SOCIÉTÉ NATIONALE POUR L'ÉQUIPEMENT DE LA GÉOTHERMIE

GEOCHALEUR

CONFIDENTIEL

POSSIBILITÉS GÉOTHERMIQUES DE LA RÉGION CHAMPAGNE - ARDENNE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département géothermie

Service géologique régional
CHAMPAGNE - ARDENNE

79 SGN 739 GTH/CHA

SOCIÉTÉ NATIONALE POUR L'ÉQUIPEMENT DE LA GÉOTHERMIE

GEOCHALEUR

POSSIBILITÉS GÉOTHERMIQUES DE LA RÉGION CHAMPAGNE - ARDENNE

par

Ph. MAGET et D. RAMBAUD

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département géothermie
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex
Tél.: (38) 63.80.01

Service géologique régional
CHAMPAGNE - ARDENNE
13, bd du Général Leclerc - 51100 Reims
Tél.: (26) 88.18.98

79 SGN 739 GTH/CHA

Décembre 1979

Réalisation : Département des Arts Graphiques

RESUME

L'étude sur les possibilités géothermiques de la Région "Champagne-Ardenne", réalisée à la demande de la Direction Régionale de l'Equipement, complète l'étude générale de 1976 pour aboutir ensuite au choix de plusieurs sites où des études de faisabilité peuvent être entreprises.

Cinq systèmes aquifères principaux se dégagent :

- les sables du Crétacé inférieur, peu profonds donc de température n'excèdant pas 30-45°, dont les caractéristiques hydrogéologiques sont mal connues,
- les calcaires du Lusitanien, très peu connus également mais pouvant fournir de l'eau à 60° vers la Brie,
- les calcaires du Dogger, les plus productifs, où l'eau dépasse 70° toujours vers le centre du Bassin, entre la Marne et la Seine,
- les grès du Rhétien, offrant un intérêt relatif au Nord-Est de la Région,
- les grès du Trias, probablement très productifs entre Saint-Dizier et Chaumont où la température de l'eau va de 20 à plus de 70°.

Les cartes de synthèse montrent que les zones les plus favorisées sur le plan ressource sont localisées approximativement au droit de la Marne à l'aval de Châlons sur Marne et à l'amont de Saint-Dizier.

SOMMAIRE

Pages

Résumé
Sommaire
Introduction 1
Cadre géologique 2
Méthodologie 4
Etude des aquifères 7
- Crétacé inférieur 8
  . Albo-aptien 9
  . Néocomien 13
- Lusitanien 15
- Dogger 20
- Rhétien 27
- Trias 31
- Primaire 36
Conclusion 37

LISTE DES PLANCHES

EN ANNEXE	CARTE N°
- Crétacé inférieur :	
Albo-aptien	
Extension et nature des réservoirs	1
Epaisseur	2
Profondeur	3
Température	4
Néocomien	
Nature et épaisseur du réservoir,	5
Profondeur	6
Température	7
- Lusitanien	
Nature du réservoir	8
Epaisseur	9
Profondeur	10
Perméabilité	11
Température	12
- Dogger	
Nature et épaisseur des calcaires	13
Epaisseur	14
Profondeur	15
Porosité	16
Perméabilité	17
Piézométrie	18
Salinité	19
Température	20
- Rhétien	
Nature et épaisseur du réservoir	21
Profondeur	22
Caractéristiques du réservoir	23
Salinité	24
Température	25
- Trias	
Nature et épaisseur du réservoir	26
Profondeur	27
Caractéristiques du réservoir	28
Piézométrie	29
Salinité	30
Température	31

HORS TEXTE	
Cartes de synthèse :	
- Lusitanien	S1
- Dogger	S2
- Rhétien	S3
- Trias	S4
Localisation des ressources	S5

INTRODUCTION

L'étude sur les possibilités géothermiques de la Région "Champagne-Ardenne" a été réalisée à la demande de la Direction Régionale de l'Equipement, dans le cadre d'un contrat avec la Société Nationale pour l'Equipement de la Géothermie (Géo-Chaleur), et avec l'aide financière du Comité Géothermie. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières a été chargé de l'étude des ressources, et le bureau d'étude TETA de l'aspect utilisation.

Cette étude comporte deux parties :

- une étude générale comprenant un inventaire des ressources et un inventaire des besoins,
- une étude particulière de plusieurs sites pouvant aboutir à des études d'avant projet.

Ce rapport présente l'étude générale des ressources dans la Région "Champagne-Ardenne". Il vient en complément de l'étude générale antérieure* dans laquelle la Région occupait une place marginale en raison du seuil de température considéré à cette époque (50°). Depuis, ce seuil de température a été abaissé, notamment du fait de l'emploi de systèmes de chauffage à plus basse température de retour pour les habitations et de possibilités nouvelles dans l'industrie.

* "Potentiel géothermique du Bassin Parisien" - 1976. HOUSSE B., MAGET Ph. - AC : D.G.R.S.T. / B.R.G.M. / ELF AQUITAINE.
N° 74-7-0990.

CADRE GEOLOGIQUE

Les formations sédimentaires du Bassin Parisien sont disposées en couches successives régulières qui ont leur plus grande profondeur sous la Brie, entre Meaux et Provins et qui affleurent en "auréole" vers l'Est jusqu'aux roches cristallines du massif des Vosges. La région étudiée se situe non loin de la zone la plus profonde, sur la remontée orientale des formations sédimentaires.

Le Bassin Parisien renferme de nombreuses formations aquifères, parmi ces couches sédimentaires, dont la plus profonde est à plus de 2 kilomètres de profondeur. A partir de la surface du sol nous trouvons successivement :

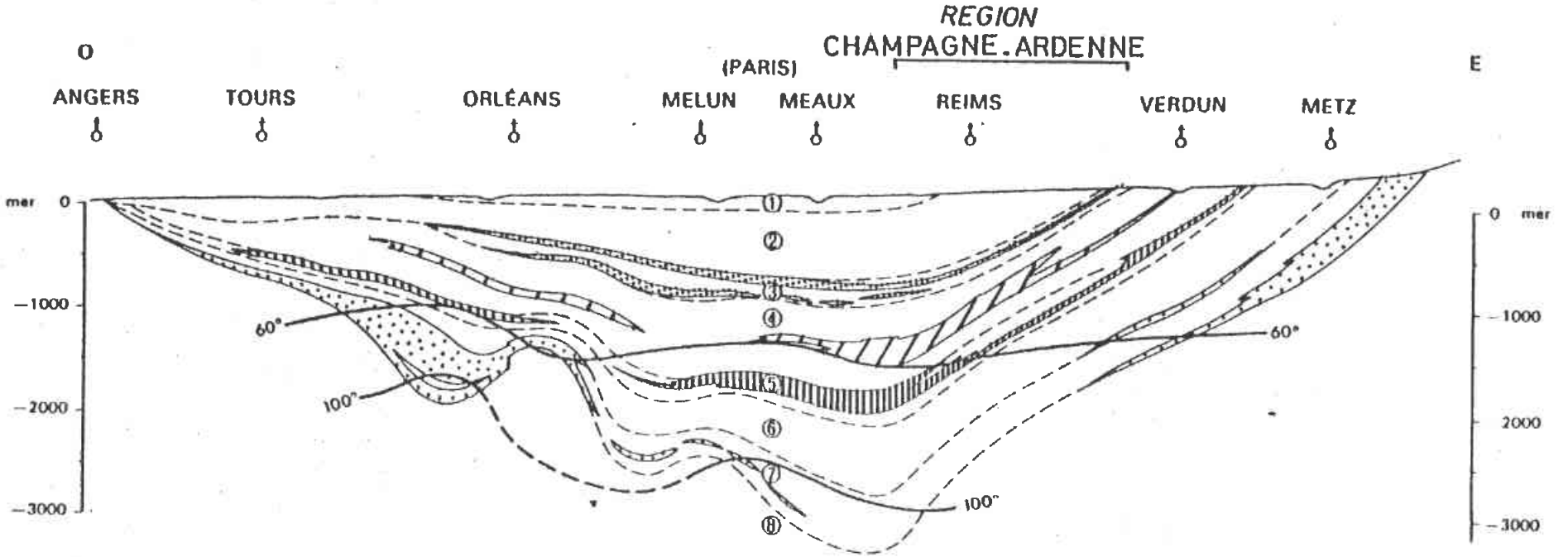
- la craie du Crétacé supérieur : roche poreuse mais peu perméable ; ne constitue un réservoir qu'irrégulièrement lorsqu'elle est fracturée, ou en surface,
- les sables du Crétacé inférieur : qui comprennent l'aquifère bien connu de l'Albien, capté en région parisienne, mais qui affleure à l'Est,
- les calcaires du Lusitanien : premier réservoir renfermant de l'eau vraiment chaude, mais très peu connu,
- les calcaires du Dogger : réservoir le plus important du Bassin Parisien, objectif exclusif en géothermie, jusqu'à maintenant,
- les grès du Rhétien : connus au Nord-Est,
- les grès du Trias : très développés en Lorraine où ils affleurent et constituent un réservoir d'une très grande importance pour l'alimentation,
- les calcaires du Primaire : dont la structure géologique est extrêmement complexe.

Toutes les autres couches géologiques ne peuvent constituer des réservoirs du fait de leur lithologie (terrains argileux, calcaire compact).

Parmi ces terrains, sont éliminés tous ceux dont la température est inférieure à 25° environ, seuil défini en fonction des techniques d'utilisation de la géothermie et du contexte économique actuels. De ce fait, la craie du Crétacé supérieur n'est pas retenue.

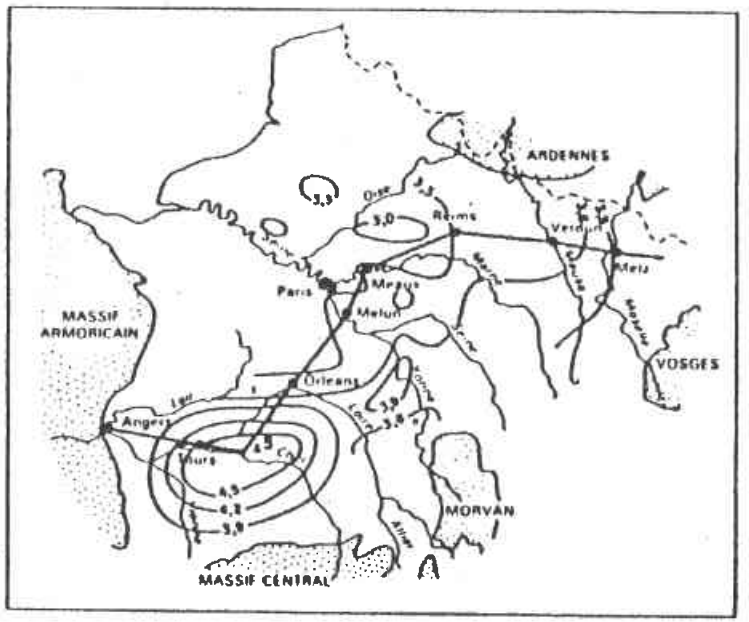
L'ensemble des formations aquifères dans la Région "Champagne-Ardenne" est reporté sur la coupe de la page suivante.

COUPE SCHÉMATIQUE DES AQUIFÈRES PROFONDS DU BASSIN PARISIEN



REPARTITION DU GRADIENT GEOTHERMIQUE

TRACÉ DE LA COUPE



NIVEAUX STRATIGRAPHIQUES

① Tertiaire

② Crétacé supérieur

③ Crétacé inférieur

④ Jurassique supérieur

⑤ Jurassique moyen

⑥ Lias

⑦ Trias

⑧ Socle

Limite stratigraphique

AQUIFÈRES

Sables de l'Albien
Sables de la base du Crétacé

Calcaire du "Lusitanien"

Calcaire du Dogger

Grès du Rhétien
Grès fluviatiles à l'Ouest
"Grès vosgiens", "grès bigarrés" à l'Est

METHODOLOGIE

L'évaluation quantitative du potentiel géothermique nécessite la connaissance d'un certain nombre de caractéristiques hydrogéologiques. Bon nombre de ces caractéristiques ont été présentées dans l'étude générale de 1976 ; nous nous sommes efforcés de compléter cette étude en reprenant tous les documents disponibles et utilisables.

Rappelons que la détermination de ces caractéristiques fait appel à des méthodes particulières, en regard des études de nappes superficielles. Les données acquises proviennent de la recherche pétrolière ; elles ne peuvent être utilisées qu'avec précaution et les résultats sont souvent imprécis. Pour chaque caractéristique recherchée, nous ferons donc quelques remarques ayant trait à la précision des résultats.

- Profondeur :

  Calées sur les forages pétroliers, les courbes sont tracées à partir de synthèses de sismique réflexion. Le document de base est la carte structurale du toit du Dogger de Héritier et Villemin (ELF) à partir de laquelle ont été extrapolées la plupart des autres cartes, entre les points de calage des forages. L'imprécision est donc d'autant plus importante que l'on s'éloigne de l'horizon sismique de référence et des points de calage. Dans certains cas, une réinterprétation sismique pourrait être envisagée pour réduire l'incertitude, au stade de l'avant projet.

- Epaisseur :

  On distinguera dans notre étude :

  . l'épaisseur totale de la formation qui contient les bancs poreux ; elle correspond à la hauteur de captage,

  . l'épaisseur utile du réservoir, c'est à dire des niveaux réellement productifs. C'est cette valeur qui sera prise en compte pour la détermination de la "transmissivité". La hauteur utile est calculée à partir des diagraphies différées soniques ou nucléaires.

- Perméabilité :

  Un réservoir est constitué par une roche poreuse ; encore faut-il que l'eau contenue dans les pores puisse circuler facilement pour le drainage de la nappe autour du puits de production. La perméabilité est la caractéristique qui représente cette faculté pour un réservoir. C'est le paramètre fondamental en hydrogéologie.

Malheureusement, la perméabilité est le paramètre le plus difficile à connaître pour les nappes profondes. Elle ne peut être déterminée que par des essais de type "pétrolier" très imprécis pour de multiples raisons :

. faible hauteur testée,

. très courte durée (de ce fait, ils n'intéressent que les abords du trou, plus ou moins envahis par la boue de forage),

. imprécision des enregistreurs de pression,

. mauvaise représentativité des résultats, dans la majorité des cas, étant donné que l'objectif des pétroliers est l'extrêmité sommitale des réservoirs, et pas nécessairement la partie la plus perméable.

La perméabilité obtenue dans ces conditions marque généralement par défaut. Dans le centre du Bassin Parisien, où il existe plusieurs forages géothermiques, le facteur de correction varie de 1 à 4. La grande imprécision de ce type d'essai ne permet pas de corréler ce facteur de correction avec le litho-faciès du réservoir.

La perméabilité peut être obtenue également par mesures sur carottes ; cette méthode n'est cependant pas représentative des conditions de fond et les mesures montrent une dispersion très importante.

La perméabilité est la caractéristique qui influe le plus sur le calcul du débit d'exhaure dans un forage. Les valeurs qui sont indiquées dans notre étude étant imprécises, voire hypothètiques, il s'ensuit que les débits qui seront calculés correspondront à un ordre de grandeur probable. Dans certains cas, il s'agira même d'une base hypothètique qui ne pourra être confirmée -ou infirmée- qu'après des essais sur un premier forage.

- Piézométrie :

Les cotes piézométriques -c'est à dire les cotes d'élévation de l'eau dans un forage- sont connues à partir d'enregistrements de pression au niveau des formations testées. La précision des enregistreurs est -au mieux- de 2 % ; les pressions mesurées étant de l'ordre de 100 à 200 kg/cm^2, l'incertitude est donc au moins de 2 à 4 kg/cm^2, ce qui représente en hauteur d'eau approximativement plus ou moins 20 à 40 mètres. En outre, il est difficile de savoir si les pressions recueillies sont stabilisées ou non, d'où un accroissement de l'incertitude.

La cote piézométrique de la nappe permet de savoir si l'eau sera artésienne et quel sera le niveau de base avant pompage, donc le rabattement maximal en fonction du débit souhaité.

- Salinité :

Les aquifères du Bassin Parisien sont salés à partir d'une profondeur de l'ordre de 600 à 1000 m. Toutes les salinités connues proviennent des données de forages pétroliers ; elles correspondent, dans la grande majorité des cas, à des analyses sommaires -dites "de chantier"- et les résultats sont exprimés en "équivalent en chlorure de sodium" (ou NaCl). Cette équivalence est représentative de la salinité totale pour les nappes profondes où la teneur est supérieure à 10 g/l, sachant que les eaux sont essentiellement chlorurées-sodiques. Cela n'est plus vrai à la périphérie du Bassin Parisien où les teneurs sont plus faibles. Il conviendra donc d'être prudent dans le jugement de ces secteurs si le problème de la réinjection peut ne pas se poser.

- Température :

Les cartes de température au niveau des aquifères ont été établies à partir de deux types de données : la température de l'eau de formation et température de la boue de forage, en fond de trou.

Le premier type, le plus représentatif, est rare dans la Région "Champagne-Ardenne" ; c'est donc le deuxième type de données, qui marque par défaut, qui a été utilisé, moyennant une correction (méthode employée pour l'étude générale de 1976). De ce fait, l'incertitude sur les valeurs présentées sera supérieure à celles prises habituellement dans la région parisienne, à profondeur égale.

Il s'agit de température au niveau des réservoirs. La température à prendre en compte en surface est plus faible ; l'écart est d'autant plus grand que le débit d'exhaure est faible. A titre d'exemple, pour un captage à 1600 m de profondeur dans la région parisienne, on a noté 2° d'écart pour un débit de 130 m^3/h et 6° à 60 m^3/h.

ETUDE DES AQUIFERES

Les 5 grands systèmes aquifères retenus sont ceux du :

- Crétacé inférieur, (1)
- Lusitanien,
- Dogger,
- Rhétien,
- Trias.

} (2)

Pour chacun d'eux sera exposé successivement :

. la géologie du réservoir : description du réservoir et sa position dans le cadre géologique général,

. les caractéristiques hydrogéologiques dont la détermination est nécessaire pour une étude de site,

. la conclusion, ou l'on trouvera :

- une carte de synthèse liée à l'utilisation de la géothermie (productivité et température),
- un tableau des caractéristiques hydrogéologiques pour les principaux sites éventuels.

(1) (par O. Rambaud SGR/CHA)

(2) (par Ph. Maget GTH)

CRETACE INFERIEUR

INTRODUCTION

L'analyse des propriétés des réservoirs et des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères du Crétacé de la Région "Champagne-Ardenne" repose essentiellement sur les données de diagraphies électriques réalisées sur les sondages pétroliers. Toutefois, l'inégale distribution de ces sondages en Champagne pose un problème ; le manque d'informations dans certaines régions comme celles d'Epernay, Châlons sur Marne, Sézanne, nous a conduits à proposer une interprétation résultant d'une extrapolation des données acquises sur quelques sites.

Nous distinguons dans le Crétacé inférieur deux ensembles sableux correspondant aux séries stratigraphiques de :

- Albo-aptien,
- Néocomien.

ALBO-APTIEN

GEOLOGIE DU RESERVOIR (carte n° 1)

Nous étudierons globalement les formations sableuses et gréseuses de l'Aptien et de l'Albien. Leurs propriétés réservoirs et hydrodynamiques sont très semblables sur le territoire de la région "Champagne-Ardenne".

Ces formations ont été rencontrées par sondages profonds dans le département de la Marne, dans le Sud-Ouest du département des Ardennes, et dans le Nord-Ouest du département de l'Aube.

Lorsque la série est complète comme dans le Sud de la région (Sud de la Marne et Nord de l'Aube), l'Albo-Aptien se compose de quatre niveaux sableux ou gréseux (cf. coupes de la page suivante).

- Un niveau inférieur que l'on peut attribuer à l'Aptien et qui semble tout particulièrement développé dans la région de Châlons sur Marne où il peut atteindre 15 à 20 mètres : ce sont des sables ou grès fins à très fins (80 à 250µ) gris-blanc contenant des passées argileuses micacées et ligniteuses. Ces sables et grès sont recouverts par 20 à 40 m d'argiles ou marnes silteuses.

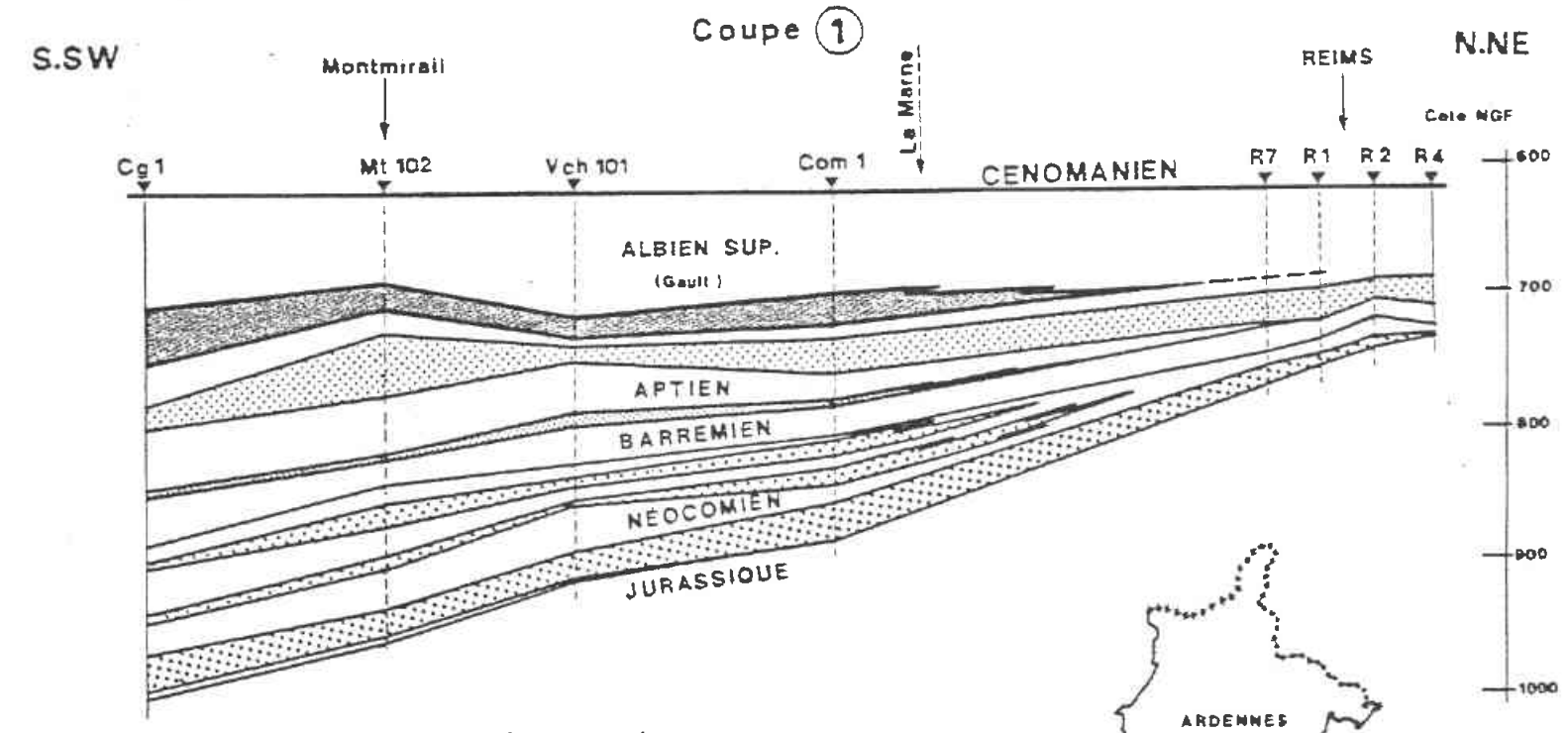
- Les "sables verts" de l'Albien inférieur :
ce sont des sables gris-vert très glauconieux, généralement fins (80 à 250µ) qui peuvent renfermer des petits niveaux de sables plus grossiers hétérométriques (250 à 1000µ). (Sondage La Grande Paroisse en Seine et Marne, près de Montereau). Ce niveau se développe particulièrement dans la région occidentale où il peut atteindre 20 à 25 m près de Sézanne (forage de Courgivaux). Cet épisode sableux est suivi par le dépôt d'argiles micacées (argiles de "l'Armance").

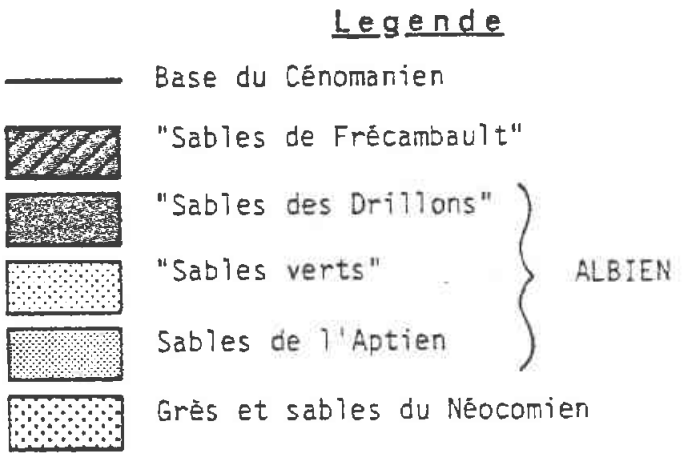
- Les sables des "Drillons" de l'Albien moyen :
ce sont des sables gris-vert à gris-noir assez fins et bien classés (250 à 500µ). Ce niveau peut atteindre 30 à 40 m dans le secteur occidental de la région. Il est surmonté par des argiles parfois indurées (argiles "tégulines").

