

INT 165/89

DECEMBRE 1989

ETUDE DE L'ACCESSIBILITE POUR DES ONDES
DE PLASMA FROID

OU

EVALUATION DE L'UTILISATION D'UN GYROTRON
A 8 GHz POUR LE LANCEMENT D'ONDES
HYBRIDES INFERIEURES DANS TCA

A. Pochelon

Etude de l'accessibilité pour des ondes de plasma froid
pour TCA

Ces calculs de propagation d'ondes utilisent un code slab [1] basé sur un modèle de plasma froid en approximation WKB [2]. Le champ magnétique est uniforme, le gradient de densité perpendiculaire au champ.

On obtient ainsi la partie réelle et imaginaire de l'indice d'onde perpendiculaire N_{\perp} pour l'onde lente et rapide. Le plus habituel est de chercher à coupler l'antenne à l'onde lente.

Pour le cas "standard TCA", on prend:

$$\begin{aligned} B_T &= 1.5 \text{ Tesla} \\ A &= 1 \text{ (} A = 2 \text{)} \\ Z &= 1 \\ N_{\parallel} &= 2.5 \\ f &= 8 \text{ GHz} \end{aligned}$$

La partie basse densité de la relation de dispersion perpendiculaire est montrée sur la Fig. 1 dans le cas standard TCA. Le maximum de densité accessible est appelé (en général) point de coalescence entre l'onde lente et rapide.

Différentes familles de variation des paramètres sont étudiées autour du cas standard de TCA, en ne variant chaque fois qu'un seul paramètre.

La variation du champ magnétique (Fig 2) montre l'effet bénéfique d'un plus grand champ toroidal, l'amélioration étant rapide puisque

$$n_{\text{coal}} \sim B_T^2$$

L'abaissement de la fréquence ne commence à avoir un effet bénéfique (à ce bas champ magnétique) que pour 1 -2 GHz. De plus, la topologie de la relation de dispersion change au-dessous de 0.9 GHz, zone où les branches haute et basse densité se reconnectent (Fig 3). Ces très basses fréquences ont donc des potentialités intéressantes.

Si l'on reste à l'intérieur de notre liberté expérimentale, soit un gyrotron à relativement haute fréquence pour le lancement d'ondes hybrides inférieures sur TCA, on peut espérer transférer la difficulté sur le choix



