensing programme over active italian volcanoes*, ESRO European Earth-Ressources Satellite Expts, Frascati, Italy, p. 185—197.
- Cassinis R., Marino C. M. et Tonelli A. M., 1974: *Remote sensing applied to the study of Italian volcanic areas. The results of the repetition of the airborne I.R. survey compared to the previous date*, International Symposium on Remote Sensing of Environment. 9th., Ann Arbor, vol. 3, p. 1989—2004.
- Clinton N.J. et Campbell C.E., 1974: *Remote Sensing of small terrestrial temperature differences using I.R. scanners. Remote sensing applied to energy-related problems*, Proc. of the Symposium Course, Miami, Flor., p. A-17 à A-25.
- Franke W., 1974: *Problems in the integration of infrared line scanners in high-performance aircraft*. Deutsche Gesellschaft fuer Luft — und Raumfahrt, Jahrestagung, 7th., Kiel, West Germany, 10 p.
- Hsu S.-Y., 1974: *Automatic pattern recognition and mapping utilising thermal infrared imagery*, Am. Soc. of Photogram., Fall Meeting, Washington, p. 332—342.
- Koopmans B.N., 1974: *Should stereo SLAR imagery be preferred to simple strip imagery for thematic mapping*. I.T.C. Journal, n° 3, p. 424—444.

- Lechi G. M. et Tonelli A. M., 1974: *Study of volcanic areas in southern Italy by means of airborne thermal-infrared scanners. Comparison of the various studies made and the future possibility offered by space plateforms*, International Symposium on Space, 14th., Rome, Italy, Proceedings (A75-3157614-43).
- Lyon R. J., 1974: *Field mapping Determinations: Ground Support for Airborne Thermal Surveys with application to search for geothermal Resources*. Stanford Remote Laboratory Technical Report, 74—8, 50 p.
- Martin-Kaye P., 1974: *Applications of side-looking radar in earth resource surveys*. In *Environmental Remote Sensing: applications and achievements*, Proceedings of the Symposium, Bristol, England.
- Watson K., 1974: *Geothermal reconnaissance from quantitative analysis of thermal infrared images*, International Symposium on Remote Sensing of Environment, 9th., University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Proceedings, p. 1919—1923.

1975

- Hase H., 1975: *Geothermal Survey Using Thermal Infrared Remote Sensing in Japan*, 10th. International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan.
- Sensen H., 1975: *Deformations of SLAR imagery — Results from actual Surveys*. Intern. Soc. of Photogram., Symposium Stuttgart Universitat West Germany. Proc. Munich, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, p. 230—234.
- Quiel F., 1975: *Emploi de l'infra-rouge thermique en Géologie*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. XLI, n° 3.
- Vincent R. K., 1975: *The potential role of thermal infrared multispectral scanners in geological remote sensing*, IEEE Proceedings, vol. 63, p. 137—147.
- Watson K., 1975: *Geologic Applications of Thermal Infrared Images*, Proceedings of IEEE, January.

JEAN-PIERRE GIBERT, SERGE PAUL

REMOTE SENSING IN THE GEOTHERMAL PHENOMENA INVESTIGATION AT CHAUDES-AIGUES (CANTAL, FRANCE)

Summary

A series of technological and methodological investigations concerning remote sensing contribution to the exploitation and examination of geothermal phenomena, important for geology and structure, was started at the Chaudes-Aigues testing site (Cantal, Central Massif), where natural springs of thermal waters, hottest in France, were located. Six flights effected throughout four seasons (1970—1972—1973—1974), combined with ground measuring, allowed to obtain a wide range of materials with the aid of the following equipment:

- Hasselblad camera using four types of emulsion (panchromatic, colour, infra-red black-and-white, infra-red colour),
- scanners: multispectral — Daedalus-Noneywell, ten — channelled, sensitized from 0,3 to 1,1 μm ; one-band Cyclope (3—5 μm), LDM (10,5—12,5 μm), side-looking airborne radar (RAAL).

Investigations of the correspondence between detectable phenomena and the characteristics of the assemble — receiver-airplane were carried out in the field of data acquisition as well as data processing and photo visualization (Visumat system), graphical and cartographical presentation (Diviset system).

The findings allowed to specify precisely the fields of their application and to improve the air- electromagnetic methods in accordance with geological objects of geothermal purpose.

Through confronting the findings with the results of ground investigations the mechanism of thermal waters efflux at Chaudes-Aigues may be presented as follows:

- thermal anomaly of the area covered with remote sensing, north of the agglomeration, of the amplitude +2 to +3°C similar to that which appears in thermal springs located in the city, proves that hot liquids circulate under this spot,
- cracks condensation in the neighbourhood of Chaudes-Aigues could be estimated, what allowed to propose a hydrothesis of the image of a hot water basin in the area covered with unpenetrable rocks;
- the model of the thermal waters circulation of a thermosiphon type may be elaborated owing to structural information obtained through medium scale remote sensing.

JEAN-PIERRE GIBERT, SERGE PAUL

TÉLÉDÉTECTION AÉRIENNE DANS L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES GÉOTHERMIQUES À CHAUDES-AIGUES (CANTAL, FRANCE)

R é s u m é

Une série de recherches à caractères technologiques et méthodologiques, concernant l'apport de la télédétection aérienne à l'exploration et à l'étude de phénomènes géothermiques, compte tenu du contexte géologique et structural, a été entreprise sur le secteur test de Chaudes-Aigues (Cantal, Massif Central français), où se trouvent les émergences naturelles d'eaux hyperthermales les plus chaudes de France (80°C).

Six vols, répartis en quatre campagnes (1970—1972—1973—1974), avec postes de mesures au sol, ont permis de mettre en oeuvre une gamme élargie de matériels comprenant:

- des appareils photographiques (Hasselblad), chargés de quatre types d'émulsions (panchromatique, couleur, infrarouge noir et blanc et infrarouge couleur);
- des capteurs à balayage: multibande, Daedalus-Noneywell, à dix canaux répartis entre 0,3 et 1,1 μm m; monobande: Cyclope (3—5 μm); LMD (10,5—12,5 μm);
- un émetteur-récepteur, en hyperfréquence, à balayage latéral (RAAL).

La recherche des compatibilités entre les phénomènes à détecter et les caractéristiques du couple capteur-vecteur a été effectuée tant au niveau de la saisie des données qu'au niveau de leurs traitements et de leurs communications photographiques (système Visumat), infographiques et cartographiques (système Diviset).

Les résultats obtenus ont permis de préciser les domaines d'application et d'affiner les méthodes aéro-électromagnétiques en fonction d'un objectif géologique à finalité géothermique.

En combinant les données obtenues avec celles recueillies au sol, le mécanisme des émergences d'eaux hyperthermales à Chaudes-Aigues a pu être approché comme suit:

- une anomalie thermique de surface télédétectée au nord de l'agglomération, d'amplitude (+2 à +3°C) semblable à celle produite par les sources thermales localisées dans la ville, démontre l'existence de circulations de fluides chauds en sub-surface, en ce lieu;
- la densité de fracturation, dans les environs de Chaudes-Aigues, a pu être estimée, ce qui a permis de proposer des hypothèses quant à la représentation d'un réservoir fissuré d'eaux chaudes, dans cette région aux roches imperméables;
- un modèle de circulation des eaux thermales, de type thermosiphon, a pu être élaboré, en partie grâce aux informations structurales télédétectées à l'échelle moyenne.