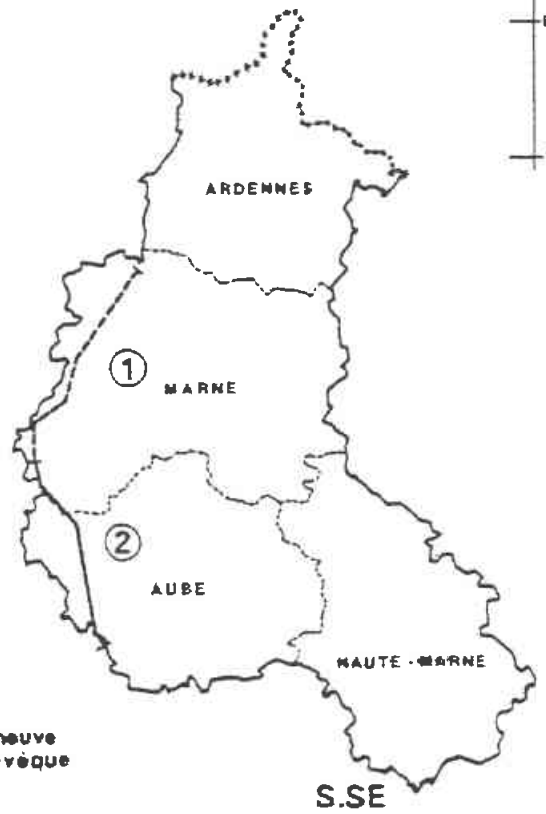
- Sables de "Frécambault" de l'Albien supérieur :
ce sont des sables ou des grès moyens (250 à 1500µ), grisâtres à gris-blanchâtre et localement glauconieux (surtout à la base). Les grès possèdent généralement un ciment calcaire (forage de la Grande Paroisse). Ce niveau est très peu développé en région "Champagne-Ardenne" : on ne le trouve que dans le Sud près de Rouilly, épais de 5 à 10 m. Vers le Nord, le faciès évolue vers un pôle argileux ("Marnes de Brienne" et "Argiles du Gault").

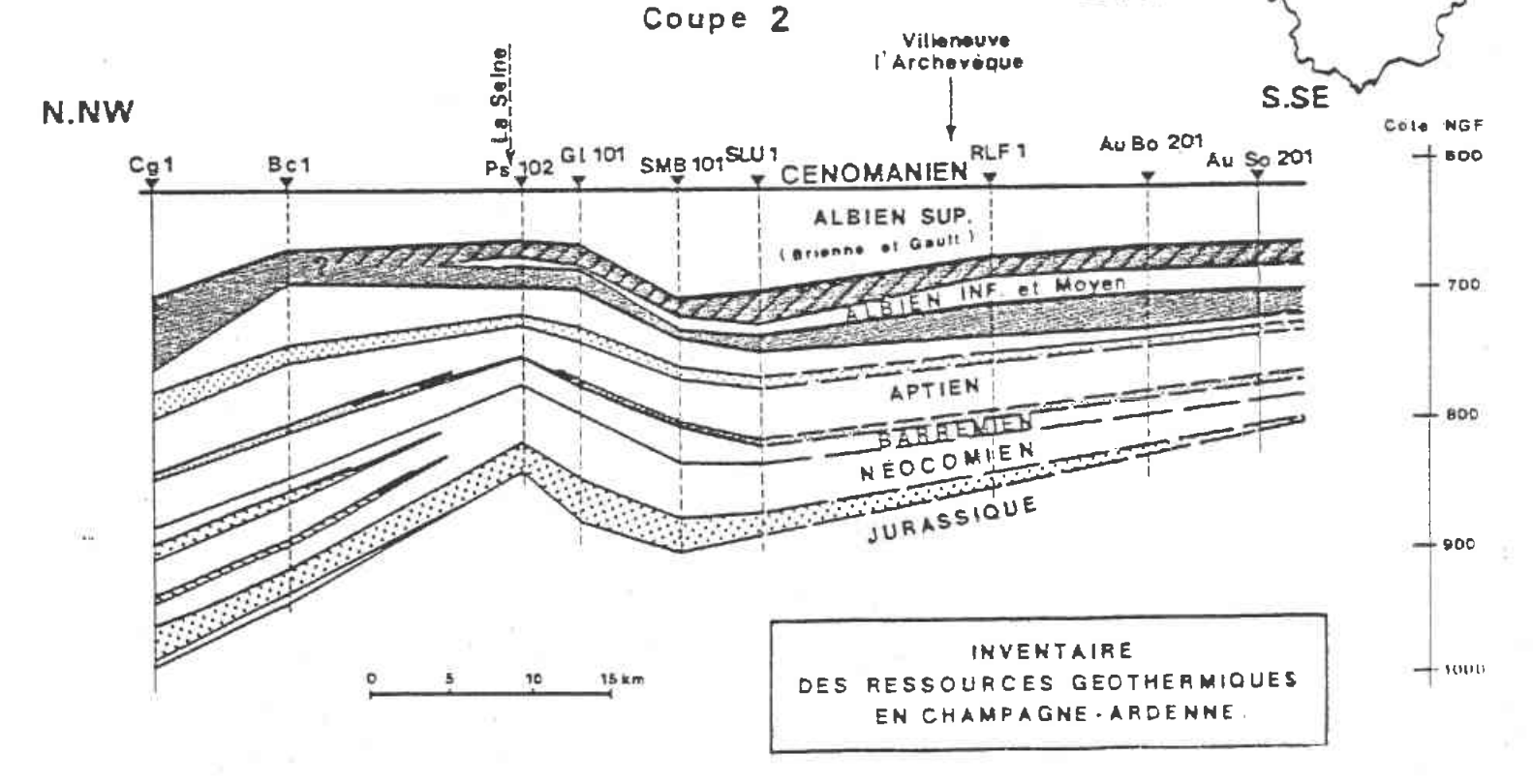
COUPES LITHOLOGIQUES SCHEMATIQUES.

(D'après sondages pétroliers)









INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

- Epaisseur :

La carte n° 2 représente le réservoir "utile" de l'Albo-Aptien, c'est à dire l'épaisseur cumulée des niveaux sableux et gréseux.

Il apparaît qu'à l'Ouest d'un méridien passant par Sézanne l'épaisseur des niveaux sableux croît assez rapidement, jusqu'à plus de 50 m. A l'Est de cette région assez favorable, l'épaisseur des niveaux sablo-gréseux est faible et n'atteint pas 20 m à Reims et Châlons sur Marne.

- Profondeur :

La carte de profondeur du toit des sables de l'Albien (n° 3) montre un approfondissement général du bassin vers l'Ouest (centre du Bassin de Paris). Ainsi, à l'endroit le plus profond en région "Champagne-Ardenne", le toit des sables se trouve à une côte inférieure à -700 m, soit une profondeur de plus de 925 m. Remarquons que ce secteur, le plus profond, se situe à l'extrémité occidentale d'une dépression orientée grossièrement Est-Ouest, sorte de macrochenal dont l'origine peut être liée à la faille "du Pays de Bray".

- Caractéristiques du réservoir :

Dans les niveaux de sables homométriques, la porosité peut être assez importante mais la perméabilité reste mal connue car ces horizons supérieurs n'ont pas fait l'objet de tests au cours des forages pétroliers. Nous rapporterons donc d'une part les données de deux sondages d'eau réalisés en bordure occidentale de la limite de captivité de l'aquifère (Grandville et Chatillon sur Broue) et d'autre part, les données du sondage profond carotté de "La Grande Paroisse", situé à l'Ouest de notre secteur d'étude, près de Montereau.

. Sur le forage d'eau de Grandville (N° 262-3-26)), un essai de perméabilité réalisé sur échantillon sous pression fournit une valeur de perméabilité de 5.10^{-7} m/s ce qui est très faible.

. Sur le forage de Chatillon sur Broue (N° 264-1-11), la perméabilité calculée est de 1.10^{-6} m/s ce qui reste dans le même ordre de grandeur.

. Par contre, sur le forage de "La Grande Paroisse", la transmissivité calculée est de 1 à $1,5.10^{-4}$ m^2/s soit une perméabilité de l'ordre de 10^{-5} m/s. Cette valeur est donc beaucoup plus favorable.

Dans l'absence de données entre ces deux régions, on peut penser qu'à l'Est du méridien passant par Sézanne (que nous avons défini plus haut) et correspondant à un net amenuisement des niveaux sableux, les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère tendraient à être médiocres.

- Piézométrie :

On ne peut dresser la carte piézométrique de l'aquifère Albo-Aptien en région "Champagne-Ardenne" dans l'état actuel des données. Toutefois, les valeurs mesurées aux sondages de reconnaissance de"Chatillon sur Broue" et de "La Grande Paroisse" indiquent que la nappe s'écoule vers le centre du Bassin de Paris. En outre, les ouvrages captant l'Albien seraient artésiens dans la vallée de la Seine et dans la basse vallée de l'Aube. Le gradient hydraulique régional calculé entre ces deux points est de l'ordre de 0,4 °/₀₀. On peut également formuler l'hypothèse de l'artésianisme de cet aquifère dans la vallée de la Marne, à l'aval de Châlons sur Marne, compte-tenu de la cote des affleurements et du gradient hydraulique.

- Salinité :

Les données hydrochimiques obtenues aux sondages de Hauteville sous faible recouvrement (75 m de marnes et d'argiles) ou de "La Grande Paroisse" sous recouvrement important (600 m) indiquent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien pour l'Albien.

On note une diminution de la minéralisation totale de la bordure orientale (zone d'affleurement) vers le centre du Bassin de Paris. Ainsi, la résistivité varie de 1770 ohms.cm (forage de Hauteville) à 3775 ohms.cm ("La Grande Paroisse"). Cette minéralisation est en tout point faible.

- Température :

Les valeurs de température ont été calculées à partir des gradients géothermiques des terrains d'une part et des profondeurs du toit du réservoir déterminées sur la carte n° 3 d'autre part.

Des mesures ont été effectuées au sondage de "La Grande Paroisse". La température y est de l'ordre de 30°C, dans un aquifère situé entre 605 et 700 m.

Il ressort de la carte isotherme (carte n° 4) que la température maximale de cet aquifère n'atteint pas 35°C, en "Champagne-Ardenne", les températures les plus élevées, de l'ordre de 30 à 33°C pouvant être rencontrées dans la zone extrême occidentale (régions Ouest de Sézanne et Epernay).

CONCLUSION

Tant du point de vue de la température que du point de vue de la transmissivité (perméabilité et épaisseur de l'aquifère), la zone la plus favorable pour l'exploitation géothermique de basse température apparaît très restreinte en région "Champagne-Ardenne". Elle est limitée à la région extrême dans le Sud-Ouest du département de la Marne dont les villes principales sont Montmirail et Esternay. On peut ici espérer une température supérieure à 30°C et des débits de l'ordre de 100 m^3/h, si l'on se base sur les caractéristiques du forage d'eau près de Montereau.

NEOCOMIEN

GEOLOGIE DU RESERVOIR (CARTE n° 5)

Sous des dépôts essentiellement argileux situés sous l'Albo-Aptien, on rencontre un autre ensemble de couches sableuses dit du "Néocomien" et qui correspond aux étages Valanginien et Hauterivien des stratigraphes.

Avant d'atteindre les niveaux sableux, on rencontre toutefois des calcaires gréseux (du Barrémien) peu épais en "Champagne-Ardenne" ; ils ne peuvent présenter un intérêt pour une exploitation géothermique et ne seront pas traités ici.

Le réservoir néocomien est constitué par des niveaux de grès, gris clair, fin à moyen, légèrement glauconieux, riche en débris coquillers et à ciment calcaire. Il a été rencontré par les sondages profonds à l'Ouest d'une ligne passant par Reims - Châlons sur Marne - Troyes.

Dans la région nord du département de l'Aube, la base du Néocomien est représentée par un niveau de sables gris, fins, translucides, subarrondis, très légèrement calcaires, à débris charbonneux. Ces sables sont connus sous le nom de "sables de Griselles".

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

- Epaisseur : (carte n°5)

  L'épaisseur du Néocomien croît d'Est en Ouest, c'est à dire vers l'intérieur du bassin mais il semblerait que le grand accident Ouest-Est qui prolonge la faille du Pays de Bray ait eu une influence sur la distribution des faciès et sur leur puissance.

  Ainsi, au Sud de la faille, sur le compartiment haut, les dépôts sont peu épais (23 m à Pont sur Seine, près de Romilly) alors qu'au contact de la faille, le compartiment bas se comporte comme un gigantesque chenal où les formations détritiques sont bien développées (95 m au forage de Courgivaux entre Sézanne et Provins).

  D'autre part, les dépôts meubles, sableux, seraient circonscrits au compartiment haut, le compartiment bas étant comblé par des formations gréseuses à ciment calcaire.

  Au plan régional, on observe une diminution relative des dépôts sableux par rapport aux dépôts argileux au fur et à mesure que l'on s'éloigne du rivage. Ainsi, vers la périphérie du Bassin, les sables ou grès représentent la totalité ou les deux tiers de l'épaisseur totale du Néocomien alors que dans la région occidentale les sables ou grès ne représentent plus que le tiers ou la moitié du Néocomien. L'épaisseur maximale de ces sables ou grès est toutefois rencontrée dans cette région où elle atteint 47 m au forage de Grandville 102 entre Arcis sur Aube et Vitry le François.

- Profondeur :

La carte n° 6 se rapporte au mur des sables du Néocomien ; nous cernons ainsi en profondeur tous les réservoirs sableux de la Région. Elle indique un approfondissement général vers l'Ouest (vers le centre du Bassin de Paris). Cet approfondissement est assez important puisque la pente calculée est de l'ordre de 1 %.

Ainsi, la base des sables néocomiens se trouve à la cote - 1003 NGF (profondeur : 1185 m) au sondage de Courgivaux 1, à l'Ouest de Sézanne. Ce secteur se situe à l'aplomb d'une dépression allongée selon la direction Est-Ouest. Ce phénomène, observé entre les vallées de l'Aube et de la Seine, est à relier à l'importante faille du Pays de Bray, qui résulterait de l'abaissement du compartiment nord d'une cinquantaine de mètres environ par rapport au compartiment sud.

- Caractéristiques du réservoir :

Faute de test et de carottage dans ces formations, les caractéristiques sont inconnues. De plus, nous n'avons pas, comme pour l'Albo-Aptien, des points de référence aux alentours de la Région. Nous nous baserons seulement sur l'épaisseur des sables et une analyse qualitative des diagraphies.

- Température : (carte n° 7)

La température n'a pas fait l'objet de prises de mesures ; une appréciation peut toutefois être portée sur cette grandeur en prenant en considération la carte du gradient géothermique du Bassin Parisien basée sur un grand nombre de mesures de température de boue dans les calcaires formant le mur des sables.

On note alors que la température maximale serait de 45°C à l'Ouest de Sézanne, au mur du Néocomien. A Epernay, elle serait de l'ordre de 30°C et à Reims légèrement inférieure à 30°C.

CONCLUSION

Les caractéristiques hydrogéologiques du réservoir du Néocomien sont totalement inconnues dans la Région "Champagne-Ardenne".

Du point de vue de la température, la zone la plus favorable se situe au droit des villes d'Esternay et de Sézanne (40°C) dans le Sud-Ouest du département de la Marne. C'est également dans ce secteur où l'épaisseur "utile" du réservoir est la plus importante (30 à 40m). Cette zone se situe au Nord de la faille du Pays de Bray, où l'on rencontre principalement des faciès gréseux à ciment calcaire.

Plus au Sud, dans le secteur de Romilly sur Seine et Nogent sur Seine, l'épaisseur utile du réservoir est plus faible (15 à 20 m) mais on peut espérer que cette diminution d'épaisseur sera compensée par une augmentation de la perméabilité dans les sables non consolidés de la base du Néocomien (sables de Griselles).

LUSITANIEN

INTRODUCTION

Le Jurassique supérieur renferme 2 épaisses assises calcaires :

- le calcaire du Portlandien, au sommet,
- les calcaires du Lusitanien[1], plus bas.

Le calcaire du Portlandien, situé juste au dessous des sables du Néocomien, est intrinsèquement compact. En Lorraine, il se révèle aquifère lorsqu'il est fracturé, condition qui se rencontre au sommet de certaines structures anticlinales proches de la surface. Ce cas est cependant trop aléatoire pour que l'on retienne cette formation ici.

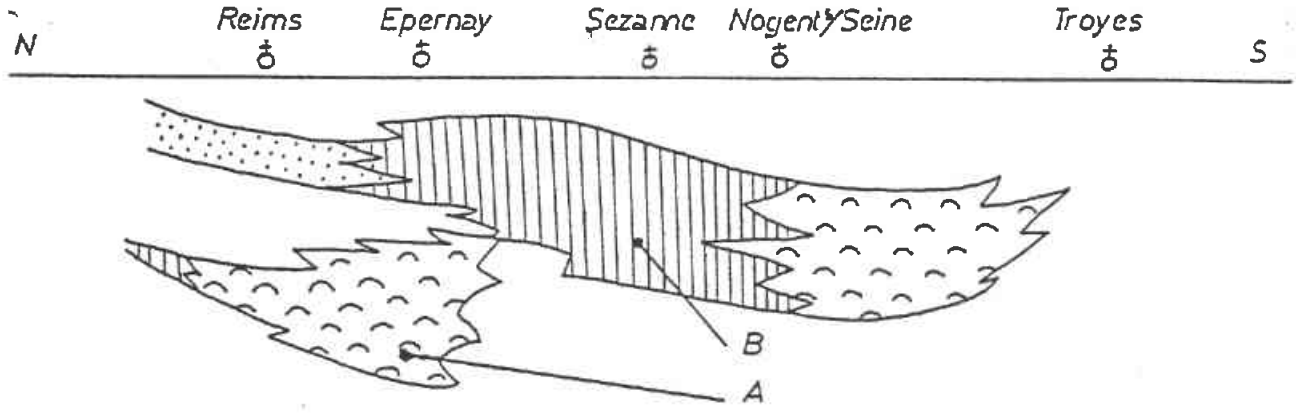
Les calcaires du Lusitanien, présentés dans le rapport de 1976, comportent des niveaux oolithiques et graveleux qui sont poreux. Situés à faible profondeur en Champagne, ils n'ont pas fait l'objet de tests ni d'analyse de recherche pétrolière ; nous ne pourrons donc déterminer que peu de paramètres.

(1) Le terme de "Lusitanien" - aujourd'hui abandonné par les géologues stratigraphes- correspond au Kimméridgien inférieur et Oxfordien supérieur. Etant constitué par une puissante assise calcaire nettement individualisée dans le Bassin Parisien, nous conserverons ce terme.

GEOLOGIE DU RESERVOIR

(cf. carte n°8)

Les calcaires poreux du Lusitanien se répartissent en 2 niveaux distincts séparés par du calcaire compact et des marnes, suivant le schéma ci-joint :



LEGENDE

Grès et calcaire gréseux

Calcaire oolithique et graveleux

Calcaire oolithique à ciment crayeux.

(A) : le réservoir inférieur intéresse la région de Reims et d'Epernay ; poreux, il est cependant peu perméable du fait de sa texture crayeuse. Nous ne le retiendrons donc pas comme objectif.

(B) : le réservoir supérieur présente au Nord un faciès côtier poreux dans sa partie septentrionale, plus compact vers le Sud (grès et calcaire grèseux). Dans la partie médiane (secteur d'Epernay - Sézanne) il passe à du calcaire oolithique et graveleux poreux également (ce faciès disparaît progressivement à l'Est, le calcaire devenant compact et les niveaux poreux de plus en plus fins et dispersés). Au Sud de Nogent sur Seine, le ciment crayeux réapparaît.

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

- Epaisseur : (cf. carte n° 9)

Les calcaires du Lusitanien sont très épais : plus de 200 m près de la Marne en aval. Cependant, l'épaisseur utile correspondant aux bancs oolithiques et graveleux n'occupe qu'une faible partie de la série ; le maximum est de 80 m vers Dormans, mais la moyenne est inférieure à 25 m dans la Région.

On notera l'axe d'épaisseur maximale qui résulte d'une interpolation entre la région de Château-Thierry et celle de Vitry le François. Cet axe se retrouvera pour d'autres paramètres du Lusitanien, mais également pour d'autres formations.

- Profondeur : (cf. carte n° 10)

Nous avons représenté ici le toit du réservoir principal qui correspond aux bancs poreux suffisamment épais pour être retenus dans un captage.

Le toit des calcaires du Lusitanien se trouve de 20 à plus de 100 m plus haut. Cette partie supérieure renferme cependant des niveaux poreux d'épaisseur très inégale mais en général faible. Elle n'a pas été retenue sur cette carte du fait de la présence de banc argileux qui pourraient constituer une gêne dans un captage

- Caractéristiques du réservoir : (cf. carte n° 11)

Le Lusitanien n'a fait l'objet ni de mesures sur carottes ni de test dans les forages de la Région "Champagne-Ardenne". Les données assez nombreuses à l'Ouest sont difficilement extrapolables dans la Région étant donné la rareté des forages.

La zone très perméable qui apparaît entre Dormans et Montmirail s'appuie sur la relation litho-faciès ⇌ perméabilité observée sur les forages occidentaux.

- Salinité :

Les analyses chimiques existantes proviennent de forages situés à l'extérieur de la région. Il s'agit d'analyses sommaires exprimées en équivalent de chlorure de sodium (NaCl).

La salinité "NaCl" est inférieure à 2 g/l sur toute l'étendue de la Région, les valeurs les plus fortes se situant à l'Ouest dans la zone la plus profonde.

Pour ces faibles salinités, la teneur en équivalent "NaCl" ne représente que 50 % -au plus- de la salinité totale (cf. étude B.R.G.M. / ELF AQUITAINE de 1976).

- Température : (cf. carte n° 12)

Les températures n'ont pas été mesurées directement dans le réservoir du Lusitanien : elles proviennent d'extrapolations de mesures au Dogger ou au Trias et de mesures de température de boue corrigées. Les courbes sont donc imprécises, et on doit s'attendre à une incertitude moyenne de ± 5° sur l'ensemble de la Région.

Le niveau de référence est celui de la carte n° 10 étant donné qu'il correspond au réservoir principal susceptible de fournir le débit le plus important.

CONCLUSION

Les calcaires du Lusitanien constituent le réservoir principal du Jurassique supérieur, et s'apparente beaucoup à celui du Dogger qui est étudié dans le chapitre suivant.

La carte hors texte S.1 présente les deux caractéristiques fondamentales en géothermie : la transmissivité et la température du réservoir. Les caractéristiques optimales se situent au droit de la partie aval de la vallée de la Marne et sont liées aussi bien à la nature de la formation géologique qu'à son épaisseur.

Cet aquifère est cependant très mal connu, car il n'a fait l'objet d'aucun test dans les forages pétroliers et n'a été traversé que très rapidement sans analyse géologique détaillée. La carte de conclusion ne présente donc que des zones relatives et les valeurs de transmissivité constituent davantage des hypothèses.

Pour clore ce chapître, le tableau de la page suivante présente les caractéristiques hydrogéologiques pour les sites les plus intéressants de la Région.

LUSITANIEN

(réservoir principal)

Site		Châlons s/ Marne	Epernay	Dormans	Montmirail
Cote sol		+ 80	+ 70	+ 70	+ 150
Côte du toit du réservoir	m. NGF	- 800	-1100	-1280	-1270
Profondeur du toit	m.	880	1170	1350	1420
Epaisseur totale	m.	80	100	130	50
Epaisseur utile	m.	30	50	70	25
Porosité	%	10	12	12	10
Perméabilité de test	d.	0,03 - 0,1	0,05 - 0,2	0,05 - 0,2	0,05 - 0,1
Transmissivité	d.m	1-3	2-10	3-14	1-3
Cote piézométrique	m (NGF)	+ 150	+ 150	+ 150	+ 140
Pression statique au sol	kg/cm	+ 7	+ 8	+ 8	- 1
Salinité NaCl	g/l	2 - 5	2 - 5	2 - 6	2 - 5
Température	°C	43	50	56	54
Observations.					

DOGGER

INTRODUCTION

Le réservoir, dit du "Dogger". constitue actuellement l'objectif exclusif en géothermie dans le Bassin Parisien. La première tentative de captage remonte à 1962 (Carrières sur Seine, à l'Ouest de Paris) ; depuis, 4 stations de chauffage ont été mises en service à partir de cet aquifère (Melun en 1969, Creil et Villeneuve la Garenne en 1976, Mée sur Seine en 1977).

Cet aquifère a été étudié lors de l'évaluation du potentiel géothermique du Bassin Parisien en 1976. Les documents se sont révélés cependant insuffisants pour la Région "Champagne-Ardenne" en raison du seuil de température considéré alors mais aussi du fait de l'échelle de l'étude alors trop générale. L'étude de cet aquifère a donc été reprise totalement.

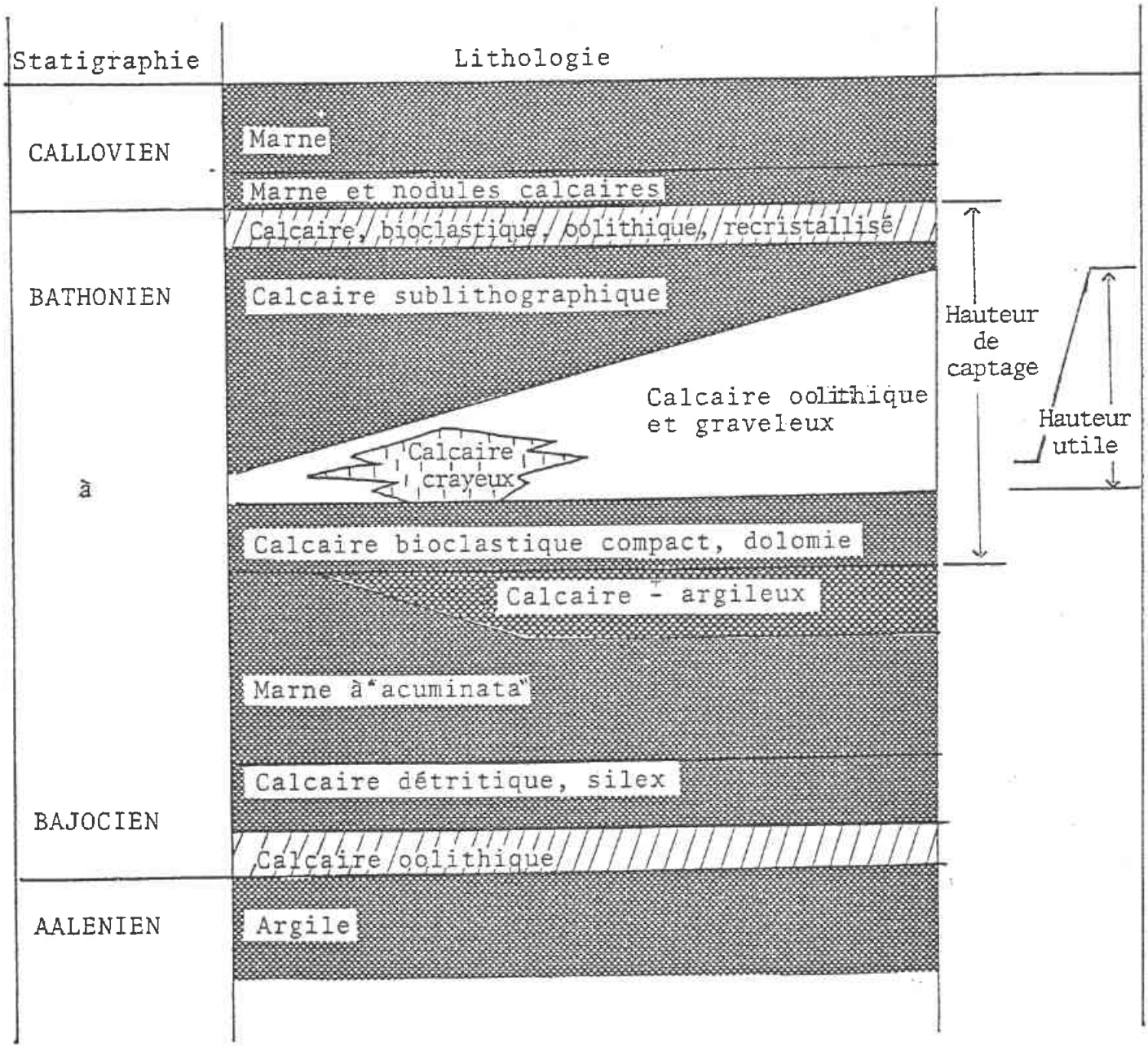
GEOLOGIE DU RESERVOIR

Les dépôts du Dogger se présentent sous une succession de couches calcaires et de couches argileuses (cf. schéma de la page suivante). Le réservoir correspond aux calcaires oolithiques et graveleux qui présentent une porosité de matrice, les autres calcaires étant compacts (calcaire oolithique recristallisé et calcaire sublithographique).