Fig 1

TCA Standard =

$B_T = 1.5$ Tesla

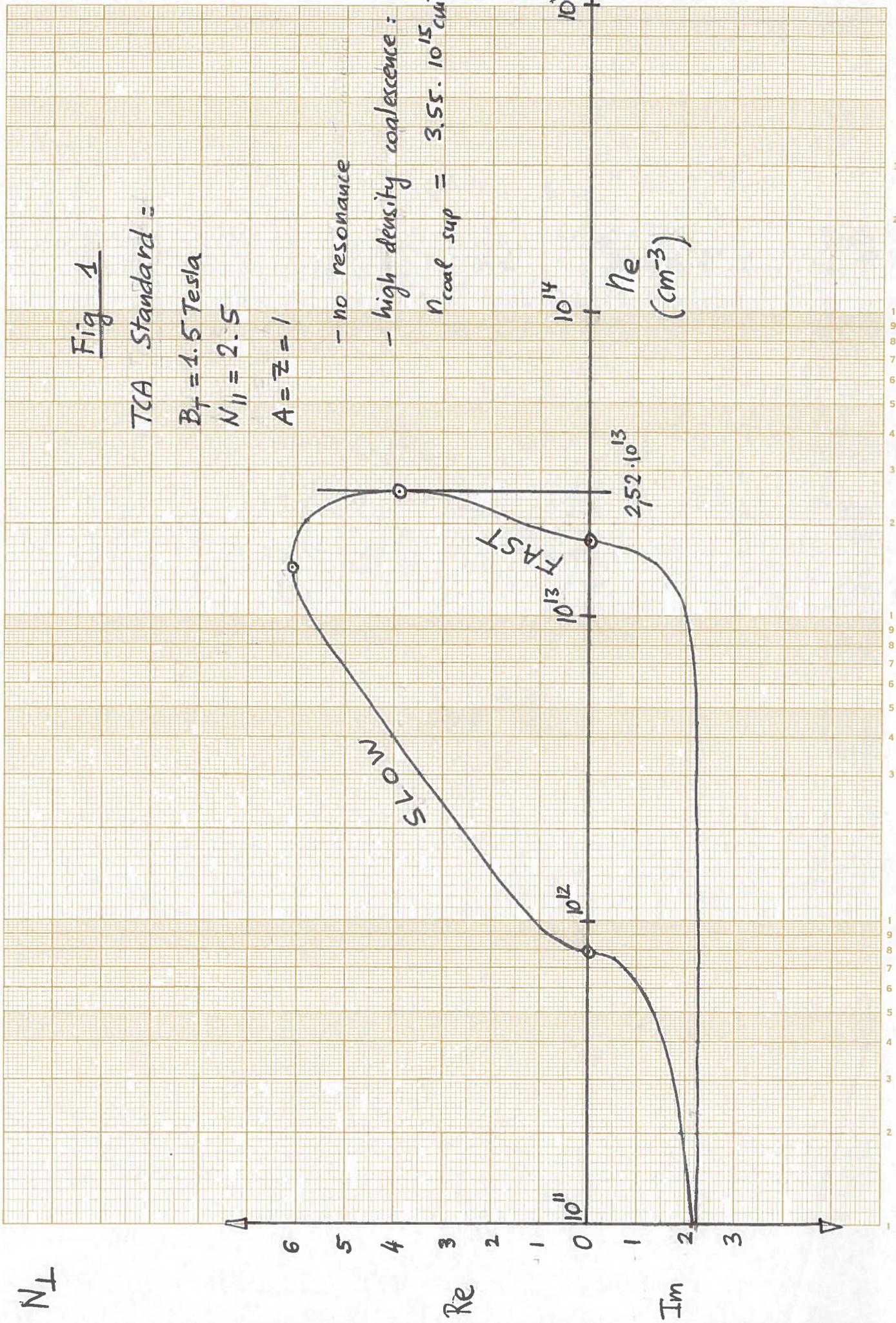
$N_{||} = 2.5$

$A = Z = 1$

- no resonance

- high density coalescence:

$n_{\text{cool sup}} = 3.55 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$



N_I

Re

Im

10^{11}

10^{12}

10^{13}

10^{14}

10^{15}

n_e
(cm^{-3})