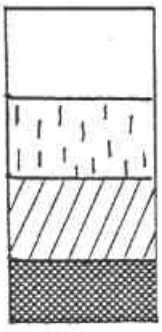
La carte n°13 présente les variations de faciès de l'ensemble calcaire supérieur qui inclut le "réservoir principal".

COUPE SCHEMATIQUE

DU DOGGER



Aspect hydrogéologique des terrains :



poreux et perméable = réservoir principal

poreux, peu perméable

irrégulièrement ou peu poreux

imperméable

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

- Epaisseur :

Il convient de distinguer :

. l'épaisseur totale des calcaires (cf. carte n°13), qu'ils soient poreux ou non. C'est la hauteur dont il faut tenir compte pour le captage, en l'occurrence le "découvert", sachant qu'un équipement de crépines n'est pas nécessaire dans ce type de roche. Les calcaires compacts peuvent éventuellement présenter une perméabilité "apparente" lorsqu'ils sont fracturés, d'où l'intérêt de les inclure pour le captage;

. l'épaisseur des niveaux poreux qui correspondent aux calcaires oolithiques et graveleux;

. l'épaisseur des niveaux perméables où sont exclus les calcaires crayeux. Ce paramètre est directement lié au calcul de la transmissivité, c'est à dire à la productivité de l'aquifère (cf. carte n°14). Il importe sur le plan technique car il n'est pas envisageable de capter les calcaires crayeux qui sont friables et poseraient de sérieux problèmes de tenue de trou dans le forage de production et de colmatage dans le forage de réinjection.

- Profondeur :

La carte n°15 présente les courbes de profondeur du toit des calcaires du Dogger, par rapport au niveau de la mer, qu'ils soient poreux ou non. Le choix de cet horizon est dû à la possibilité de bénéficier d'une fracturation des calcaires compacts et à l'aspect technique du forage (côte de la base des colonnes).

Le réservoir proprement dit est situé 30 à plus de 100 m plus bas, suivant l'importance des calcaires compacts dont le pourcentage est exprimé sur la carte n°13

- Porosité :

Les oolithes et gravelles de la formation du Dogger sont des sphérules plus ou moins cimentées par une pâte calcaire ; cette roche présente donc, comme du grès, une porosité de matrice, dont nous reportons les valeurs sur la carte n°16

La porosité du réservoir est mesurée sur des échantillons prélevés par carottage ou est calculée à partir de certaines diagraphies (sonic, neutron ...). Cette deuxième méthode est cependant beaucoup plus imprécise. C'est pourquoi nous différencions sur la carte ces deux types de mesure.

En outre, nous avons distingué les mesures réalisées dans la partie la plus représentative du réservoir sachant que bon nombre d'entre elles, réalisées dans un but de recherche pétrolière, intéressent la partie supérieure des calcaires qui est plus ou moins compacte.

Les courbes d'égale porosité -10 et 15 %- délimitent approximativement les zones de bon, moyen et mauvais réservoir.

Cette carte appelle les commentaires suivants :

. la zone à porosité maximale se situe à l'extrêmité de la Brie, entre Epernay et Sézanne, où les valeurs peuvent dépasser 20 %. Le réservoir du Dogger présente alors un faciès analogue à celui qui est connu dans les forages géothermiques de Mée sur Seine, Melun, Creil;

. la zone à forte porosité s'étend aussi largement vers le Sud, dans la région de Troyes, où le réservoir est constitué en grande partie par du calcaire crayeux très friable. Nous verrons plus loin que ce type de roche est défavorable à une exploitation.

Les zones où une fracturation a été décelée sont indiquées sur la carte, car elle peut augmenter la porosité apparente.

En outre, les principaux axes anticlinaux décelés par la sismique sont reportés ; on sait que la fracturation des roches est maximale sur ces structures, donc que l'on peut avoir ainsi les caractéristiques de réservoir optimales.

- Perméabilité :

Les essais réalisés dans les forages pétroliers sont relativement nombreux pour le Dogger et l'interprétation des enregistrements de pression a permis l'élaboration de la carte n°17 Cependant, compte-tenu de toutes les imprécisions que nous avons présentées au chapître "méthodologie", la carte a avant tout une valeur relative.

On remarque en particulier :

. la zone la plus perméable se situe près de la Marne, à l'aval d'Epernay et correspond au faciès connu dans les forages géothermiques actuels (calcaire oolithique et graveleux, très poreux),

. au Nord, la très faible perméabilité correspond à l'importance du faciès de plateforme où le calcaire est compact,

. au Sud, dans la région de Troyes, les perméabilités presque nulles correspondant au domaine du calcaire crayeux qui est poreux mais dans lequel la circulation de l'eau est très faible.

Les points de mesure de perméabilité étant peu nombreux, la carte indique également les résultats d'essais de productivité des aquifères. Cela est purement qualitatif, mais il est tout de même significatif de noter que, dans la zone crayeuse du Sud, en dehors des zones localement fracturées, tous les essais ont été négatifs.

Plusieurs essais, indiqués par un figuré spécial, ont été réalisés dans la partie sommitale du Dogger et ne sont ainsi pas représentatifs ; ce sont généralement des tests secs, cette partie étant compacte.

La fracturation est encore indiquée ici, car elle améliore la perméabilité du réservoir.

- Piézométrie :

Parmi toutes les nappes profondes du Bassin Parisien celle du Dogger est celle qui est la mieux connue sur le plan hydrodynamique. La carte n°18 présente les cotes piézométriques, compte-tenu des conditions de fond (température et salinité de l'eau) et permet ainsi de savoir si la nappe sera artésienne en régime d'exploitation.

L'écoulement de la nappe est extrêmement lent dans le secteur le plus profond du bassin, et peut être considéré comme nul.

- Salinité :

La nappe du Dogger au droit de la Région "Champagne-Ardenne" est relativement peu salée : 10 g/l, à l'extrêmité occidentale, près de Montmirail(1). Rappelons cependant qu'il s'agit de salinité équivalente en chlorure de sodium (dite "NaCl") ; ce sel représente 80 % de la salinité totale pour les eaux les plus salées de la région, moins au Nord-Est où la salinité est plus faible.

La carte n°19 montre une augmentation régulière de la salinité avec la profondeur, si l'on excepte une anomalie entre Sézanne et Provins liée à de grandes failles.

Les indices d'hydrocarbure sont nombreux dans la partie centrale de la Région. De l'huile est notamment exploitée à Soudron, au Sud de Châlons sur Marne. L'hydrogène sulfuré (H_2S), facteur important dans les risques de corrosion, doit être présent dans toute la zone profonde du Dogger, entre Epernay et Troyes.

(1) : A Creil, par exemple, la salinité totale est de 30 g/l ; à Melun, elle est de 13 g/l.

- Température :

La carte n°20 présente les courbes de température au toit des calcaires du Dogger. L'augmentation de température vers la base devrait être faible.

Les valeurs sont relativement élevées près de Reims du fait des gradients géothermiques obtenus à partir des mesures existantes : plus de 4°/100 m au toit du Jurassique ; mais du fait de l'extrapolation au Dogger, beaucoup plus bas, la marge d'erreur doit être importante.

Le grand étalement des courbes vers Epernay est dû à la forte diminution du gradient géothermique vers l'Ouest (moins de 3°/100 m).

CONCLUSION

Le réservoir du Dogger est celui qui offre le plus grand potentiel dans le Bassin Parisien.

Les caractéristiques optimales se rencontrent à l'Ouest de la Région, dans le secteur délimité par Dormans, Epernay, Sézanne et Villenauxe. C'est la zone où le réservoir est le plus profond -donc le plus chaud, le plus épais et le plus perméable.

Deux caractéristiques lithologiques défavorables viennent cependant réduire son importance dans la Région "Champagne-Ardenne" : l'épaississement considérable des calcaires compacts an Nord, dans le secteur de Reims, et la prédominance des calcaires crayeux peu perméables au Sud, dans le secteur de Troyes.

Au Nord, les caractéristiques plus défavorables ne doivent pas condamner cet objectif : la fracturation du calcaire peut provoquer une perméabilité apparente, plus élevée ; ces conditions restent cependant aléatoires, bien que les probabilités soient plus fortes sur les axes anticlinaux.

L'ensemble de ces caractéristiques est synthétisé sur la planche S.2 au 1/500 000, avec les courbes de transmissivité de l'aquifère (produit de la perméabilité par la hauteur utile) et celles de température.

En outre, le tableau de la page suivante présente les principales caractéristiques hydrogéologiques pour les principales villes ou pour les sites les mieux placés.

DOGGER

Sites		Reims	Châlons s/ Marne	Epernay	Dormans	Montmirail	Sézanne	Nogent s/ Seine	Troyes	Vitry le François
Cote sol		+ 100	+ 80	+ 70	+ 70	+ 150	+ 110	+ 70	+ 100	+ 110
Cote du toit du réservoir	m NGF	-1100	-1100	-1400	-1550	-1700	-1600	-1470	- 800	- 800
Profondeur du toit	m	1200	1180	1470	1620	1850	1710	1540	900	910
Epaisseur totale	m	170	170	190	230	220	180	250	160	170
Epaisseur utile	m	30	70	100	120	140	120	40	20	100
Porosité	%	< 10	12	12	14	15	15	10	> 15	10
Perméabilité (de test)	d.	< 0,01-0,1	0,01-0,1	0,05-0,1	> 0,1-0,3	> 0,1-0,3	0,01-0,1	. 0,001	< 0,001	. 0,001
Transmissivité	d.m	0,3	0,7	5	> 12	> 14	1,2	0,04	0,02	0,1
Cote piézométrique	m (NGF)	+ 170	+ 160	+ 160	+ 160	+ 150	+ 150	+ 160	+ 180	+ 170
Pression statique au sol	kg/cm^2	+ 7	+ 8	+ 9	+ 9	0	+ 4	+ 9	+ 8	+ 6
Salinité (NaCl)	g/l	4	5	5	5	14	8	6	4	4
Température	°C	55-60	55	64	67	68	68	67	50	45
Observations						Variation très rapide à préciser selon l'implantation	Incertitudes importantes du fait de l'éloignement des forages			

RHETIEN

INTRODUCTION

Le réservoir du Rhétien, présenté dans l'étude générale de 1976, occupe une surface relativement restreinte à l'Est du Bassin Parisien, mais intéresse cependant la Région "Champagne-Ardenne". Ce réservoir est connu près d'Arcis s/ Aube, ainsi que près de Bar s/ Aube, car il renferme de l'huile et du gaz qui sont exploités.

GEOLOGIE DU RESERVOIR

Le réservoir du Rhétien est constitué par des grès poreux en bancs plus ou moins bien définis et intercalés dans de l'argile. Ces grès correspondent à des dépôts issus du Nord-Est (en direction du Luxembourg) qui se sont étalés vers le Sud-Ouest. On observe de ce fait une évolution de la nature du réservoir qui se répercute sur les caractéristiques hydrogéologiques :

- Au Nord-Est, les grès constituent un niveau relativement homogène, et sont essentiellement grossiers,

- Vers le Sud Ouest, les bancs s'amincissent ; les grès deviennent plus fins et sont mêlés à de plus en plus d'argile.

La carte n°21 représente cette évolution : dans le secteur Nord-Est, les grès occupent plus de 50 % de l'épaisseur totale des dépôts ; vers le Sud-Ouest, les argiles deviennent prépondérantes. La limite indiquée du réservoir correspond à moins de 20 % de grès ; la taille des grains est alors très fine et le ciment argileux abondant.

Cette description montre que les caractéristiques les plus intéressantes sont localisées an Nord-Est.

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

- Epaisseur :

  Le réservoir du Rhétien est en moyenne peu épais ; la zone la plus favorable s'étend de Sainte-Menehould à Châlons sur Marne, avec une épaisseur totale de 40 m environ (cf. carte n°21).

  Si l'on considère l'épaisseur "utile" du réservoir, c'est à dire celle des niveaux réellements poreux, seul le secteur de Sainte-Menehould, où les grès sont prépondérants, est à retenir ; cette épaisseur est de l'ordre de 25 m.

- Profondeur :

L'approfondissement du réservoir du Rhétien vers l'Ouest est très rapide : plus de 2600 m près de Sézanne (cf. carte n°22). En fait, le réservoir est alors trop argileux ; dans la zone où les grès sont prépondérants, c'est à dire près de Vitry le François, la profondeur maximale est de l'ordre de 1600 m.

- Porosité : (carte n°23)

C'est vers l'origine des dépôts que nous avons les porosités maximales, c'est à dire vers le Nord-Est, les valeurs moyennes dépassant 20 %. Les porosités restent cependant élevées vers le Sud : 15 % près de Saint Dizier, 12 % près d'Arcis s/ Aube et Bar s/ Aube. A l'Ouest de ces dernières villes, aucune mesure n'a été faite ; la lithologie indiquée dans les rapports de fin de forage montre cependant que la porosité est très faible.

- Perméabilité : (carte n° 23)

Cette caractéristique ne peut être calculée que dans de rares cas et est vraissemblablement sous-estimée. Cependant, une zonation très nette se dégage, en accord avec les variations lithologiques du réservoir :

. les meilleures perméabilités calculées se rapportent aux forages du Nord-Est (0,4 darcy près de la Meuse),

. les valeurs restent relativement élevées sur la bordure orientale de la Région jusqu'à Saint Dizier (0,1 darcy, d'après les essais),

. au Sud et à l'Ouest, les perméabilités calculées deviennent négligeables.

Il y a donc bonne concordance entre les perméabilités et les porosités.

- Piézométrie :

Les mesures de pression utilisables sont trop rares pour qu'il soit possible d'établir une carte piézométrique. Notons seulement que les valeurs les plus élevées sont localisées au Nord-Est, dans la zone la moins profonde où une alimentation peut s'amorcer.

Ailleurs, les valeurs calculées, bien qu'imprécises, ne montrent pas d'axe d'écoulement. Cette nappe, très profonde, est "prisonnière" et ne doit pas avoir de communication latérale.

Dans les fiches techniques des différents sites étudiés, la pression au sol sera estimée à partir des cotes piézométriques les "plus probables", toujours dans les conditions d'exploitation (c'est à dire la température du fond).

- Salinité :

Les salinités de la carte n°24 sont exprimées en teneur en chlorure de sodium.

La nappe du Rhétien est salée, sur toute l'étendue reconnue de la Région. La plus faible salinité -plus de 5 g/l au total- se rencontre à l'extrême Nord-Est, où la nappe est peu profonde, ce qui rejoint également l'hypothèse d'une alimentation à partir de ce secteur.

La salinité augmente ensuite très rapidement et les courbes d'égale salinité se calquent approximativement sur celles de profondeur. Elle dépasse 150 g/l dans le secteur central compris entre la Marne et la Seine. L'eau est alors presque exclusivement chlorurée-sodique.

Le réservoir du Rhétien renferme de nombreux indices d'hydrocarbure sous la Région "Champagne-Ardenne", et fait même l'objet d'exploitation (Champ de Grandville, de Colombe).

- Température :

Nous n'avons qu'une seule température de test au niveau du Rhétien (forage de Mailly le Camp) ; l'évaluation de la température pour ce réservoir sera donc plus imprécise que pour le Dogger. Nous avons utilisé le même gradient géothermique que précèdemment, sauf dans la région de Reims où une rupture de pente paraît sur les courbes de gradient.

La carte n°25 montre un étalement des courbes sous la Brie, dû à une diminution du gradient géothermique qui est presque compensé par l'accroissement de la profondeur.

CONCLUSION

Si l'on excepte la profondeur -et de ce fait la température- les caractéristiques hydrogéologiques optimales sont localisées dans le secteur Nord-Est de la Région, de Sedan à Saint Dizier. Dans ce secteur, c'est à Sainte Menehould que le réservoir est le plus épais et le plus profond (20 à 25 m de grès vers 1400 m de profondeur).

La carte de la planche S.3 présente la synthèse de l'étude de cet aquifère selon les critères fondamentaux (transmissivité et température) et le tableau de la page suivante indique les caractéristiques hydrogéologiques pour les sites les plus favorables.

RHETIEN

Sites Cote sol		Vouziers + 100	Ste Menehould + 140	Châlons s/Marne + 80	St Dizier + 140
Cote du toit du réservoir	m NGF	-1100	-1300	-1850	-1250
Profondeur du toit	m	1200	1440	1930	1390
Epaisseur totale	m	20	40	40	20
Epaisseur utile	m	10	25	20	10
Porosité	%	20	20	12	15
Perméabilité (de test)	d.	0,1	0,1	0,005	0,005
Cote piézométrique	m (NGF)	+ 250	+ 250	+ 200	+ 210
Pression statique au sol	kg/cm^2	+ 15	+ 11	+ 12	+ 7
Salinité (NaCl)	g/l	40	90	130	100
Température	°C	52	60	80	60
Observations					

TRIAS

INTRODUCTION

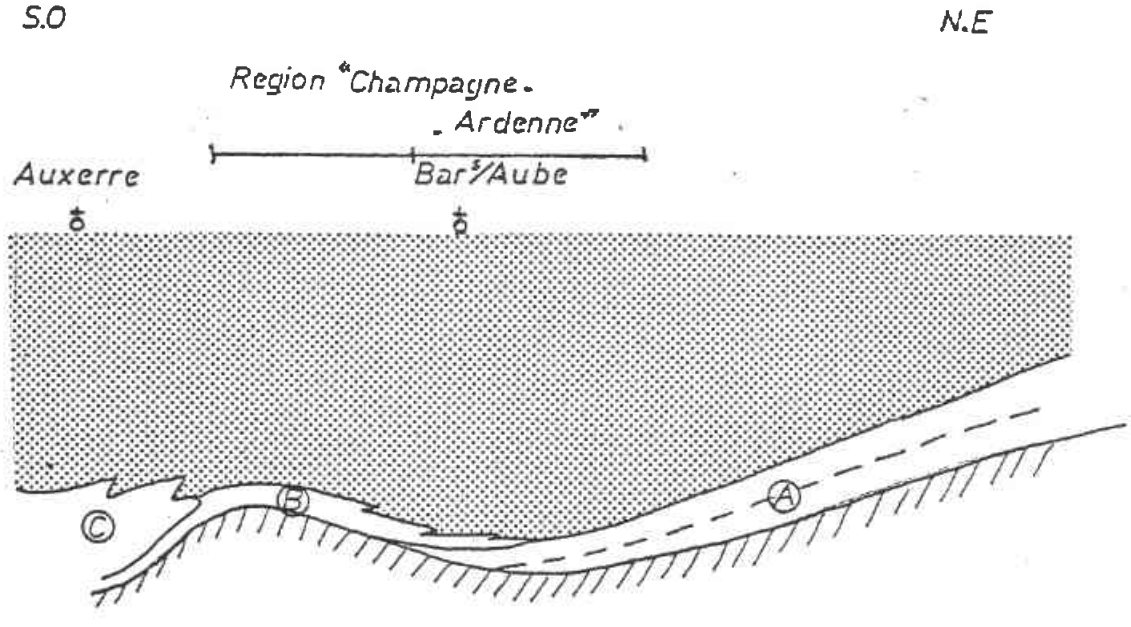
Les grès du Trias inférieur sont bien connus en Lorraine où ils affleurent largement autour des Vosges. Ils constituent alors un réservoir d'importance primordiale pour cette région et font l'objet de très nombreux captages pour l'alimentation en eau potable et industrielle. Le long de la Moselle (Metz, Nancy), où la température de l'eau est de l'ordre de 30°, ce réservoir est exploité sur le plan géothermie : alimentation de piscines, brasseries. La Région "Champagne-Ardenne" se situe en marge de ce réservoir.

L'étude de 1976 sur les ressources géothermiques du Bassin Parisien a montré l'existence d'un autre grand réservoir aquifère dans la partie centrale du Bassin et qui s'étend vers l'Est -approximativement- jusqu'à Auxerre.

Ces deux ensembles semblent plus ou moins en continuité au Sud de Troyes. Nous nous sommes donc penchés dans notre étude davantage sur ce secteur encore mal connu.

GEOLOGIE DU RESERVOIR

Du point de vue géologique, le Trias présente 3 unités de faciès différent favorables à l'existence de réservoir, que nous schématisons ainsi :



Ces 3 unités sont représentées sur la carte n° 26.

(A) Le Trias inférieur du type "lorrain":
Ces grès n'intéressent la Région "Champagne-Ardenne" qu'au Sud de Saint Dizier où ils forment un "golfe" qui s'avance jusqu'à la Seine. Ces grès sont relativement homogènes ; on y distingue cependant 2 assises : l'assise inférieure ("Grès Vosgiens") composée de grès grossiers à moyens et l'assise supérieure ("Grès à Voltzia") où les grès sont plus fins et plus ou moins cimentés par de l'argile.
La terminaison méridionale de ces grès est mal connue.

(B) La "semelle détritique":
C'est par ce terme imagé que l'on désigne les dépôts grossièrement détritiques (grès, conglomérat) qui se sont déposés après les grès de type "lorrain" le long du rivage, au Trias, pendant que la mer issue du domaine germanique s'avançait vers l'Ouest.
Cette formation est très hétérogène et sa limite vers l'Ouest est mal définie. Dans la partie orientale de la Champagne, elle est très argileuse. Au Sud de Troyes, dans le prolongement du "golfe" cité précèdemment, elle est très grossière et pauvre en argile. C'est dans ce dernier secteur qu'elle offre un intérêt en tant que réservoir.

(C) Les grès fluviatiles occidentaux:
Cette formation aquifère s'est déposée sur la "semelle détritique" précèdente, étant ainsi en communication avec les 2 unités précèdentes. Elle n'intéresse cependant pas la Région.

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES

- Epaisseur : (carte n° 25)

Les grès du type "lorrain" ont une épaisseur considérable en Lorraine ; elle est encore de 200 m à la limite de la Région entre Joinville et Saint-Dizier. Le prolongement de ces grès en bordure ("semelle détritique") est d'épaisseur très réduite. C'est dans l'axe du "golfe", au Sud, que l'on trouve la plus grande épaisseur, de l'ordre de 50 m.

Si l'on considère les épaisseurs "utiles", on voit que les grès du type "lorrain" se différencient en 2 unités séparées par des grès plus ou moins argileux ; la carte présente l'épaisseur cumulée de ces 2 niveaux.

Pour la "semelle détritique", l'épaisseur utile est difficile à évaluer du fait de la grande hétérogénéité de la roche. Dans la région de Sainte Menehould, elle peut être de 10 à 30 m. A l'Ouest de Saint Dizier, la variation très rapide des séries laisse supposer que les niveaux poreux doivent être extrêmement réduits. C'est au Sud, près de Bar s/ Seine, que cette formation montre la plus grande hauteur utile : 10 à 20 m.

Il faut noter que la fracturation des roches, très mal connue principalement au Sud, joue un rôle important et rend sans signification la notion de hauteur utile, dans certains cas. Ce paramètre sera donc imprécis dans une étude de site.

- Profondeur : (carte n°27)

Le réservoir du Trias est donc le réservoir le plus profond de la Région. Sous son faciès lorrain -le plus favorable- la profondeur maximale est de 1600 m environ en côte absolue, à Saint Dizier. Plus à l'Ouest, elle atteint 2000 m pour la "semelle détritique" dont les propriétés de réservoir sont douteuses.

La précision avec laquelle sont tracées les courbes est bien inférieure à celle des autres réservoirs étudiés, du fait de l'amplitude mal connue des synclinaux et des failles à rejet. Dans l'étude d'un site, elle sera au minimum de plus ou moins 100 mètres.

- Porosité :

Les mesures sur carottes sont assez nombreuses pour cerner maintenant avec plus de précisions les limites du réservoir. La carte n°28 montre un axe à forte porosité de direction Nord-Est/Sud-Ouest, le long du"golfe" des grès du type lorrain et dans son prolongement vers Auxerre.

Au Sud du "Golfe", de Joinville à Chaumont, la porosité diminue et un ciment argileux apparaît.

- Perméabilité : (carte n°28)

Les forages réalisés au Sud de la région sont en général anciens, et les données de test peu précises. Les perméabilités calculées sont très faibles et ne semblent pas du tout en rapport avec la porosité ni avec la lithologie.

Dans l'étude des sites, nous sommes donc amenés à faire des hypothèses et à prendre des marges d'incertitude très élevées.

Rappelons ici l'influence de la fracturation du réservoir qui peut favoriser la circulation de l'eau. A ce propos, citons les sources de Bourbonne les Bains situées sur un grand accident profond (ou système de failles) en bordure des Vosges.

- Piézométrie : (carte n°29)

Les pressions assez élevées vers les Vosges sont en relation avec l'alimentation de la nappe qui affleure largement en Lorraine. La surface piézométrique s'abaisse progressivement vers le Nord-Ouest contre la limite étanche du Trias.

- Salinité :

Le réservoir du Trias renferme de l'eau à peu près douce à son extrêmité reconnue près de Chaumont, là où les grès sont très peu profonds. La salinité augmente ensuite très rapidement au fur et à mesure que l'on s'enfonce vers le Nord-Ouest : plus de 300 g/l près de Saint Dizier.

La carte n°30 reporte les salinités dites "NaCl" ; nous n'avons en effet aucune analyse chimique pour le réservoir profond.

- Température :

Dans la région étudiée, nous n'avons qu'une seule température du fluide au niveau du réservoir ; partout ailleurs, ce sont des températures de boue "corrigées". L'ensemble de ces données montre des variations du gradient géothermique très rapides, sans doute liées aux circulations le long de failles contre lesquelles ont été réalisés plusieurs forages pétroliers. Il en résulte une mauvaise correspondance entre les courbes de température et celle de profondeur, et l'incertitude sur la détermination de la température pour un site loin de points de calage sera conséquente. A l'Est de Joinville, une température très élevée (plus de 60°) dans un forage n'a pu être utilisée pour tracer les courbes.

Sur la carte n°31 on voit que le principal centre à retenir est Saint Dizier où la température est supérieure à 75°.

CONCLUSION

Le réservoir du Trias présente les caractéristiques les plus intéressantes au Sud de la Région, autour d'un axe passant par Joinville - Bar s/ Seine, les conditions optimales étant du côté oriental. Sur le plan géothermie, c'est la bordure septentrionale de cet axe qui présente le plus d'intérêt, étant la plus profonde et la plus chaude.

Ce réservoir est cependant mal défini : la complexité structurale de la région rend la position du réservoir difficile à préciser et la productivité de l'aquifère ne peut être évaluée qu'à partir de données incomplètes.

La synthèse de cette analyse est présentée sur la planche S.4 où sont reportées les courbes d'égale transmissivité et celles de température. Le tableau de la page suivante présente les paramètres essentiels pour les principaux centres urbains.

Nous avons vu également que la fracturation joue un rôle important (sources chaudes à Bourbonne les Bains, températures relativement élevées dans certains forages) ; les zones fracturées pourraient de ce fait être recherchées pour augmenter le potentiel géothermique de la Région.

TRIAS

Site		St Dizier	Joinville	Bar s/aube	Bar s/Seine
Cote sol		+ 150	+ 200	+ 170	+ 150
Cote du toit du réservoir	m. NGF	-1600	-1200	- 750	- 600
Profondeur du toit	m	1750	1400	920	750
Epaisseur totale	m	100	150	50	50
Epaisseur utile	m	50	80	40	20
Porosité	%	15	15	15	15
Perméabilité	d.	0,1 - 0,3	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6
Cote piézométrique	m (NGF)	+ 170	+ 200	+ 200	+ 200
Pression statique au sol	kg/cm^2	+ 2	0	+ 3	+ 5
Salinité (NaCl)	g/l	250	20 - 50	15	10
Température	°C	75	55	45	45
Observations					

PRIMAIRE

Parmi les terrains antérieurs au Trias connus en affleurement, seuls les calcaires du Givétien peuvent consituer un réservoir lorsqu'ils sont fracturés. En profondeur, ces calcaires ont été rencontrés par forage dans le Nord de la France seulement.

Bien qu'ils puissent exister dans la Région "Champagne-Ardenne" en profondeur, la complexité structurale de la région, liée aux nombreuses phases tectoniques, rend très aléatoire leur recherche. En outre, les caractéristiques hydrogéologiques de ces calcaires sont totalement inconnues, même dans la région d'Arras où ils ont été testés ; dans ce type de réservoir (calcaire fracturé), la perméabilité ne peut de toutes façons pas être déterminée et, de ce fait, un débit ne peut être estimé.

CONCLUSION

Les ressources géothermiques sont réparties irrégulièrement en "Champagne-Ardenne". La carte hors texte S.5 résulte de la superposition des 4 cartes précédentes mais en faisant davantage ressortir le degré de certitude des ressources. Trois zones intéressantes se dégagent :

1. Secteur Ouest, courant le cours aval de la Marne dans la Région, et une partie de la Brie. Il correspond aux 2 aquifères -assez semblables- du Dogger et du Lusitanien, ainsi qu'à ceux du Crétacé inférieur beaucoup moins profonds. C'est le secteur où les ressources sont les plus sûres et les eaux les plus chaudes. Il apparaît autour de ce secteur une très large zone où les ressources sont incertaines :

   - D'une part du fait de la nature du réservoir qui devient défavorable au Nord-Est et au Sud et où seule la fracturation peut permettre d'espérer de meilleurs débits.

   - D'autre part en raison de l'absence d'informations dans toute la zone intermédiaire, qui empêche de préciser la zone de changement de nature du réservoir.

2. Secteur Nord-Est de Sainte Ménéhould à Sedan ; il correspond à l'aquifère du Rhétien ; ce réservoir est cependant modeste du fait de son épaisseur.

3. Secteur Sud-Est, intéressant le cours amont de la Marne, au Sud de Saint Dizier, et les régions de Bar sur Aube et Bar sur Seine. Il correspond à l'aquifère du Trias dont la productivité optimale peut être obtenue vers l'Est.

Sur le plan du développement de la géothermie, la Région "Champagne-Ardenne" offre des possibilités d'exploitation très différentes qui amènent à orienter les projets de deux manières opposées :

1. Zone présentant des chances de succès importantes où des études de faisabilité et des opérations peuvent être entreprises.

2. Zone présentant des chances de succès trop restreintes pour qu'un avant-projet puisse être fait, et dans lesquelles les études de faisabilité feront une part plus ou moins importante aux hypothèses. Il s'agit essentiellement du secteur de Reims et entre Châlons sur Marne et Saint Dizier. On doit alors envisager soit des études complémentaires (tests sur forages pétroliers éventuels, ...) soit une phase d'exploration pour tout avant-projet.

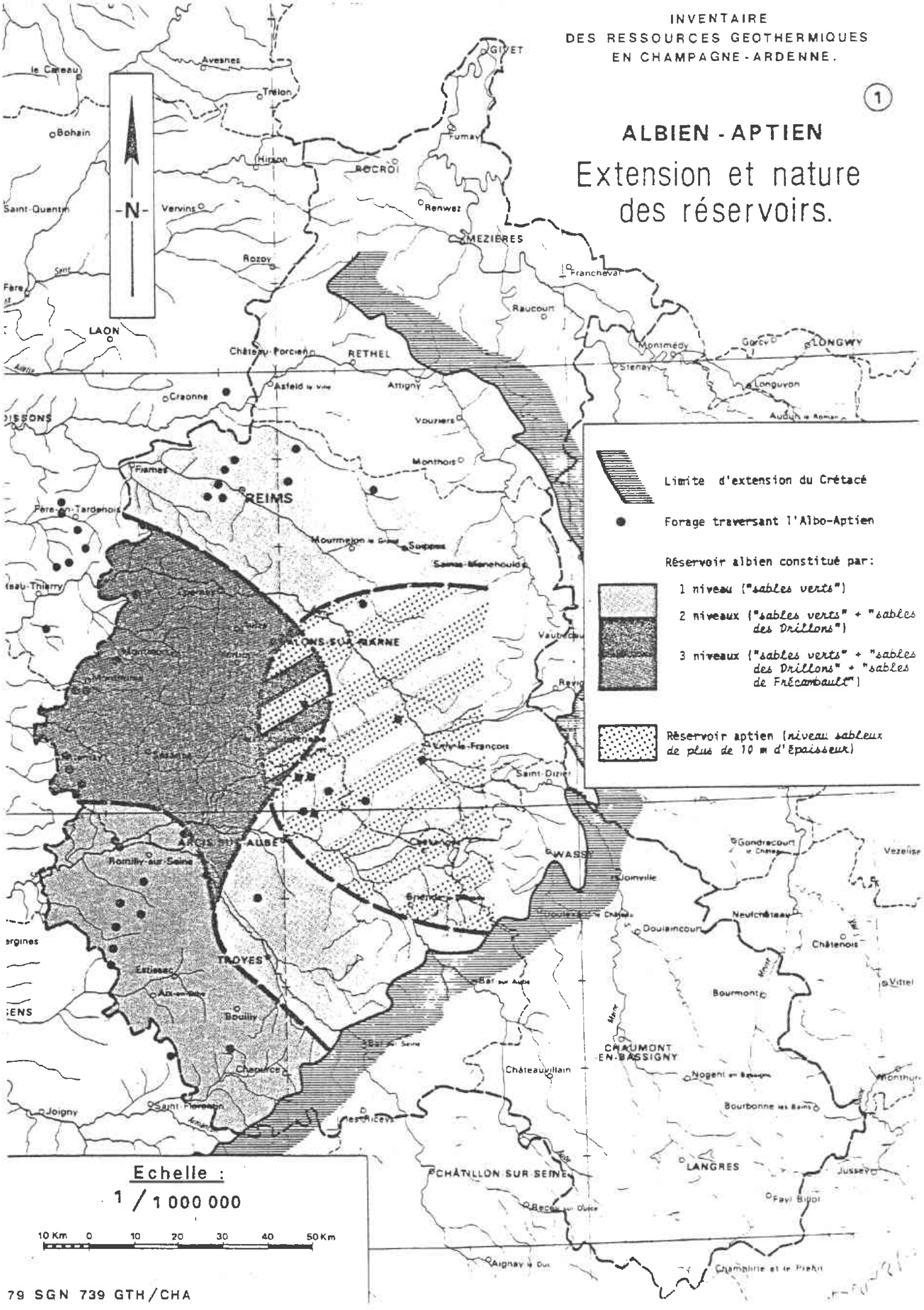
PLANCHES

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(1)

ALBIEN - APTIEN

Extension et nature des réservoirs.



Echelle :

1 / 1 000 000

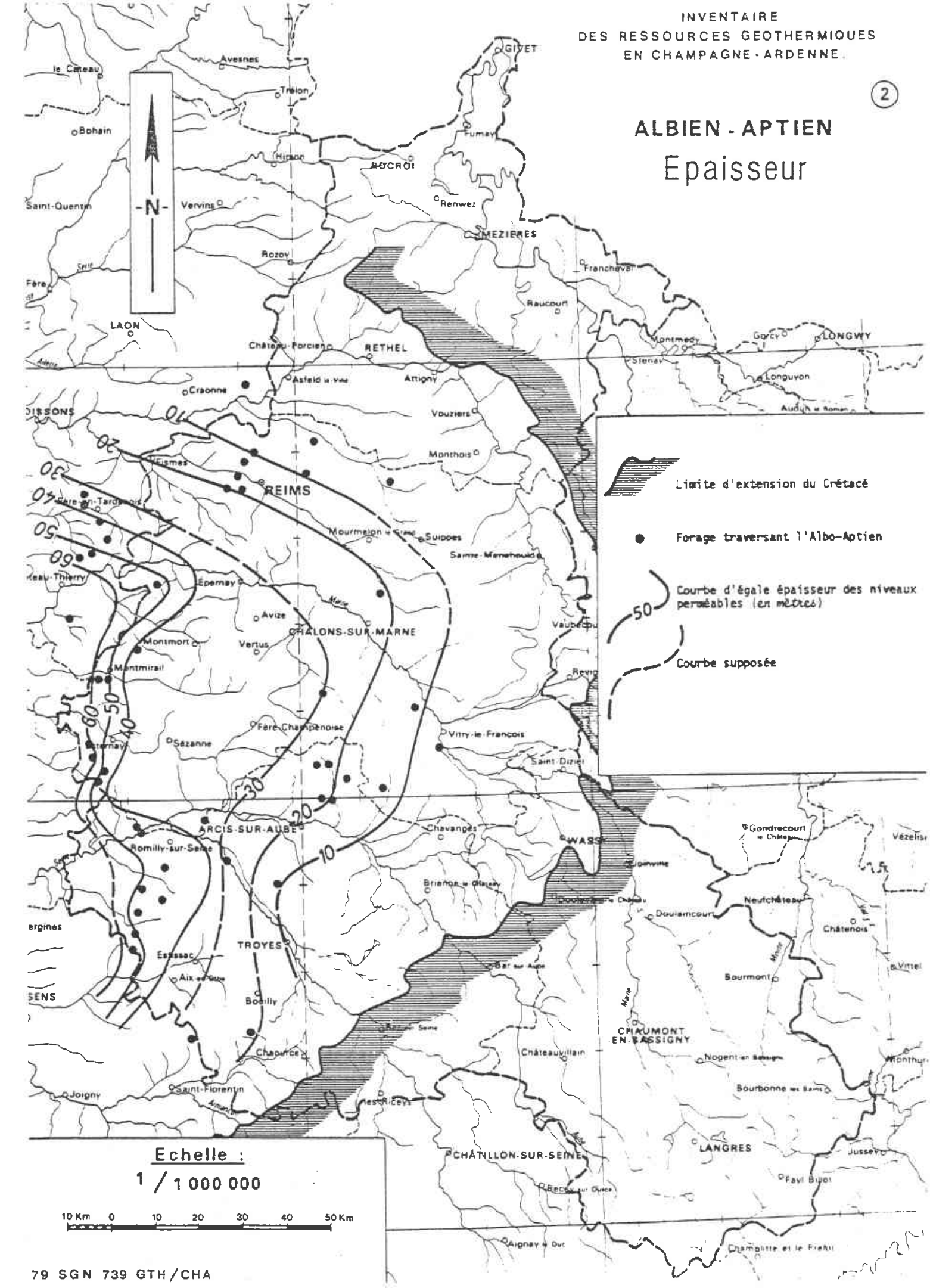
10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(2)

ALBIEN - APTIEN
Epaisseur

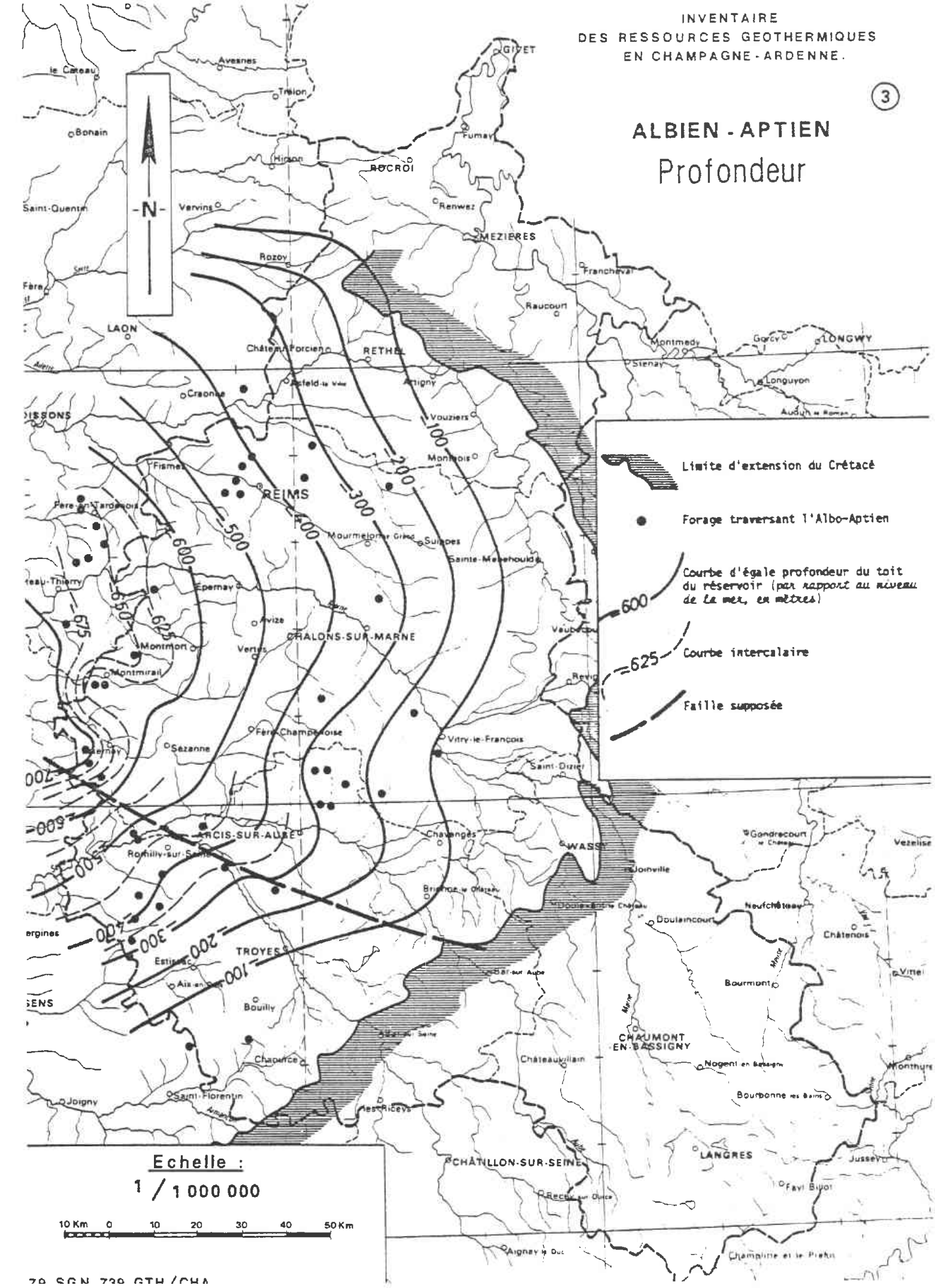


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(3)

ALBIEN - APTIEN
Profondeur

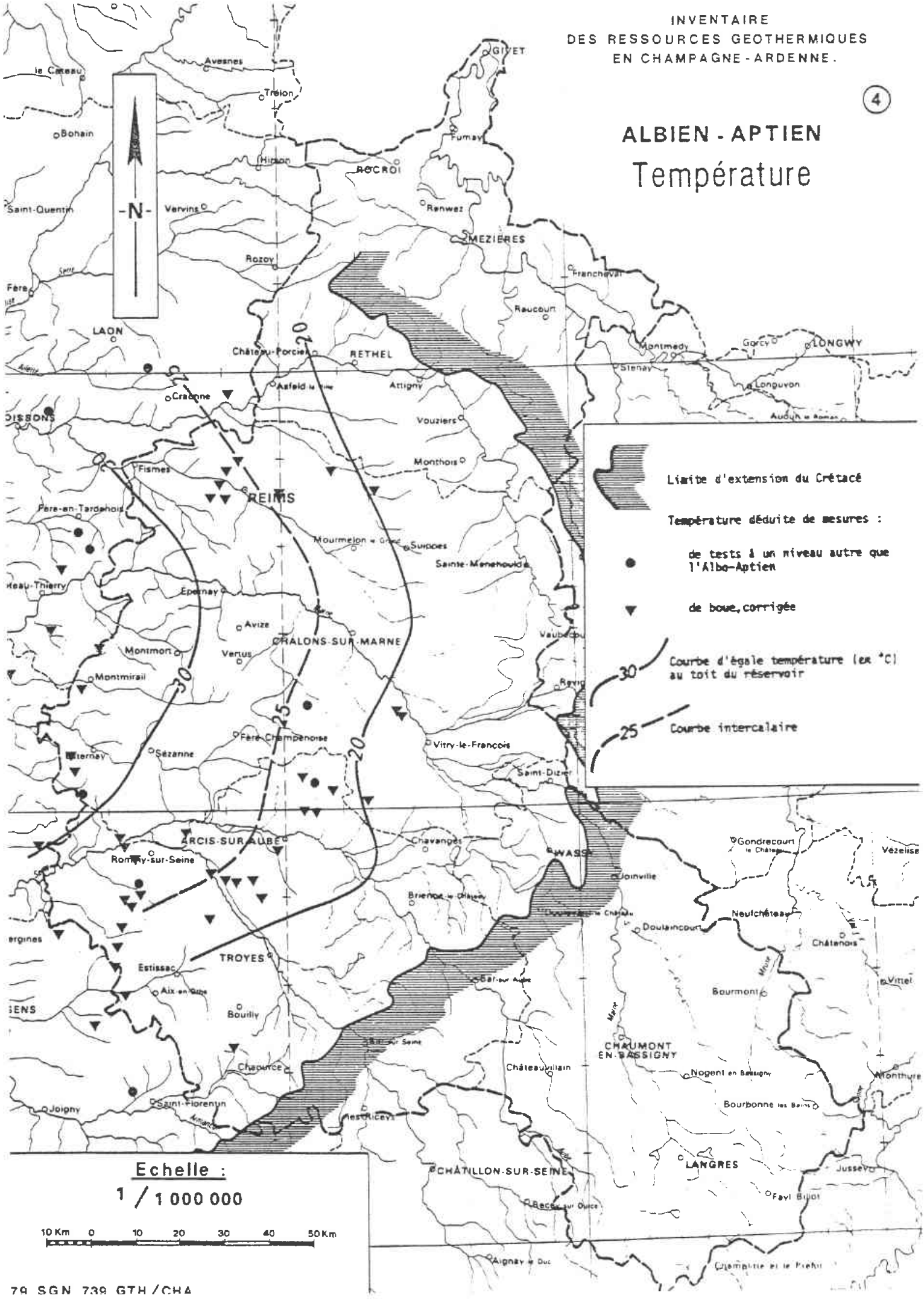


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

4

ALBIEN - APTIEN
Température



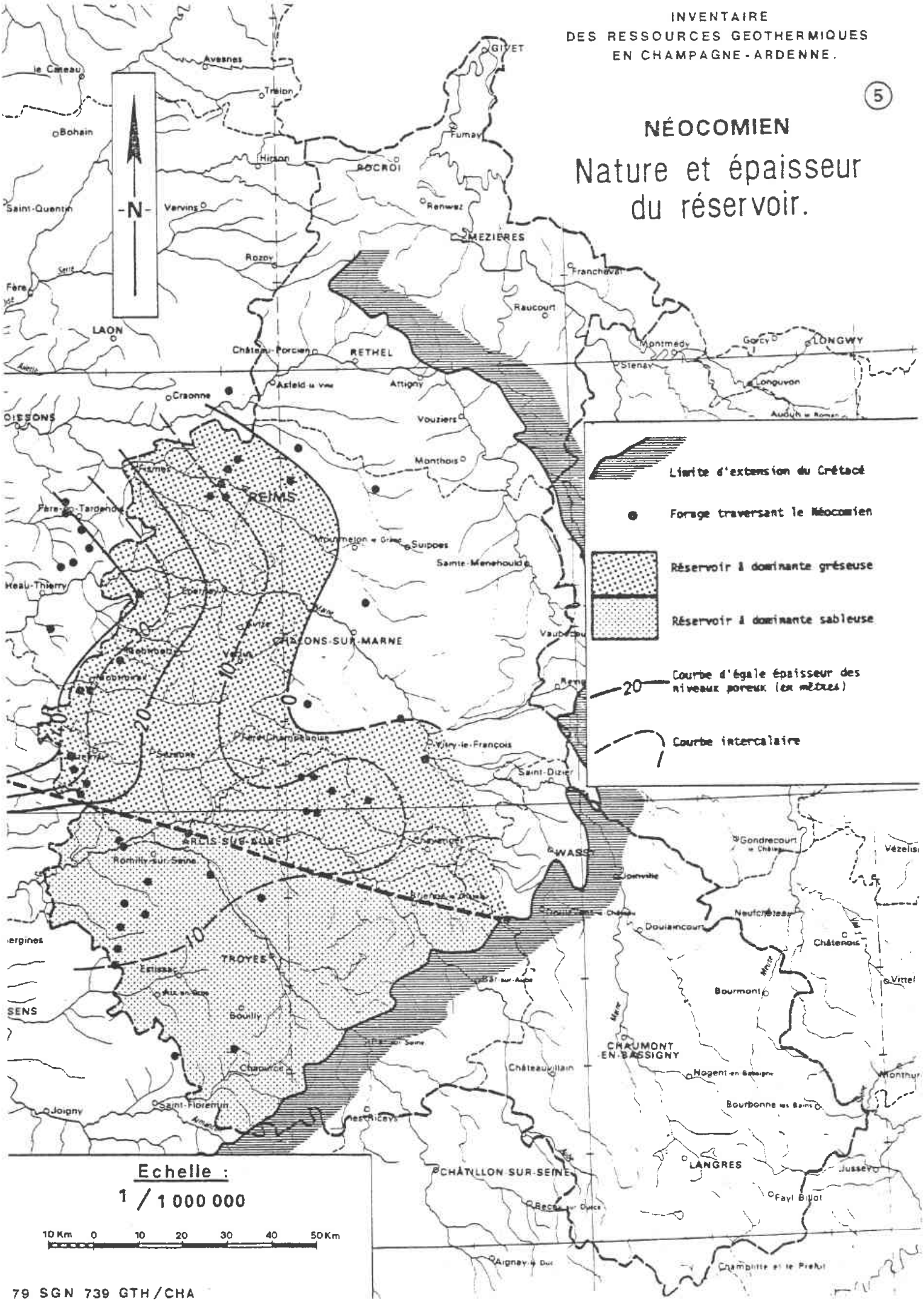
79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(5)

NÉOCOMIEN

Nature et épaisseur du réservoir.