$2.52 \cdot 10^{13}$

FAST

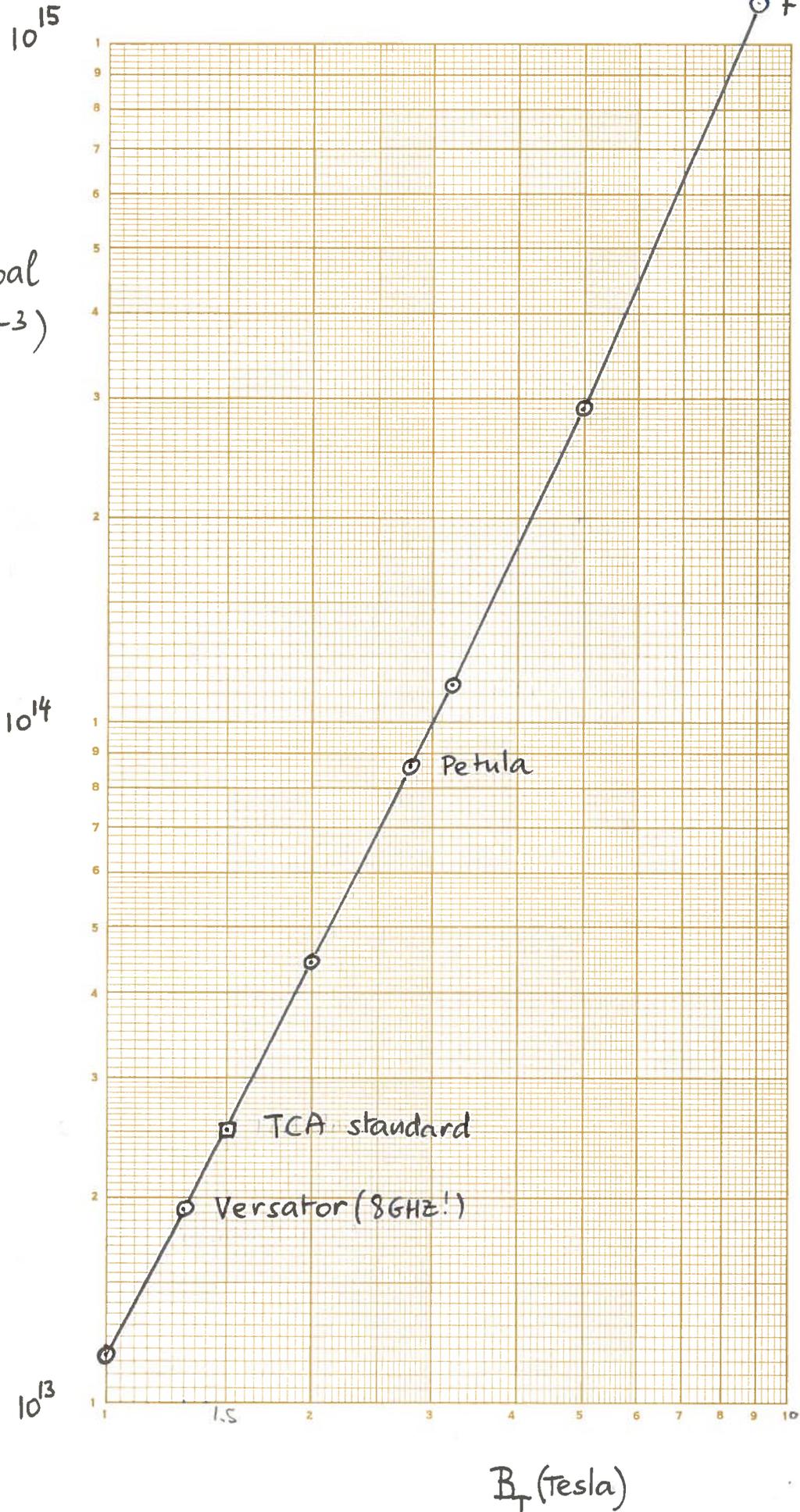
SLOW

B_T - scan

$n_{\text{coal}} \sim B_T^2$

n_{coal}
(cm^{-3})