Echelle :

1 / 1 000 000

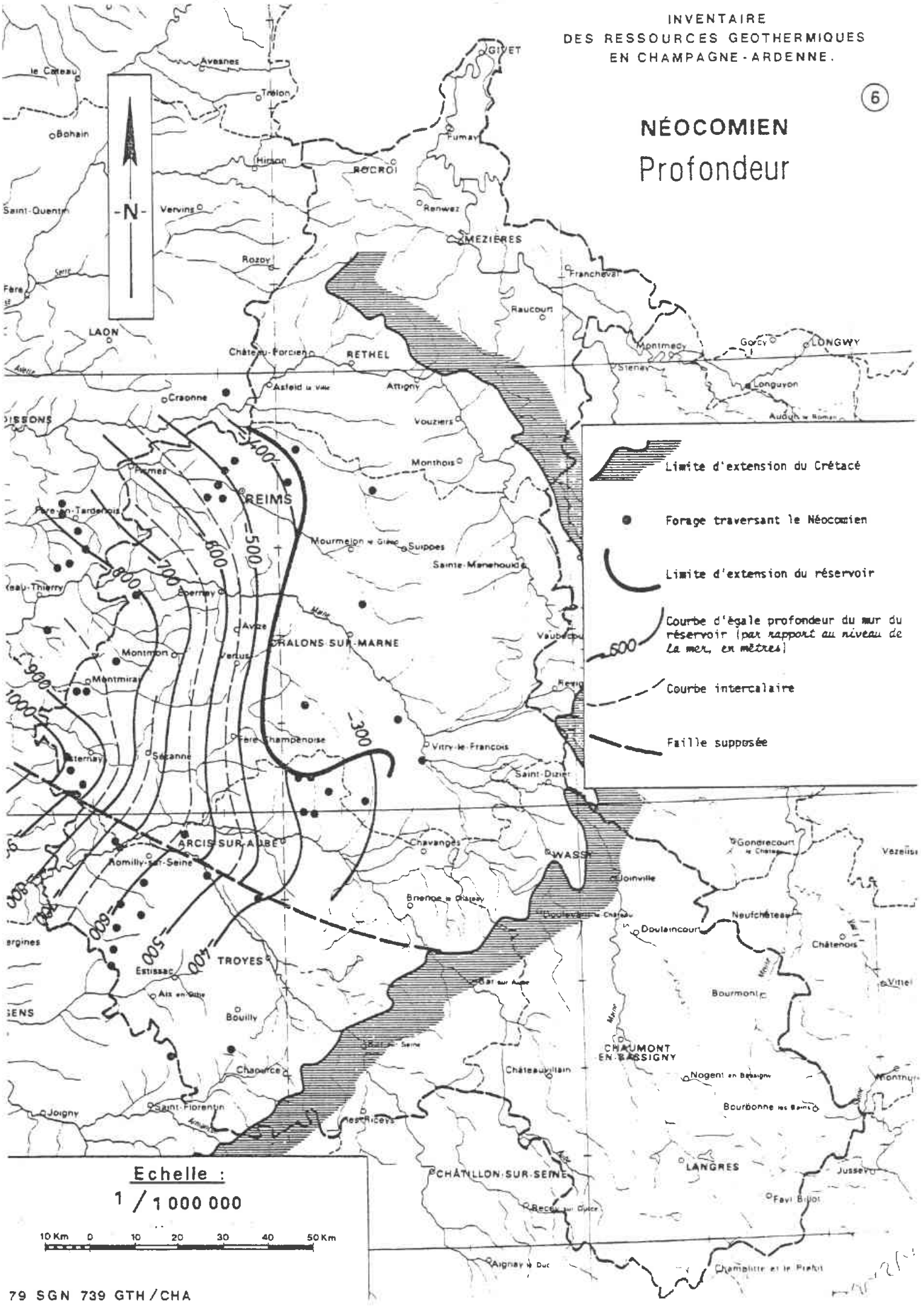
10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

6

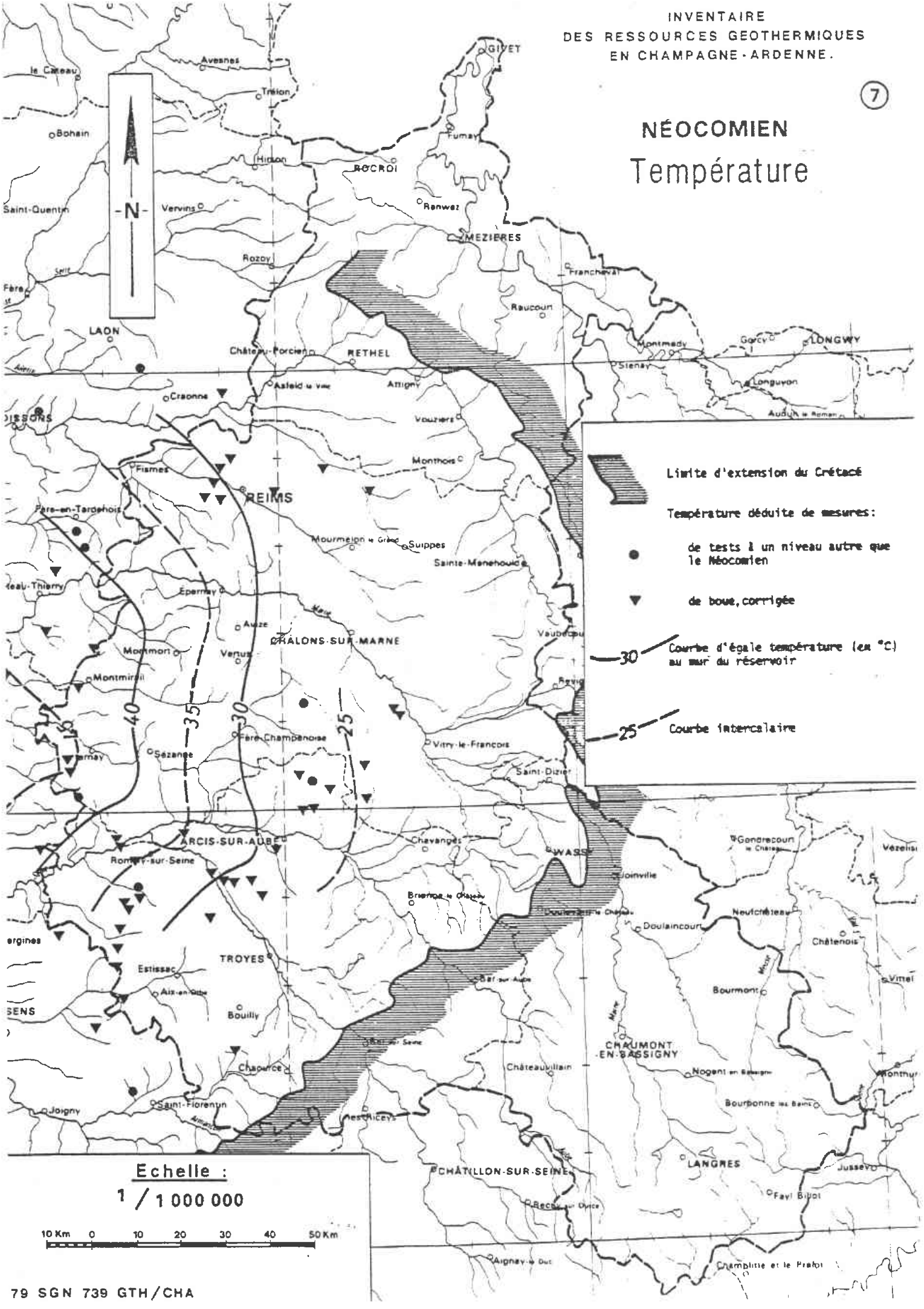
NÉOCOMIEN
Profondeur



INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(7)

NÉOCOMIEN
Température

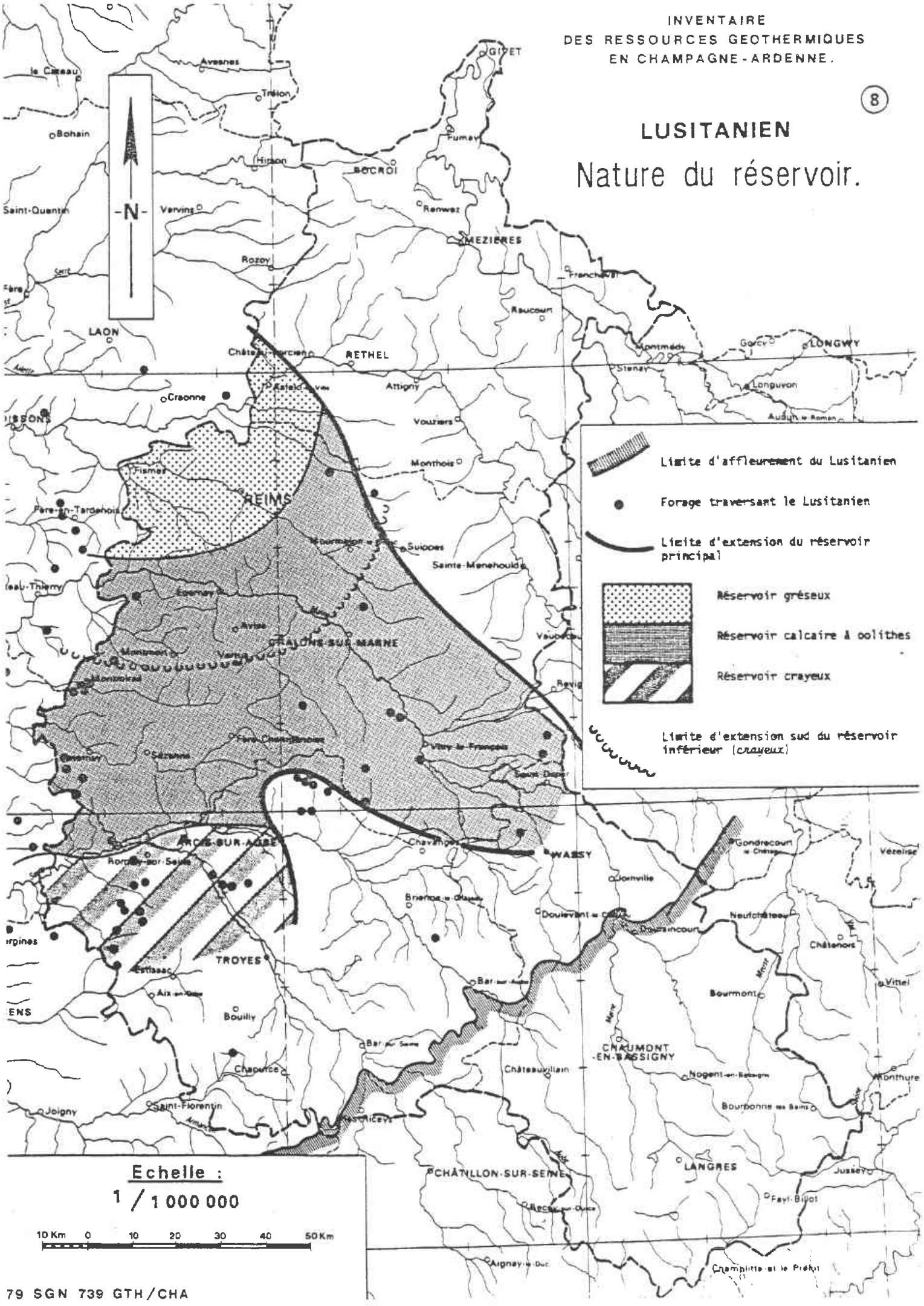


INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(8)

LUSITANIEN

Nature du réservoir.



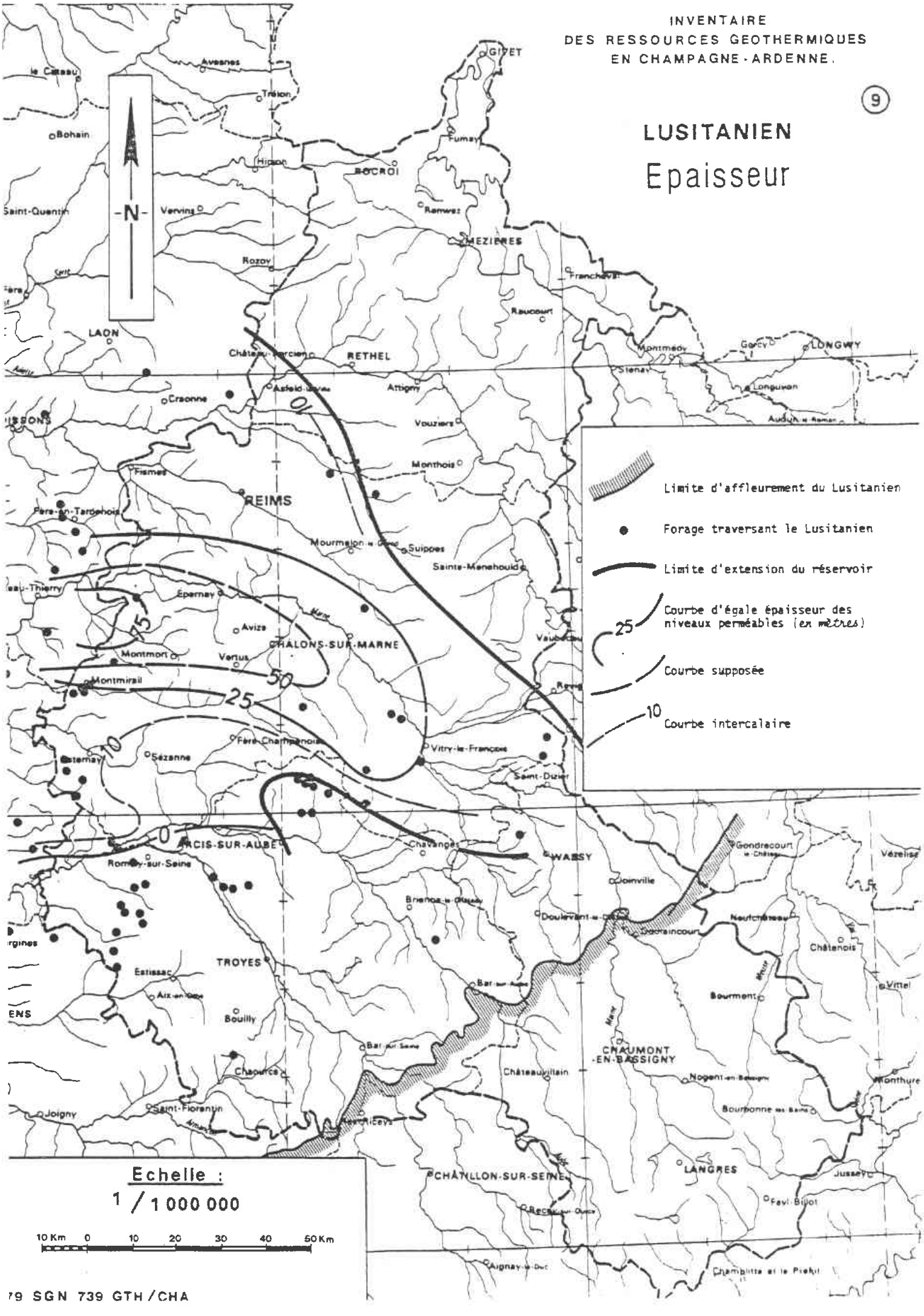
79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(9)

LUSITANIEN

Epaisseur



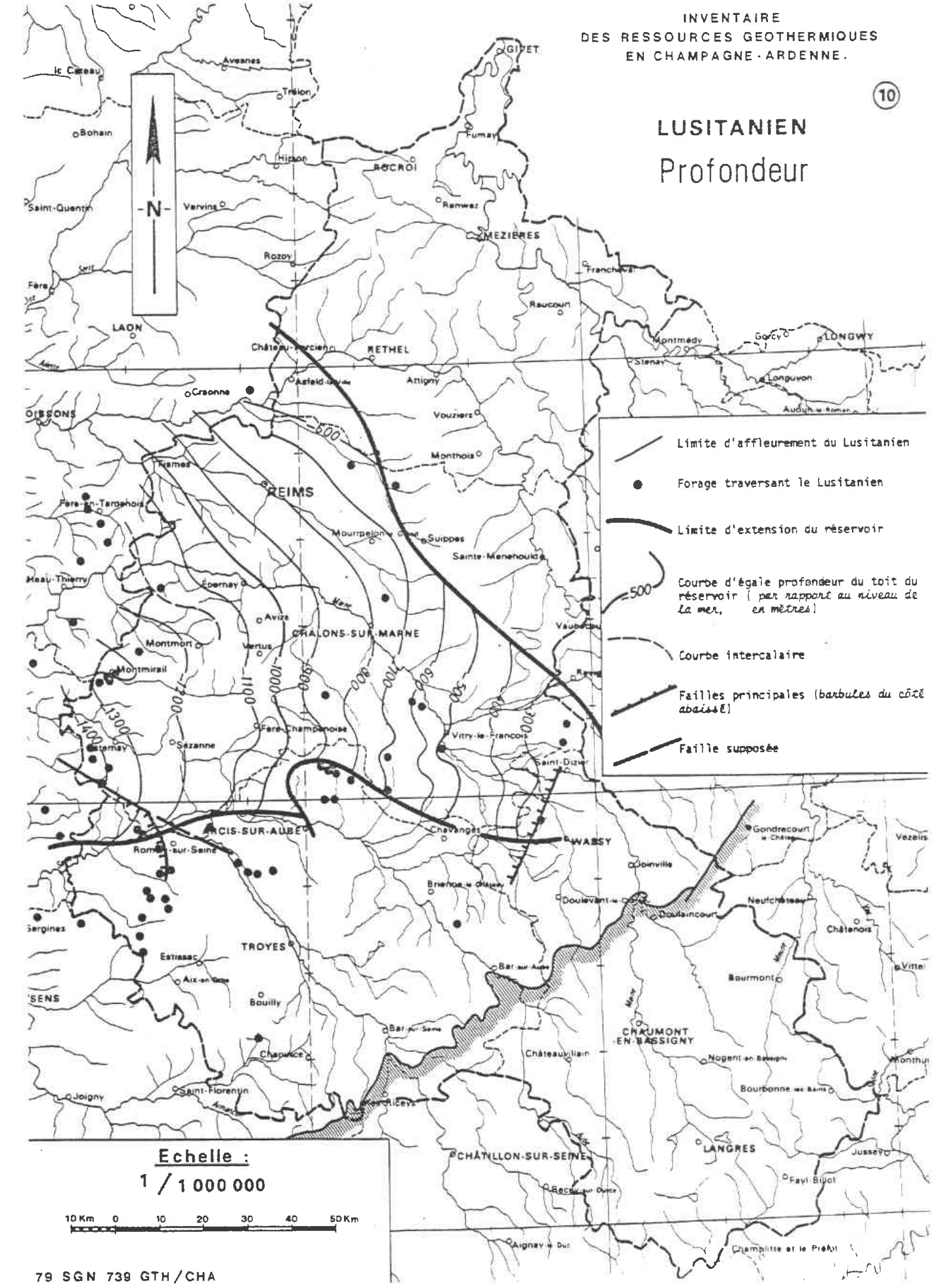
79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(10)

LUSITANIEN

Profondeur



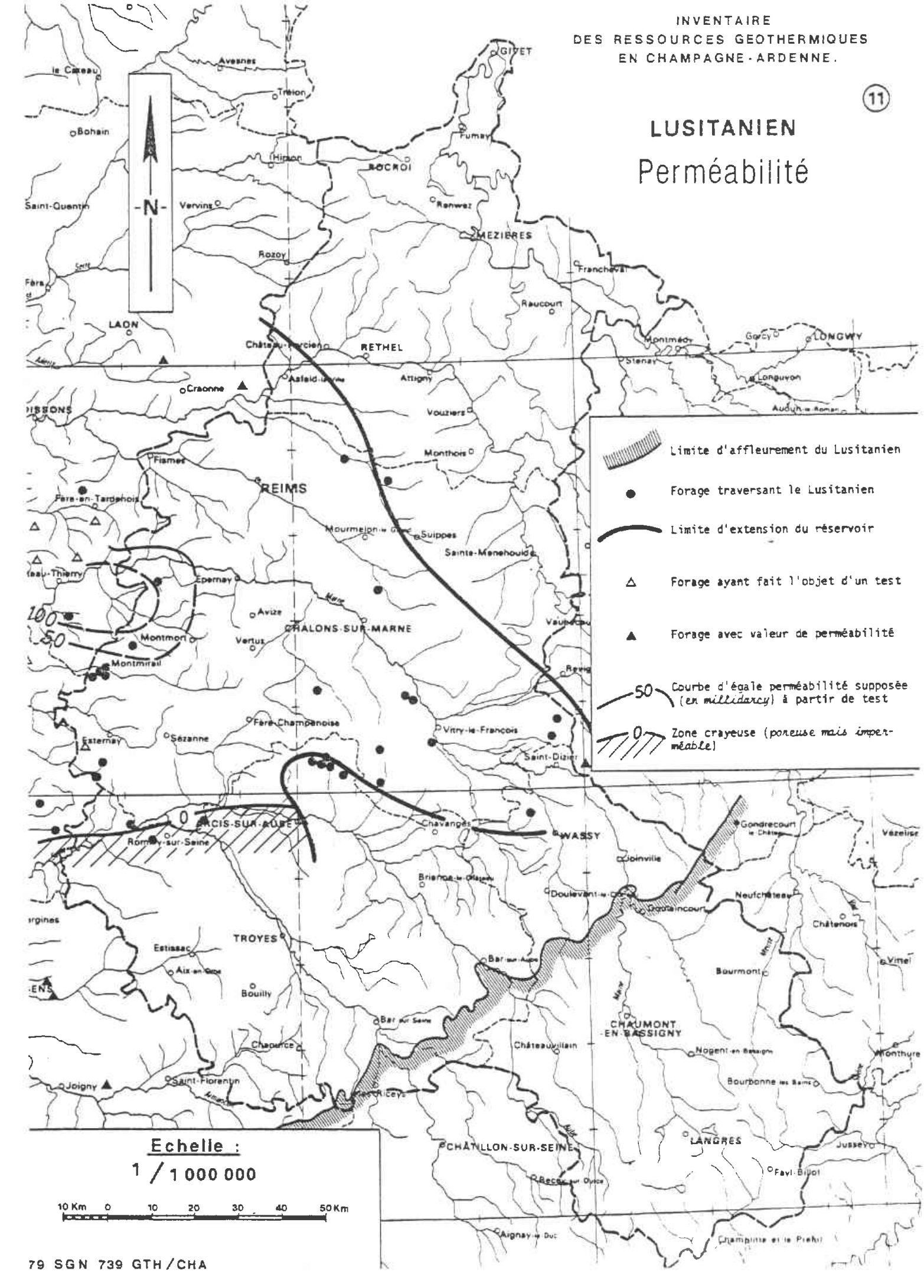
79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(11)

LUSITANIEN

Perméabilité

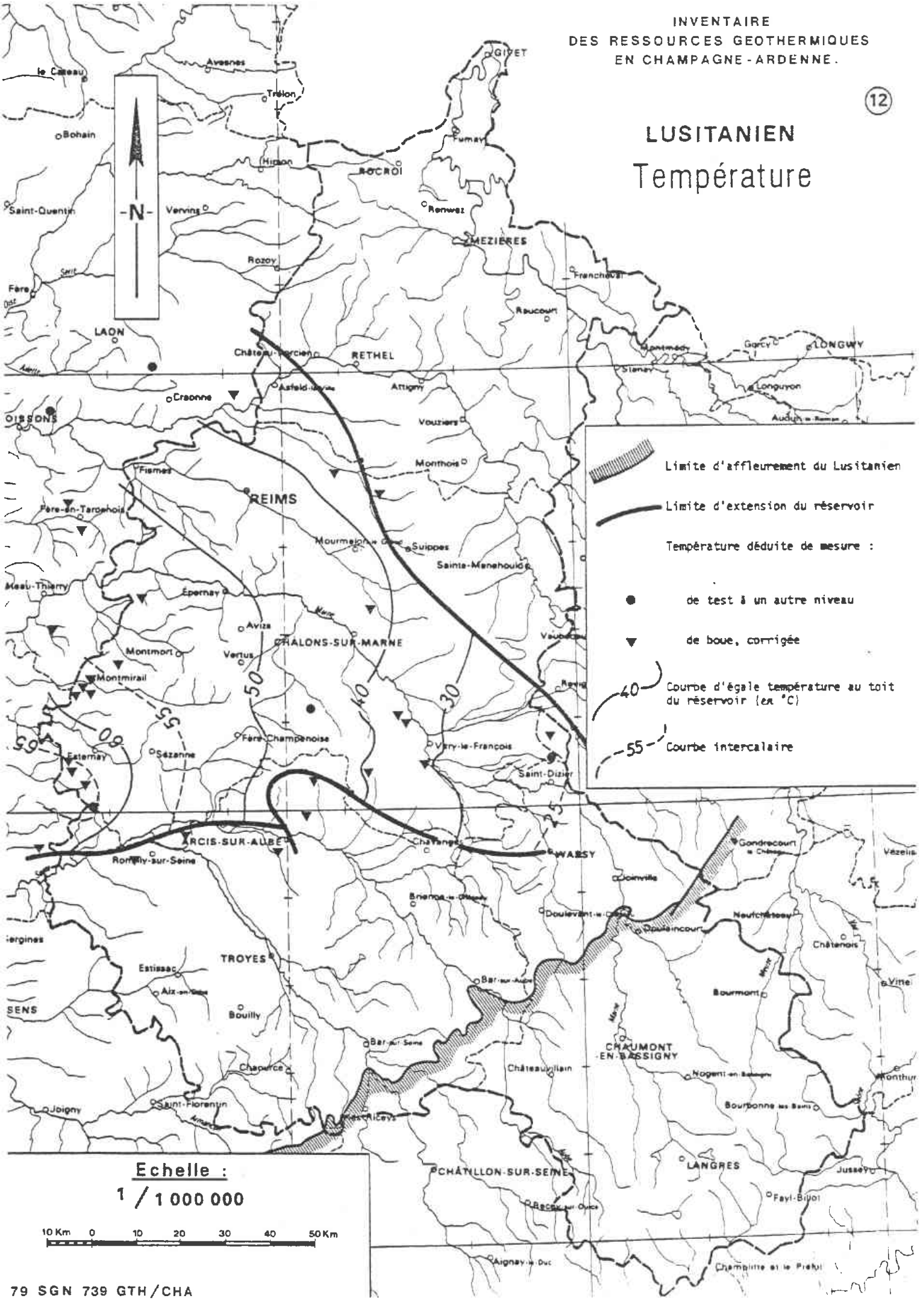


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(12)

LUSITANIEN
Température

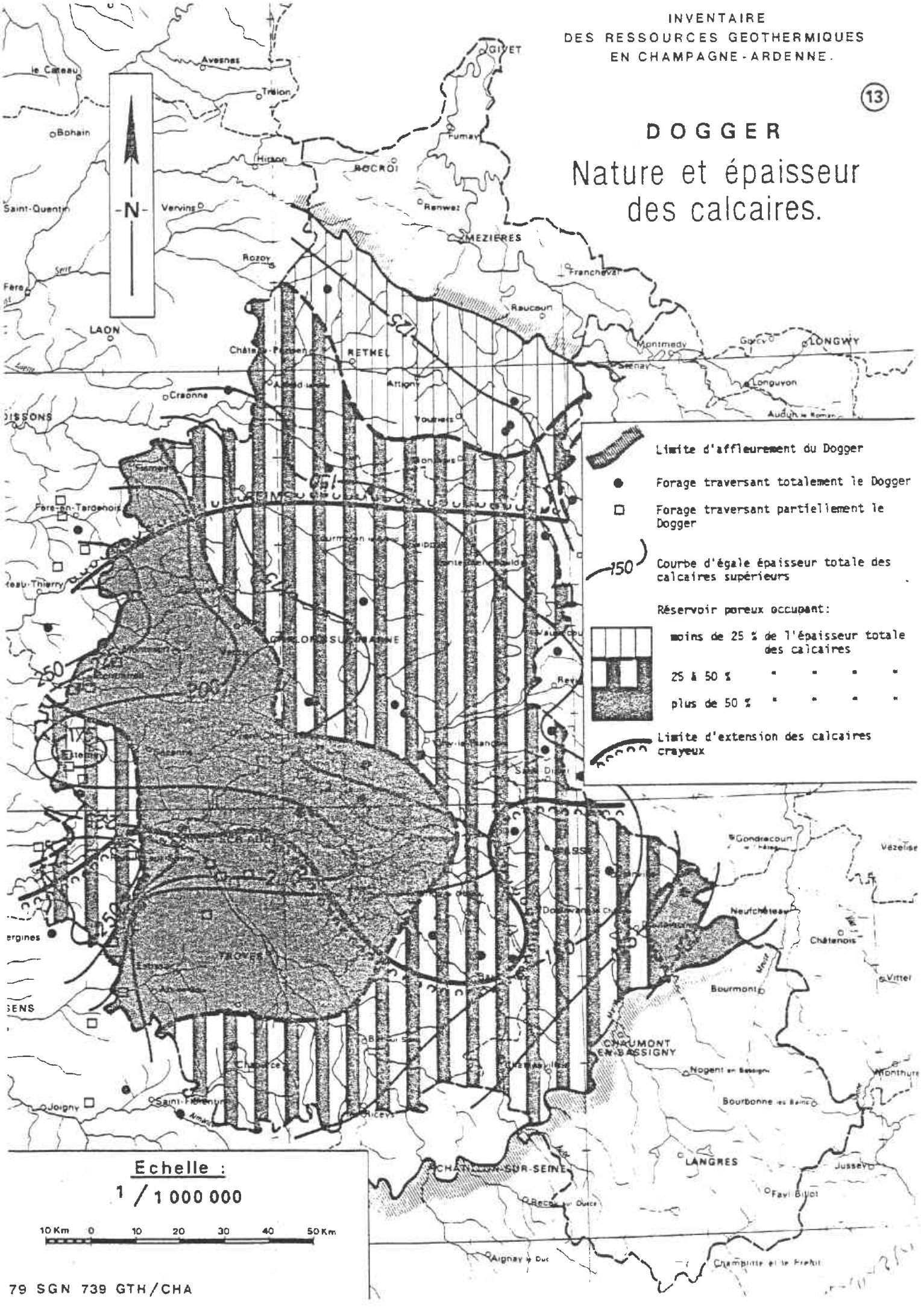


INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(13)

DOGGER

Nature et épaisseur des calcaires.

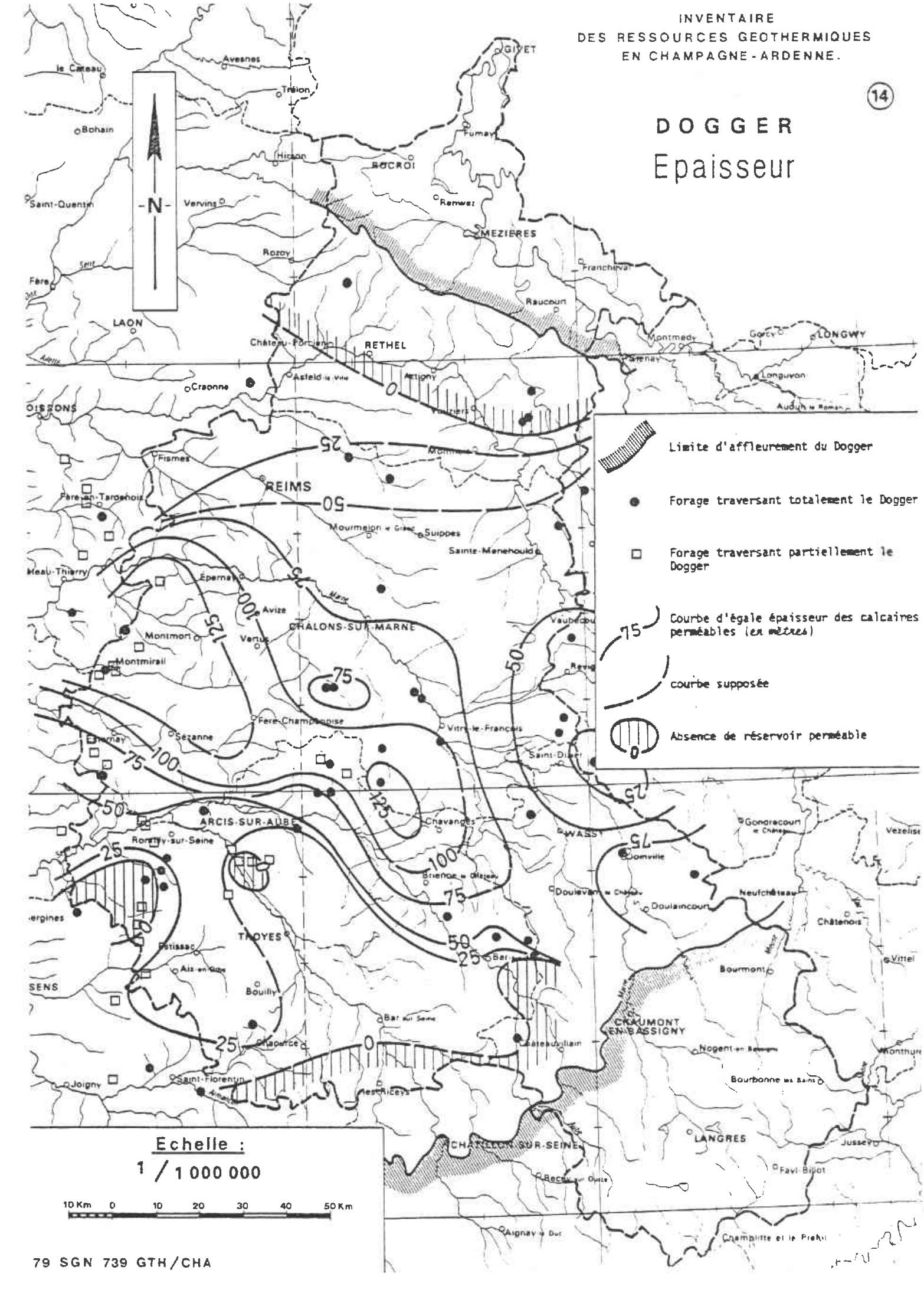


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(14)

DOGGER
Epaisseur

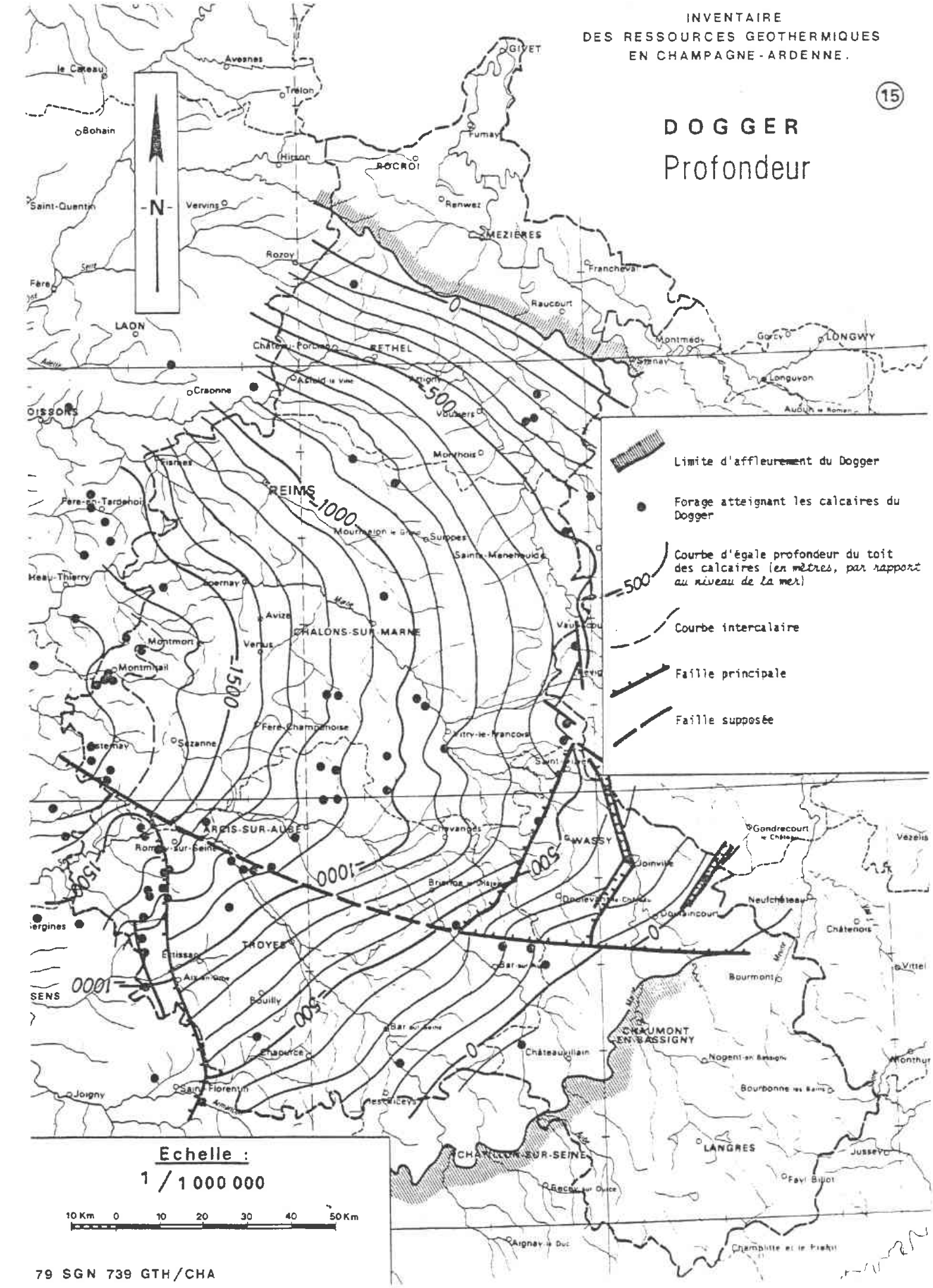


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(15)

DOGGER
Profondeur



Echelle :

1 / 1 000 000

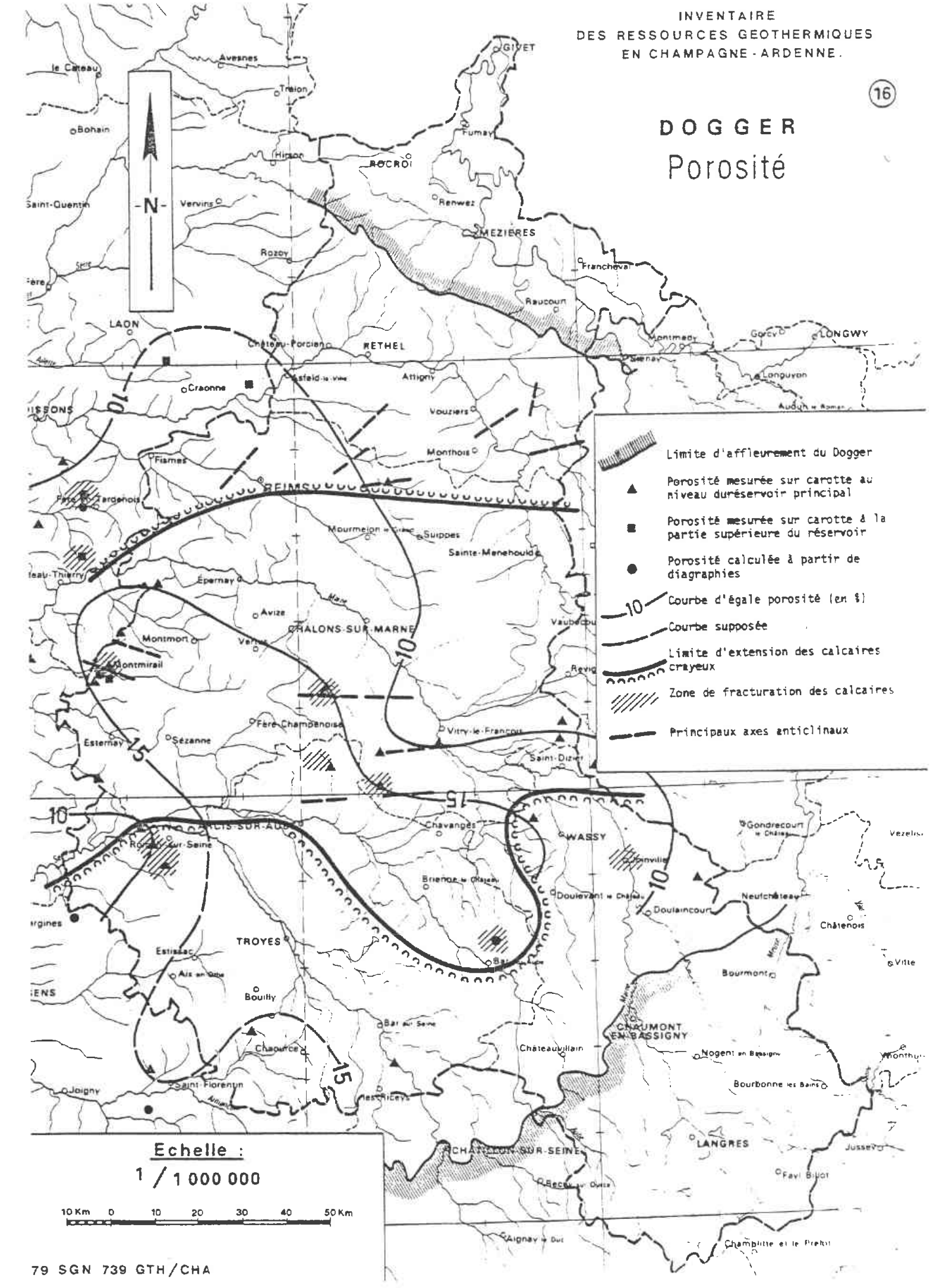
10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

16

DOGGER
Porosité

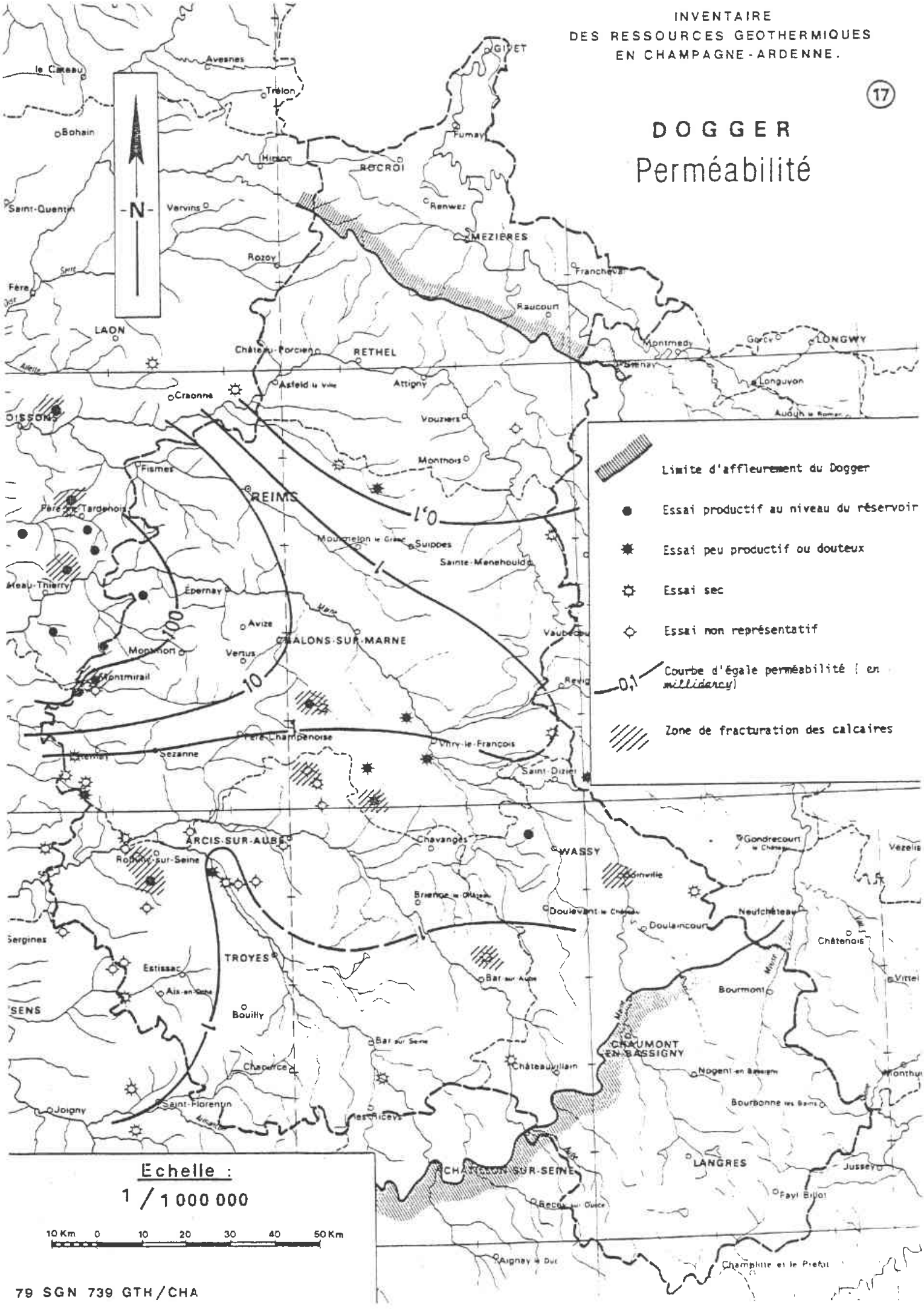


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(17)

DOGGER
Perméabilité

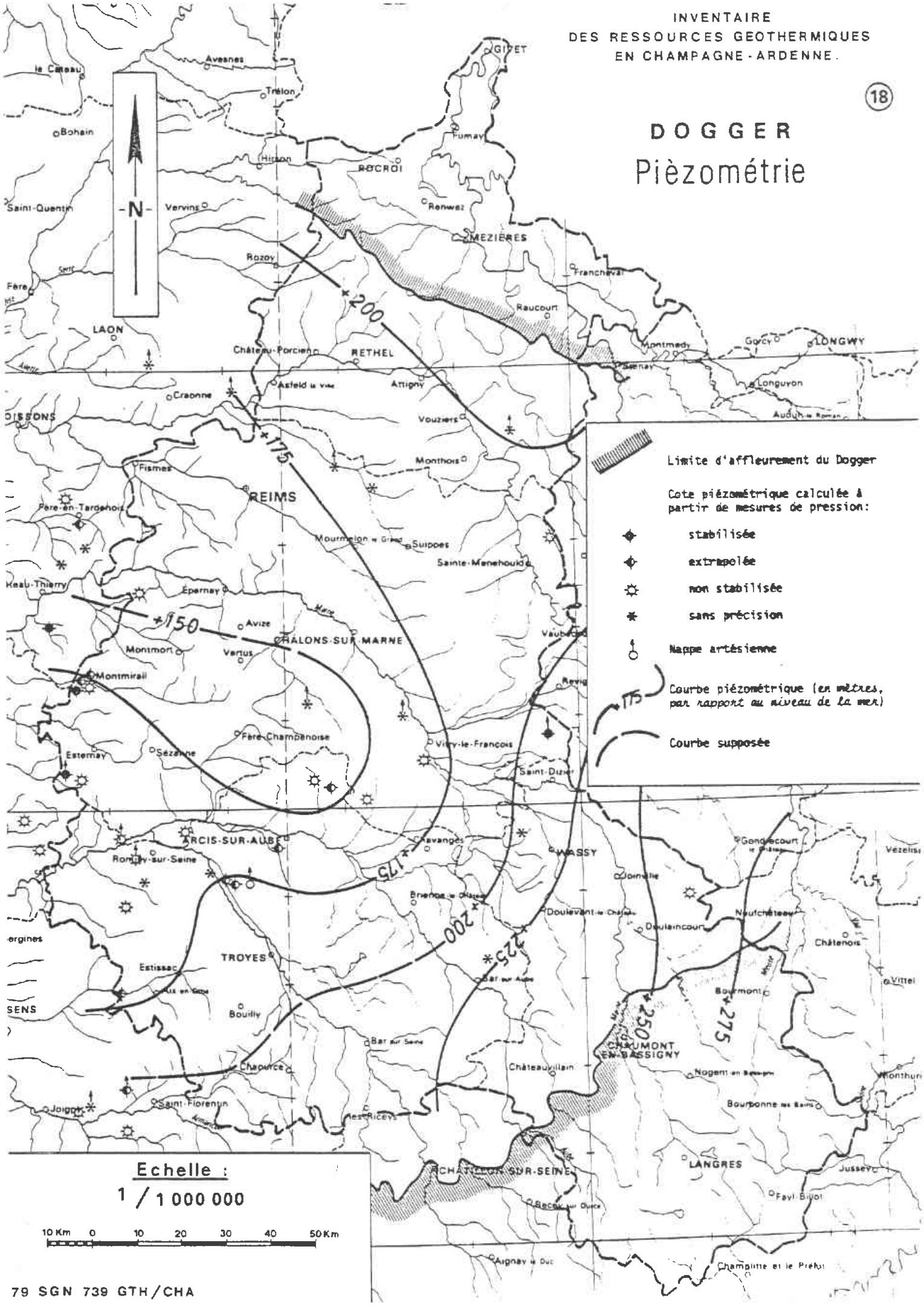


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(18)

DOGGER
Piézométrie

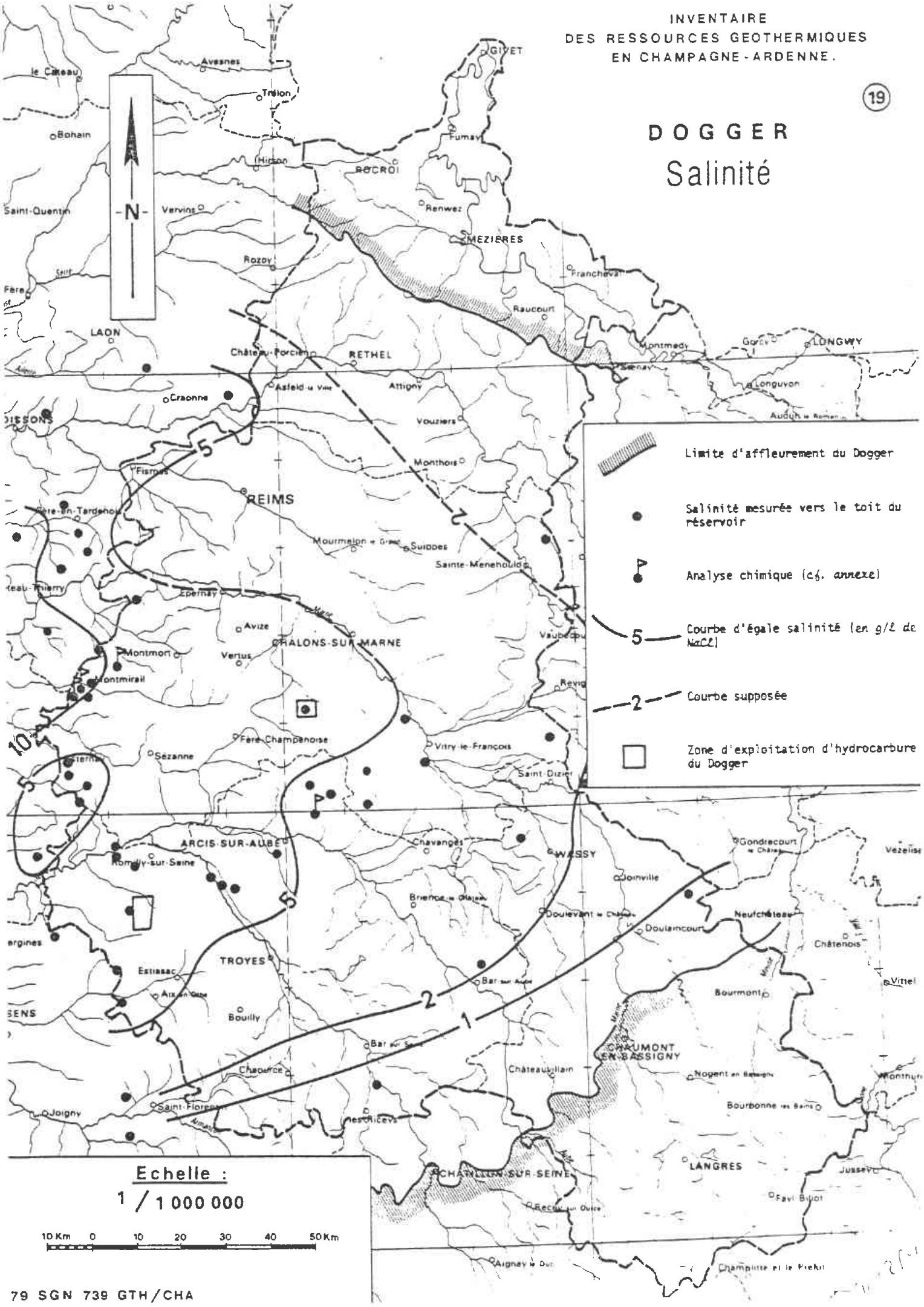


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(19)