$N_{||} = 2.5$
 $A = 1$
 $Z = 1$
 $f = 8 \text{ GHz}$



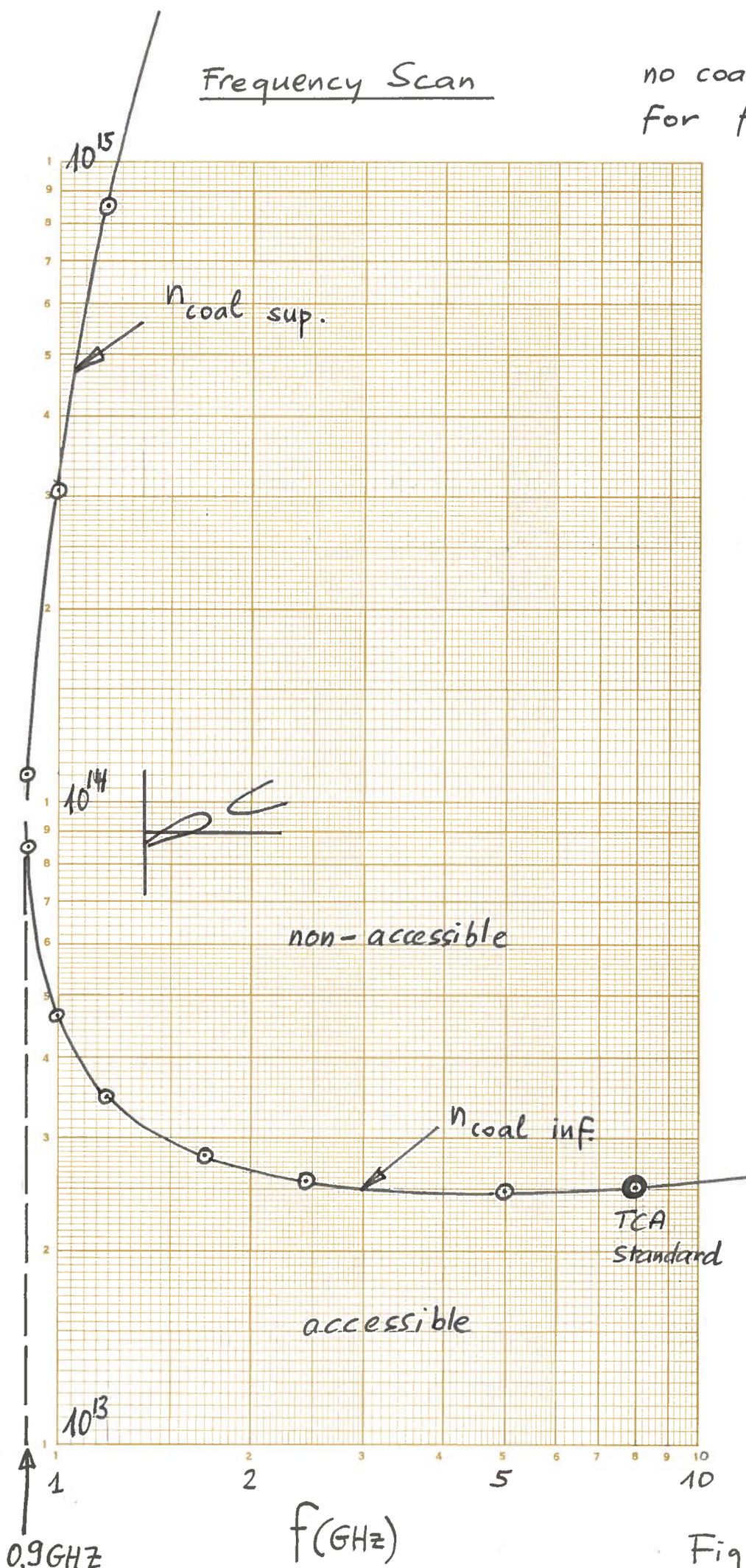
B_T (tesla)

Fig 2

Frequency Scan

no coalescence
for $f \leq 0.9\text{GHz}$

n_{coal}
(cm^{-3})