DOGGER
Salinité

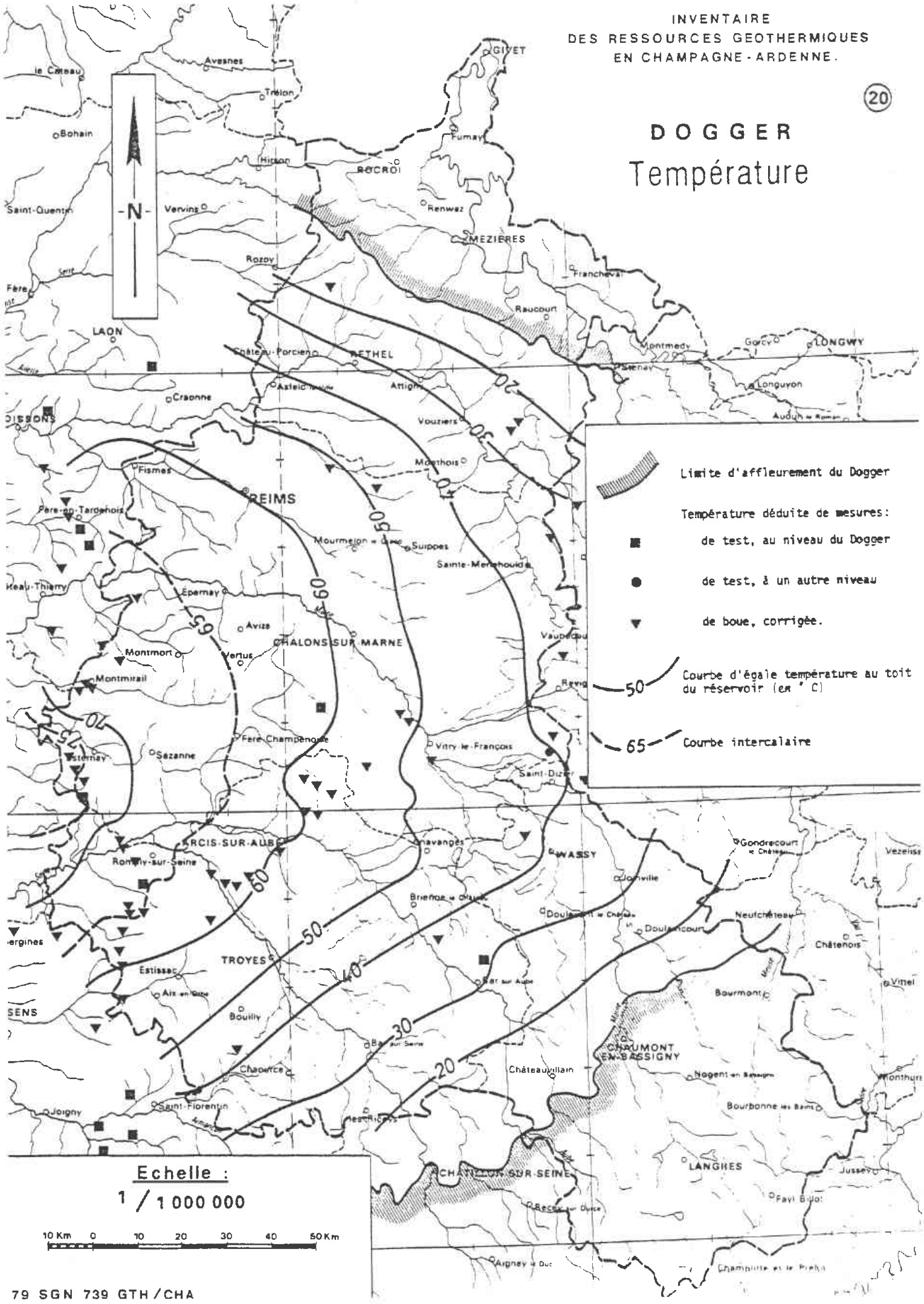


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(20)

DOGGER
Température



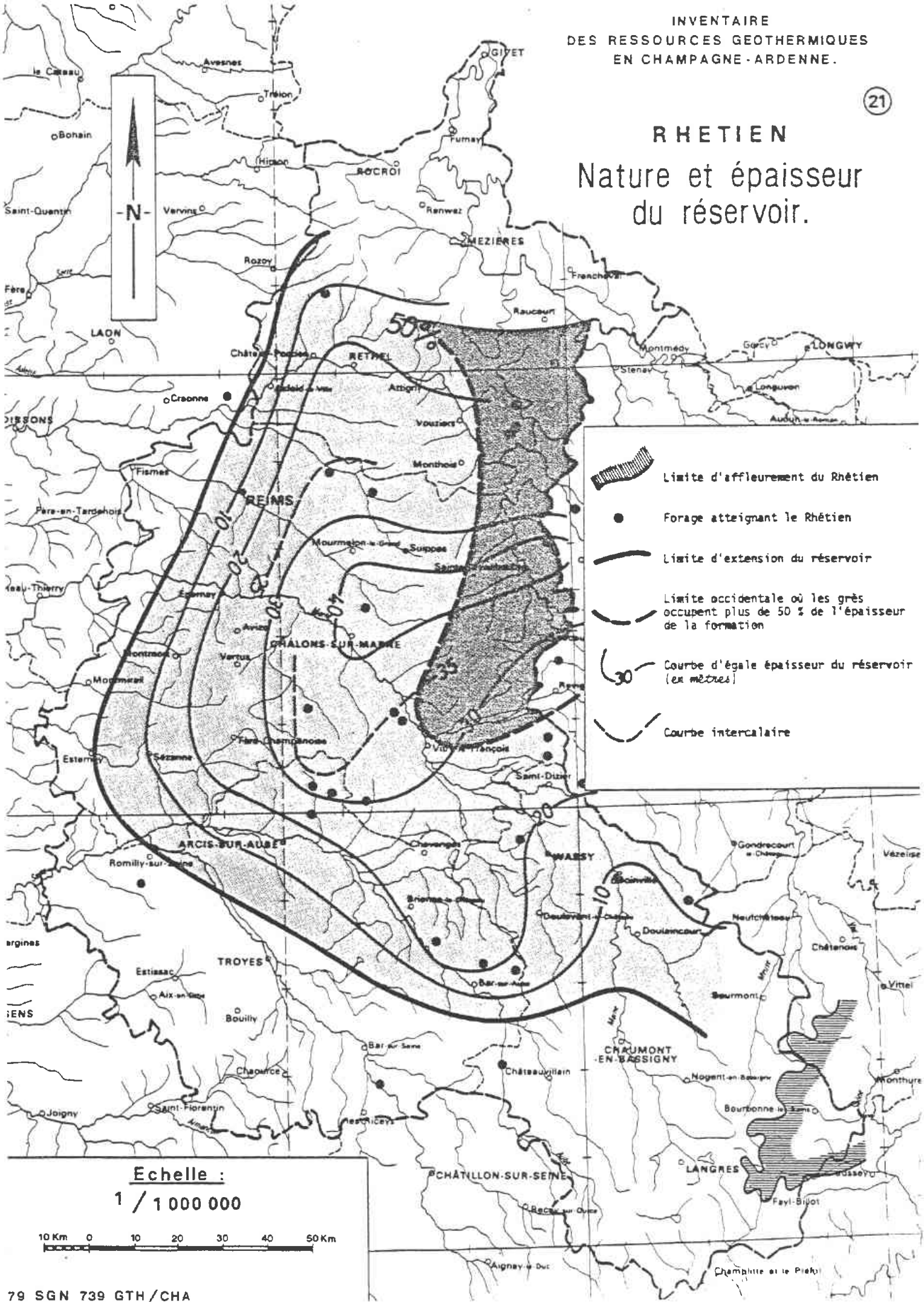
79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(21)

RHETIEN

Nature et épaisseur du réservoir.



Echelle :

1 / 1 000 000

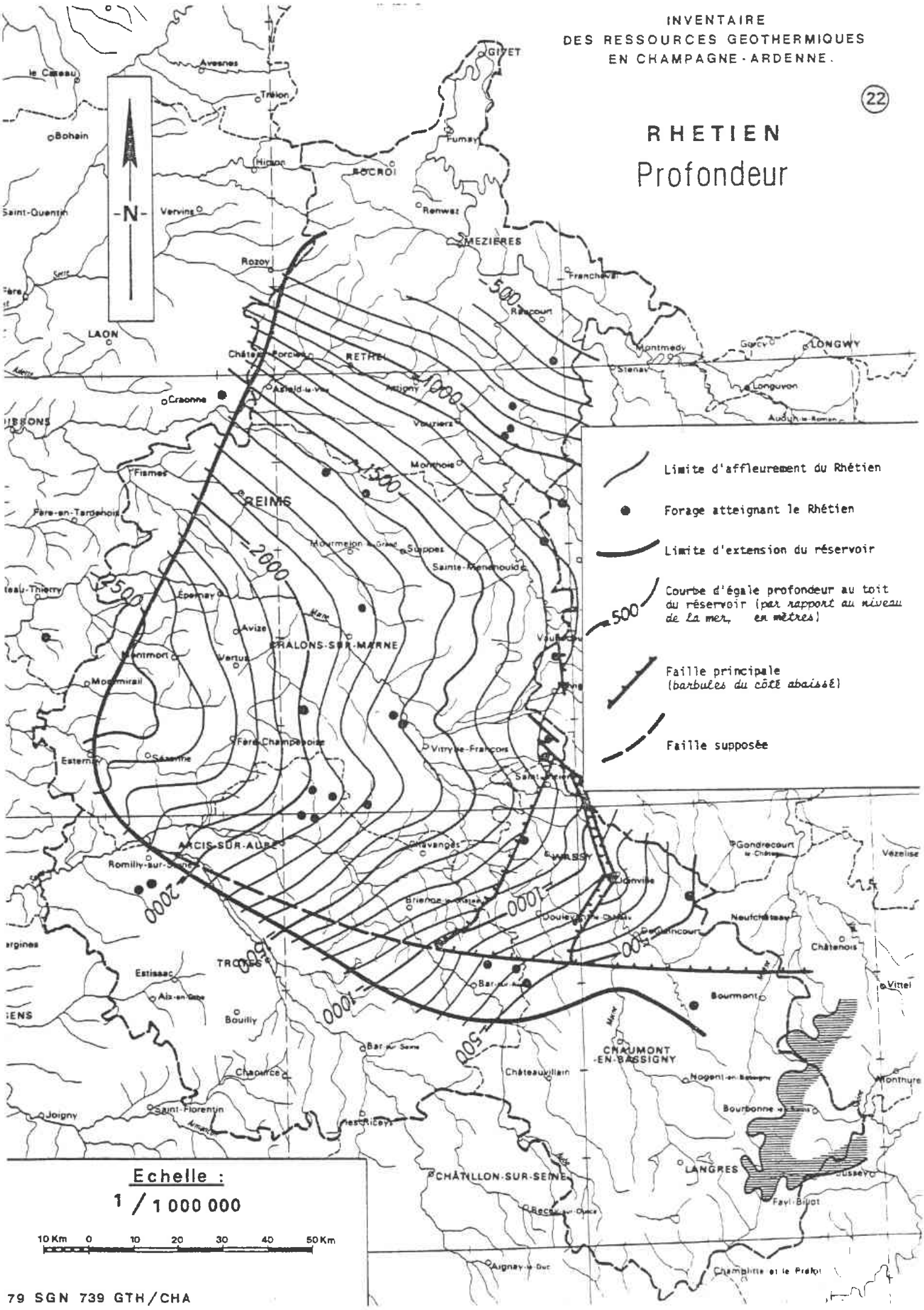
10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

22

RHETIEN
Profondeur



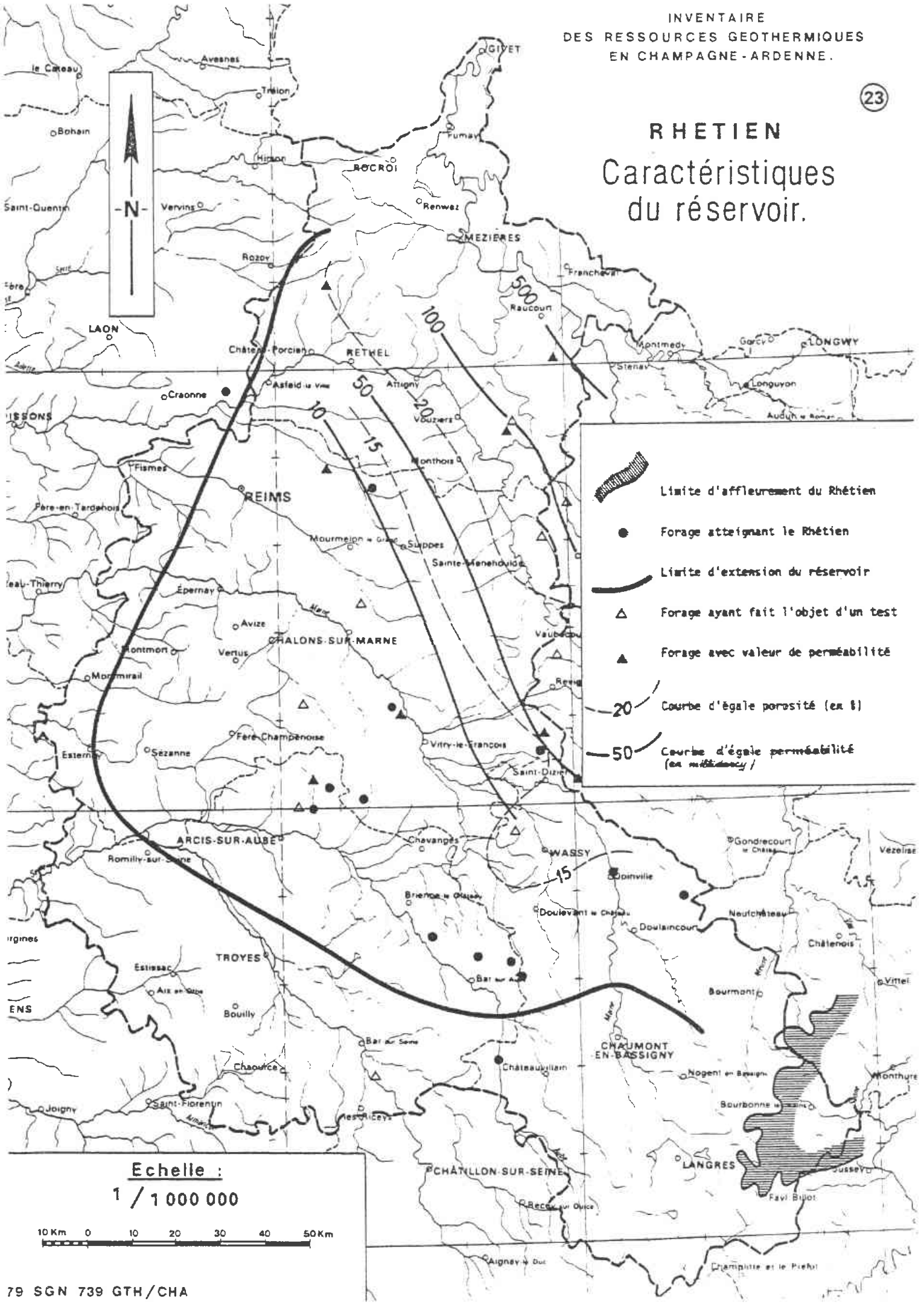
79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(23)

RHETIEN

Caractéristiques du réservoir.

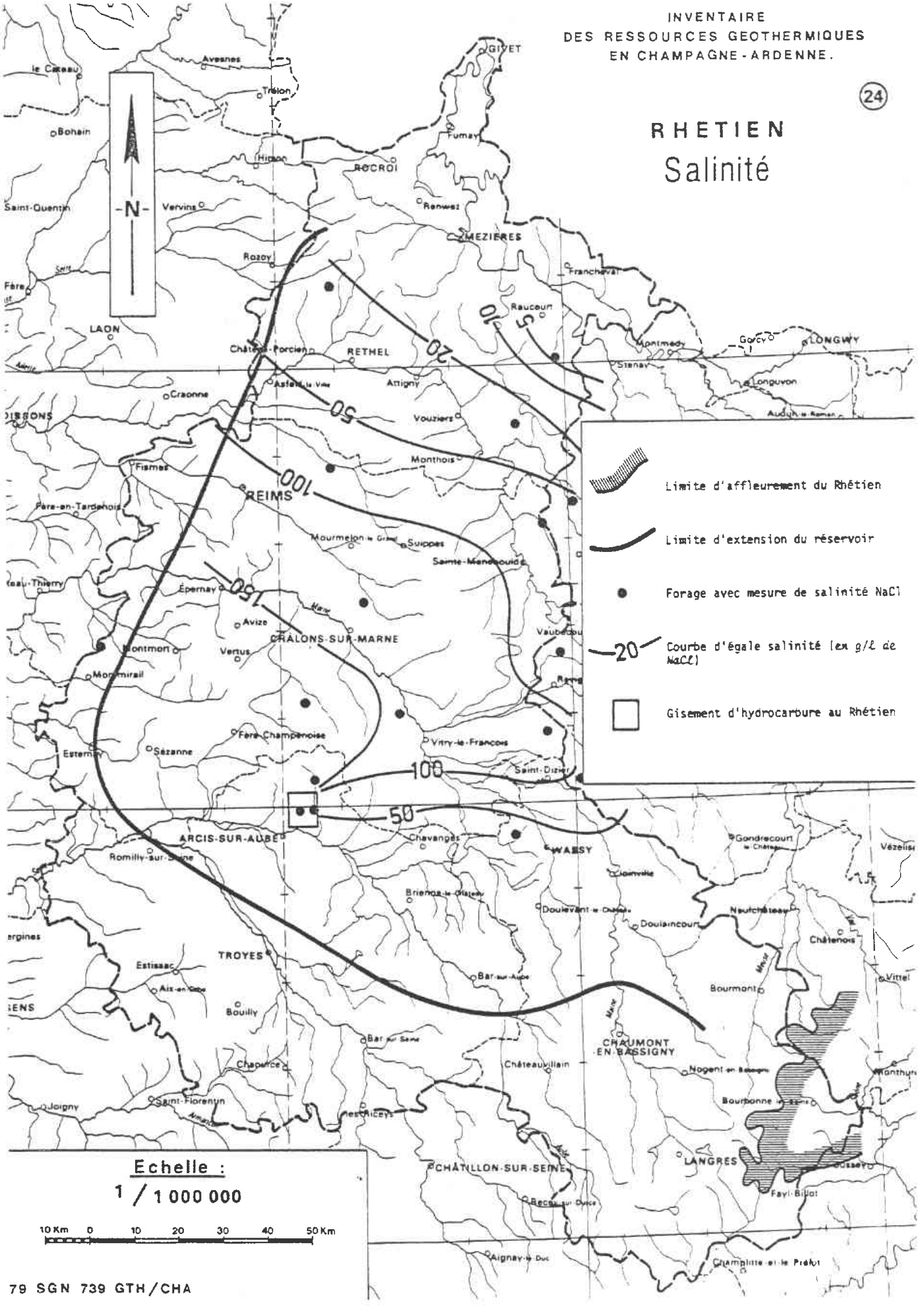


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(24)

RHETIEN
Salinité

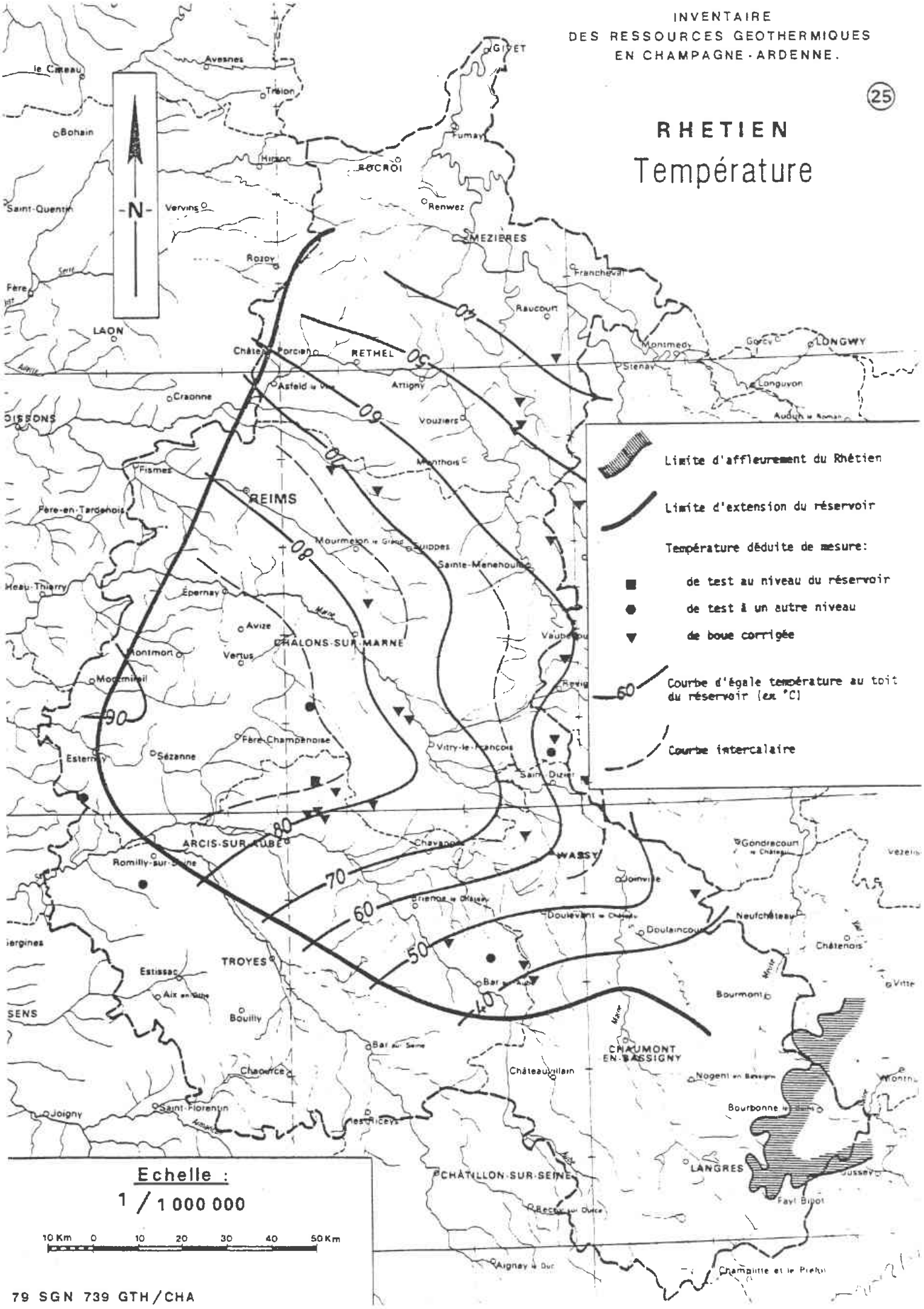


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

25

RHETIEN
Température

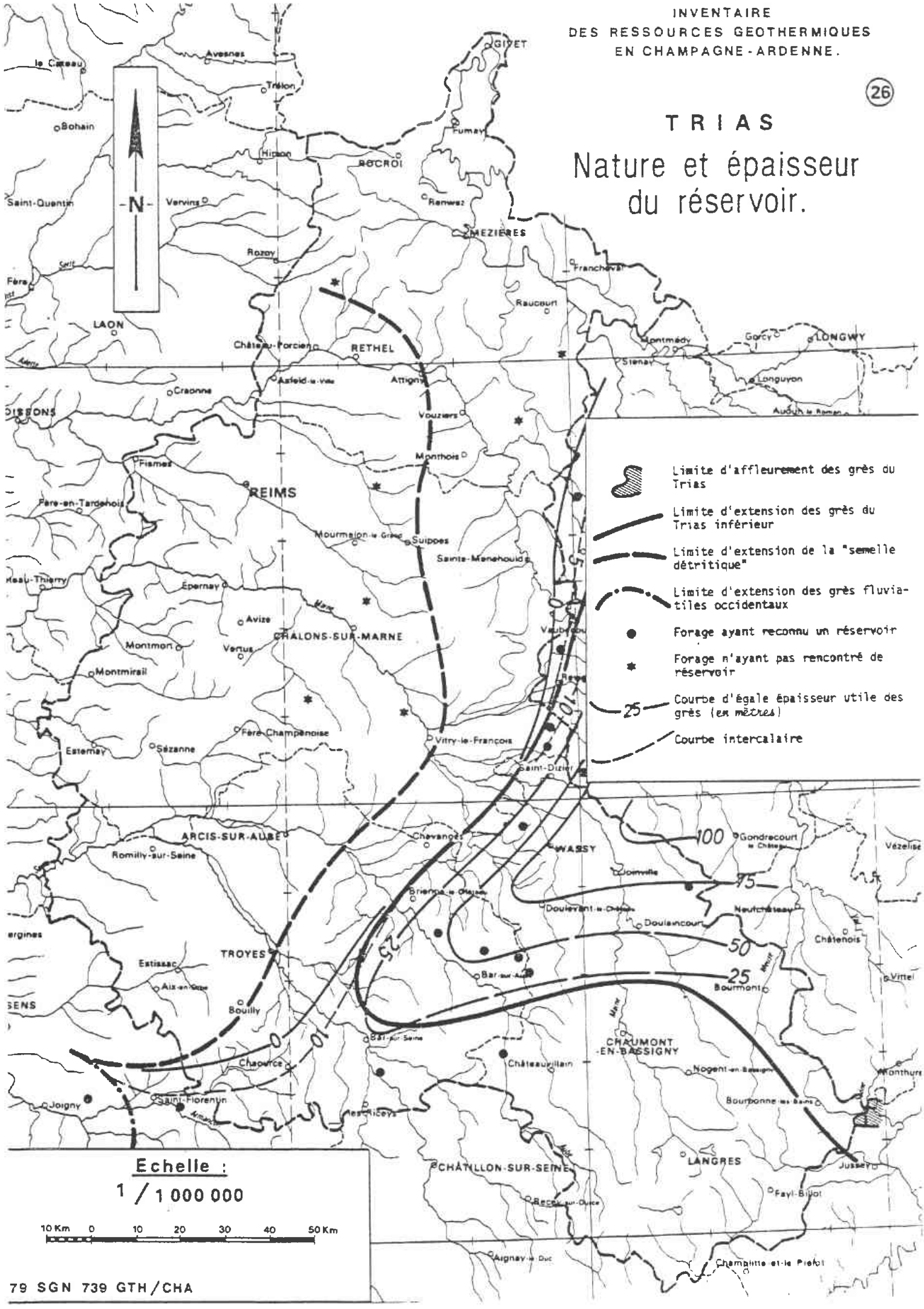


INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(26)

TRIAS

Nature et épaisseur du réservoir.



Limite d'affleurement des grès du Trias

Limite d'extension des grès du Trias inférieur

Limite d'extension de la "semelle détritique"

Limite d'extension des grès fluviatiles occidentaux

Forage ayant reconnu un réservoir

Forage n'ayant pas rencontré de réservoir

25 — Courbe d'égale épaisseur utile des grès (*en mètres*)

Courbe intercalaire

Echelle :

1 / 1 000 000

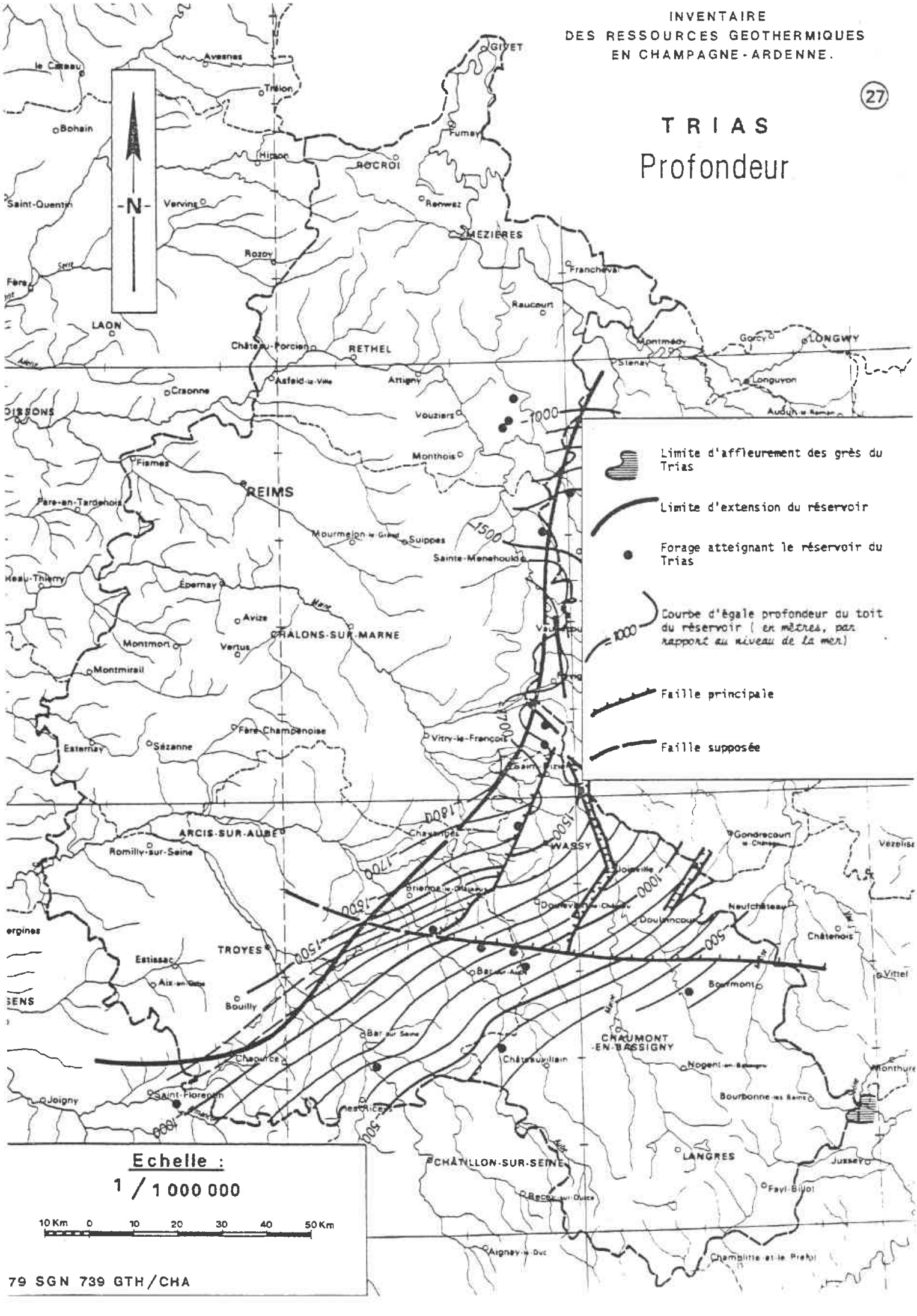
10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(27)

TRIAS
Profondeur

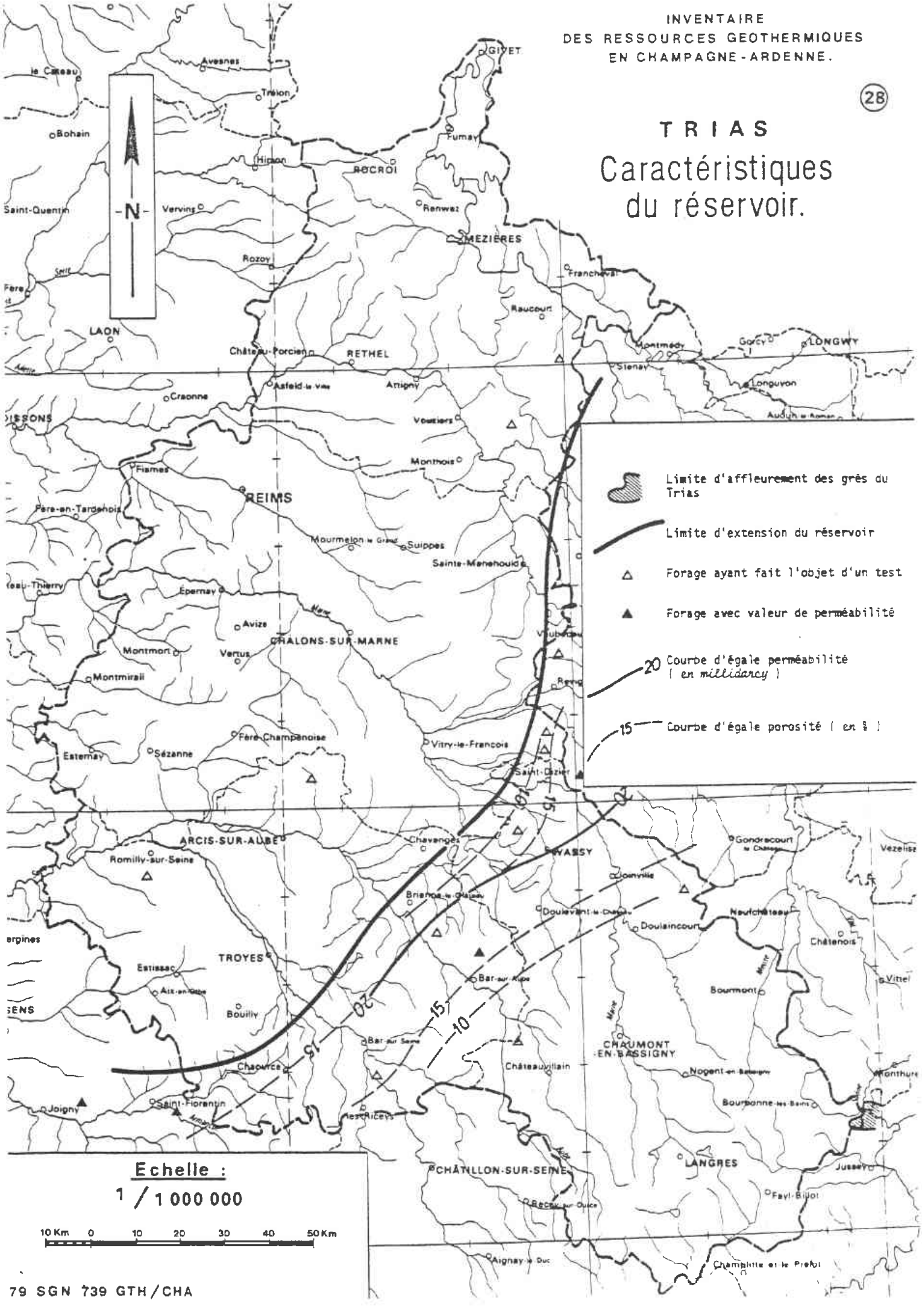


INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(28)

TRIAS

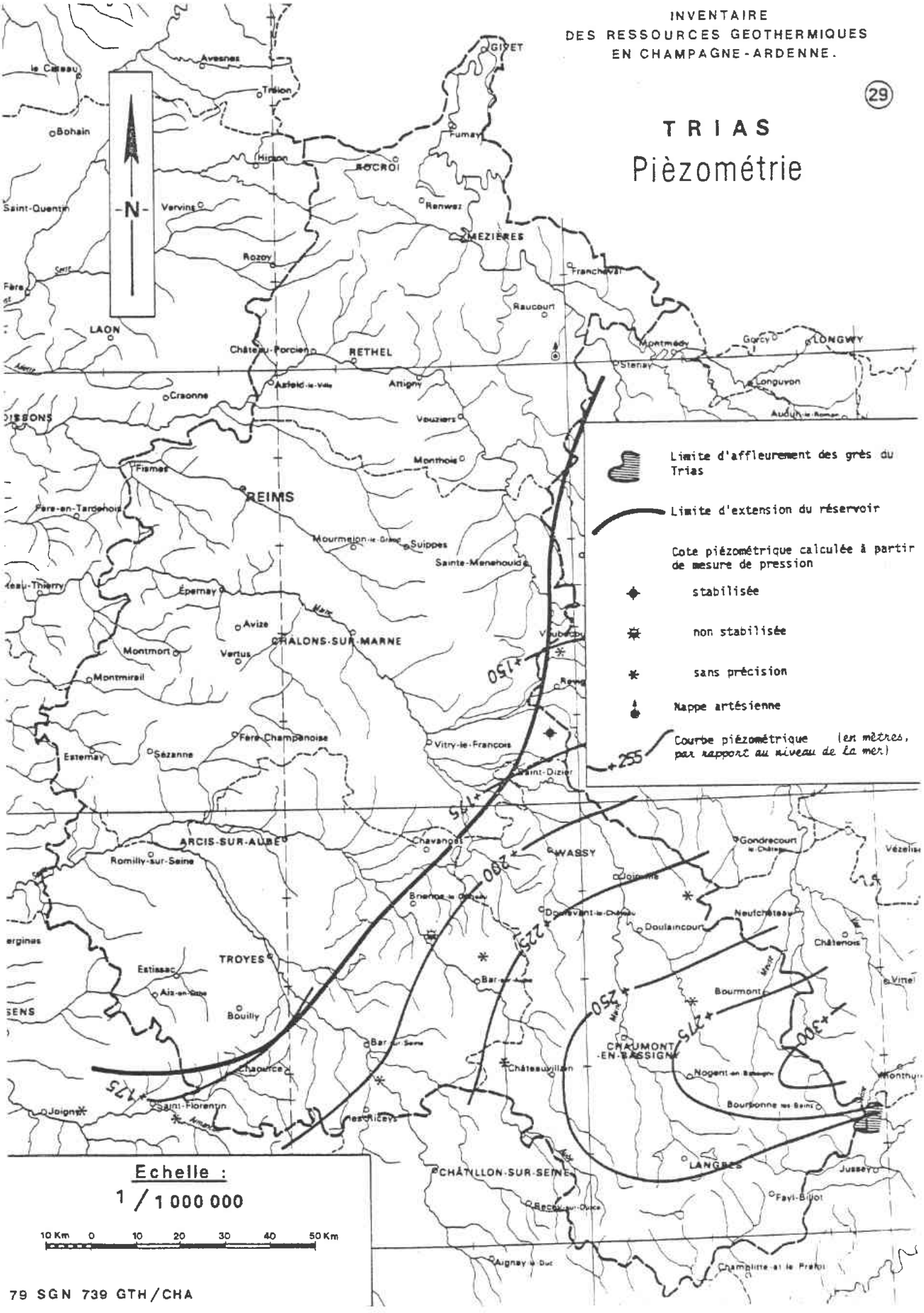
Caractéristiques du réservoir.



INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

29

TRIAS
Piézométrie

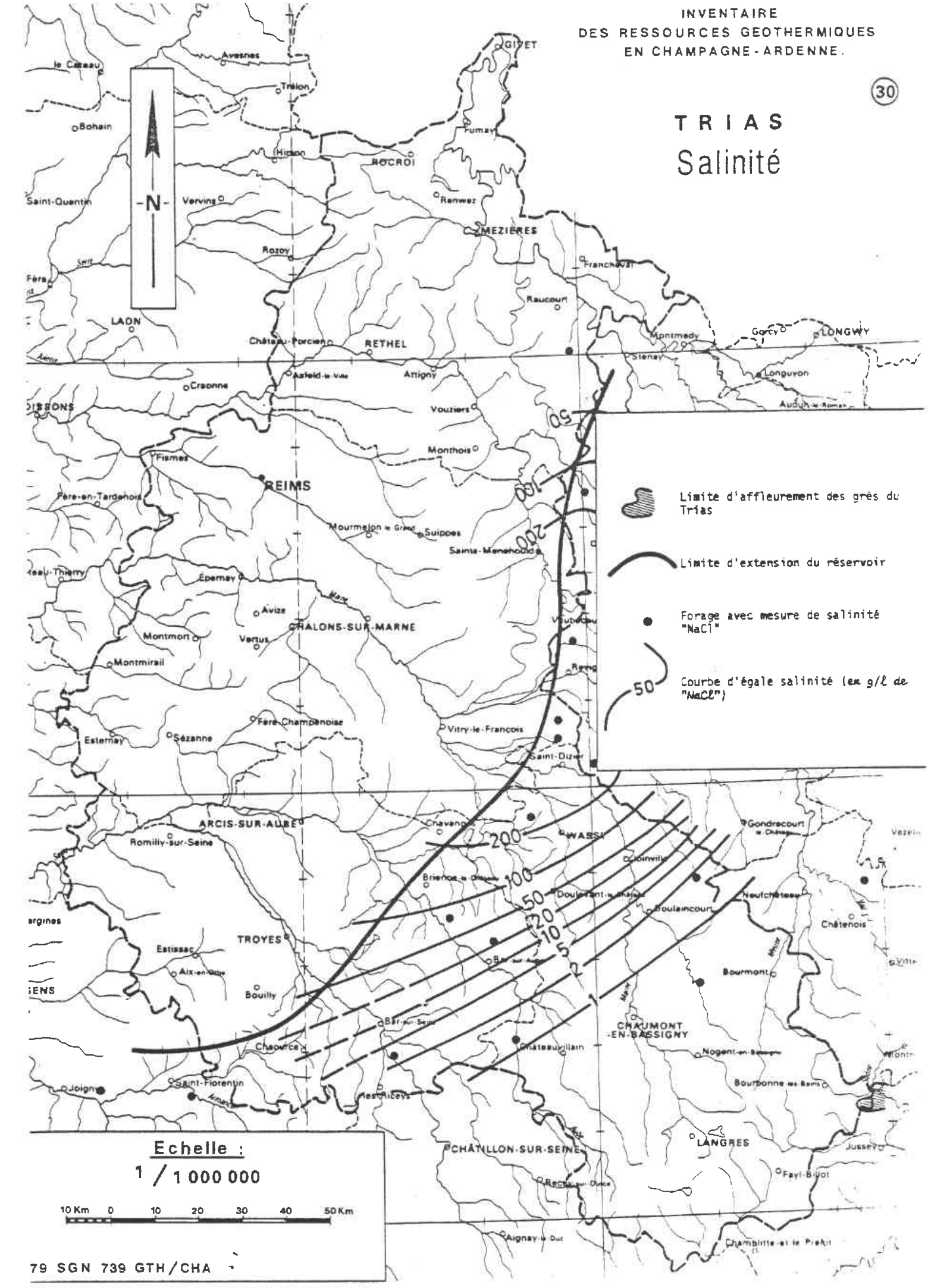


79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

30

TRIAS
Salinité



Echelle :

1 / 1 000 000

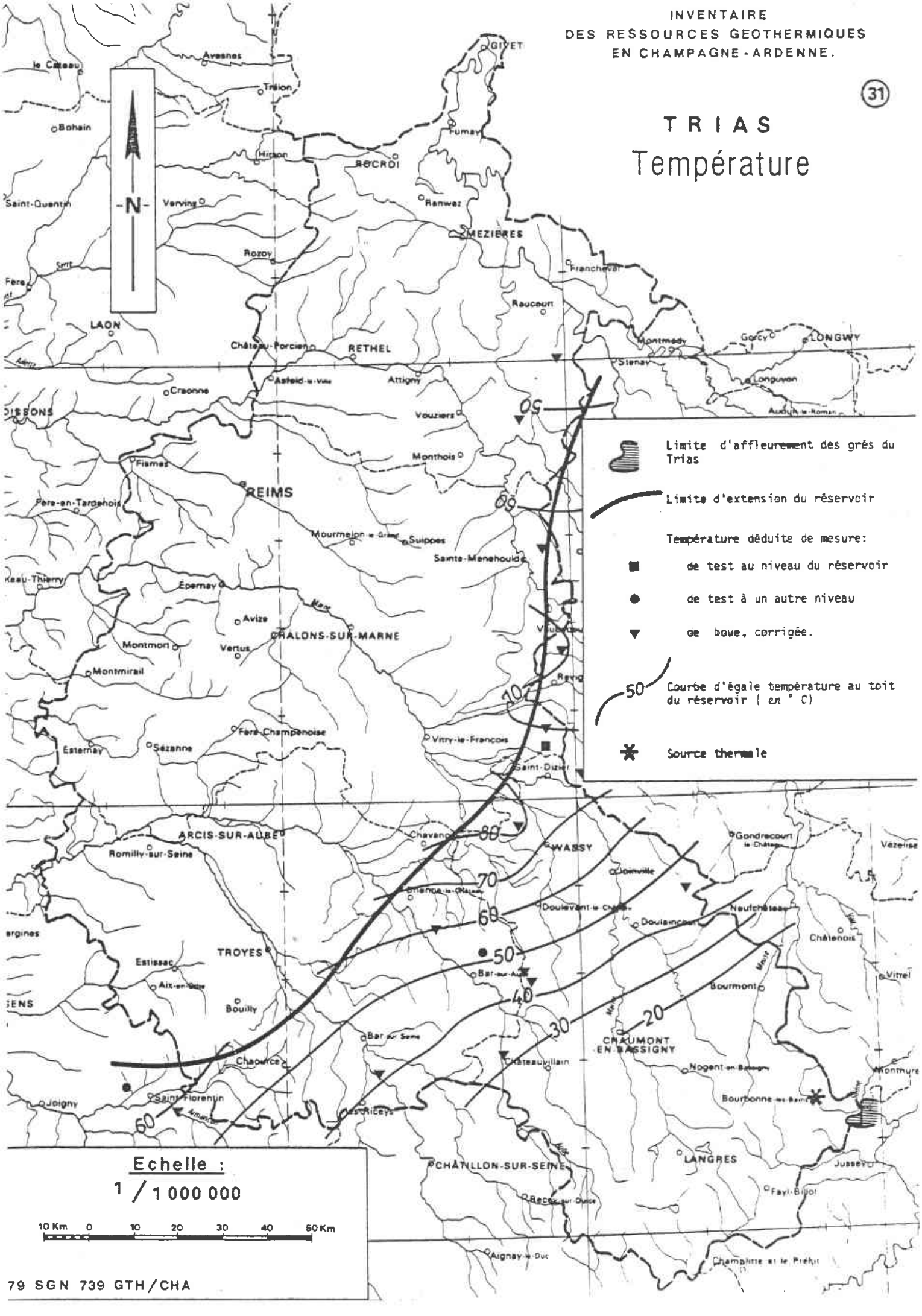
10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

INVENTAIRE
DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES
EN CHAMPAGNE-ARDENNE.

(31)

TRIAS
Température



Limite d'affleurement des grès du Trias

Limite d'extension du réservoir

Température déduite de mesure:

- de test au niveau du réservoir
- de test à un autre niveau
- de boue, corrigée.

50 Courbe d'égale température au toit du réservoir (en ° C)

Source thermale

Echelle :

1 / 1 000 000

10 Km 0 10 20 30 40 50 Km

79 SGN 739 GTH/CHA

S1

INVENTAIRE DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN CHAMPAGNE - ARDENNE.

LUSITANIEN

Carte de SYNTHESE.

79 SGN 739 GTH /CHA

LEGENDE

- Limite de la région Champagne - Ardenne.
- Limite supérieure de l'affleurement du Lusitanien.
- 30 — Courbe d'égale température au toit du réservoir, (en °C).
- Courbe approximative d'égale transmissivité, limitant les zones à :
  - Moyenne productivité ou à bonne productivité incertaine.
  - Productivité vraisemblablement moyenne à médiocre.
  - Productivité médiocre à nulle.

Echelle : 1/500 000

5 Km 0 5 10 15 20 25 Km
4 3 2 1

-N-

GÉO CHALEUR

S4

INVENTAIRE DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN CHAMPAGNE - ARDENNE.

TRIAS

Carte de SYNTHESE.

79 SGN 739 GTH/CHA

LEGENDE

- Limite de la région Champagne - Ardenne.
- Limite supérieure de l'affleurement du Trias inf. gréseux.
- 40 — Courbe d'égale température au toit du réservoir (en °C).
- Courbe approximative d'égale transmissivité limitant les zones à :
  - Bonne productivité.
  - Moyenne productivité ou à bonne productivité incertaine.
  - Productivité vraissemblablement moyenne à médiocre.
  - Productivité médiocre à nulle.

Echelle : 1/500 000

5 Km 0 5 10 15 20 25 Km
4 3 2 1

-N-

GÉO CHALEUR

S3

INVENTAIRE DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN CHAMPAGNE - ARDENNE.

RHETIEN

Carte de SYNTHESE.

79 SGN 739 GTH/CHA

LEGENDE

Limite de la région Champagne - Ardenne.

Limite supérieure de l'affleurement du Rhétien.

50 — Courbe d'égale température au toit du réservoir, (en °C).

Courbe approximative d'égale transmissivité limitant les zones à :

- Moyenne productivité ou à bonne productivité incertaine.
- Productivité vraisemblablement moyenne à médiocre.
- Productivité médiocre à nulle.

Echelle : 1/500 000

5 Km 0 5 10 15 20 25 Km
4 3 2 1

07 50 09 10 08

REIMS CHALONS-S/MARNE Vitry-le-François BAR-LE-DUC TOUL TROYES SENS AUXERRE CHAUMONT Neufchâteau

N

GÉO CHALEUR

BRGM

S2

INVENTAIRE DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN CHAMPAGNE - ARDENNE.

DOGGER

Carte de SYNTHESE.

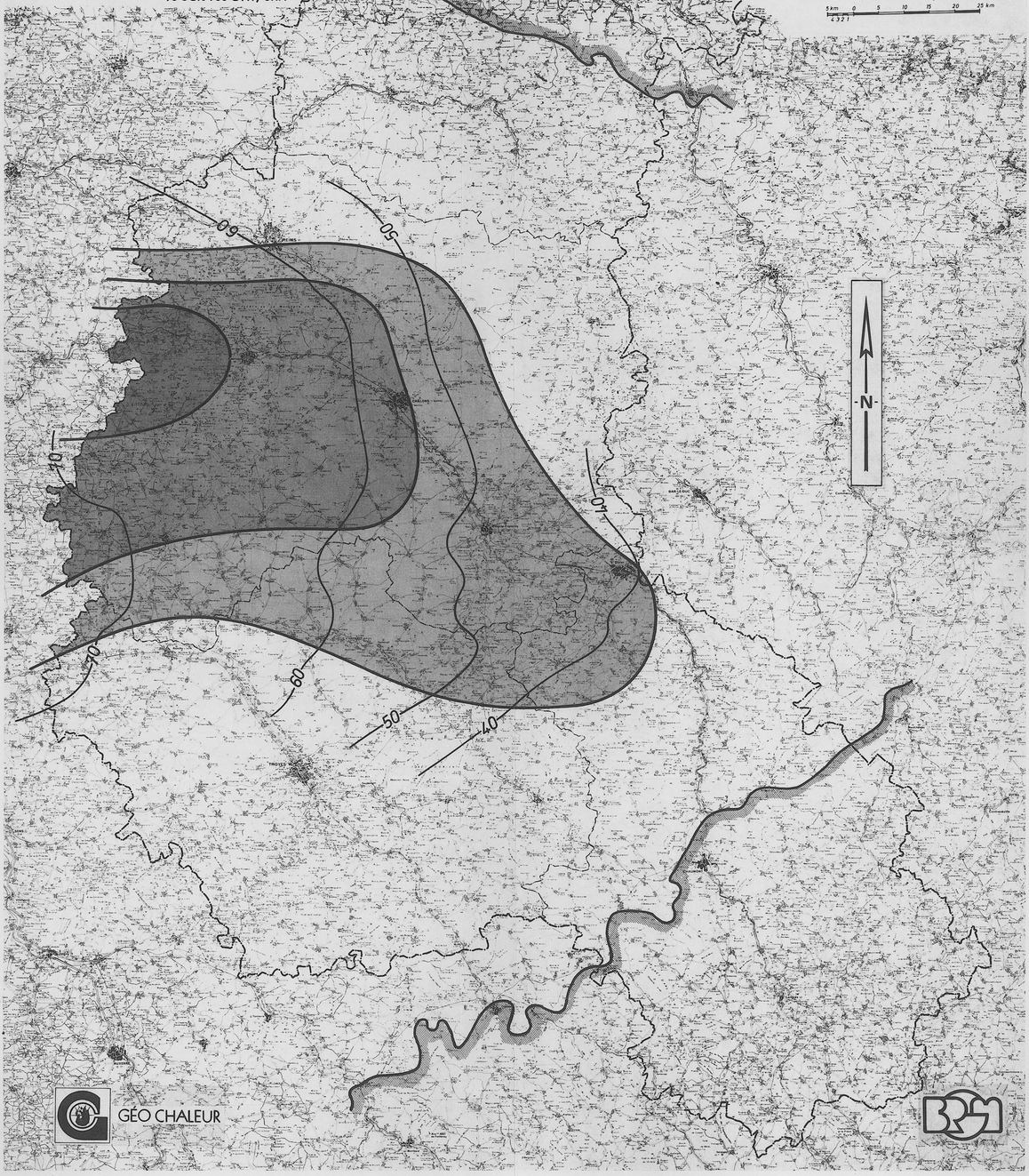
79 SGN 739 GTH/CHA

LEGENDE

- Limite de la région Champagne - Ardenne.
- Limite supérieure de l'affleurement du Dogger.
- 60 — Courbe d'égale température au toit du réservoir, (en °C).
- Courbe approximative d'égale transmissivité, limitant les zones à :
  - Bonne productivité.
  - Moyenne productivité ou à bonne productivité incertaine.
  - Productivité vraisemblablement moyenne à médiocre.
  - Productivité médiocre à nulle.

Echelle : 1/500 000

5km 0 5 10 15 20 25 km



GÉO CHALEUR

BRGM

S5

INVENTAIRE DES RESSOURCES GEOTHERMIQUES EN CHAMPAGNE - ARDENNE.

LOCALISATION GENERALE DES RESSOURCES.

79 SGN 739 GTH/CHA

LEGENDE

BONNE PRODUCTIVITE :

BONNE PRODUCTIVITE POSSIBLE :

PRODUCTIVITE TRES ALEATOIRE :

Courbe d'égale température (en °C) — 60

Echelle : 1/500 000

5 Km 0 5 10 15 20 25 Km
4 3 2 1

07

09

07

09

60

60

60

40

40

-N-

GÉO CHALEUR

BRGM