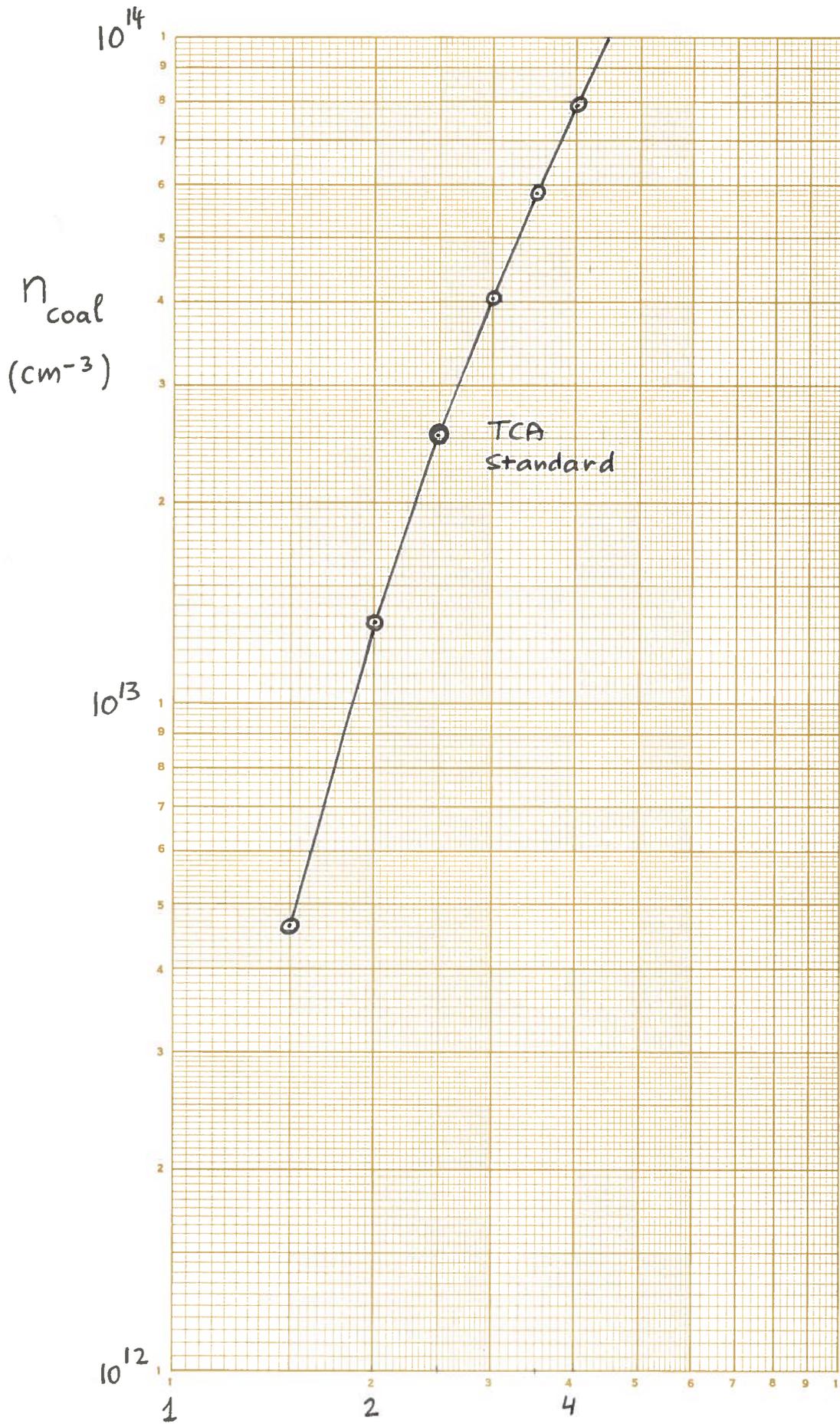
Log 2 Cycles x 1 Cycle

Chartwell Graph Data Ref. 5921

Fig 3

N_{11} - scan

$n_{\text{coal}} \sim N_{11}^3$



$A=1$
 $Z=1$
 $f=8\text{ GHz}$

N_{11}

Fig 4

du $N_{||}$. La variation du $N_{||} = k_{||}c/\omega = \lambda_0 / \lambda_{||}$ (Fig. 4) montre l'effet extrêmement bénéfique de l'augmentation du $N_{||}$ sur l'accessibilité, puisque:

$$n_{\text{coal}} \sim (N_{||})^3 \text{ autour des conditions de TCA 8 GHz.}$$

Le tableau suivant résume la densité limite atteignable pour un $N_{||}$ correspondant :

$n_{\text{coal}} \text{ (cm}^3\text{)}$	$N_{ }$
$2 \cdot 10^{13}$	2.3
$5 \cdot 10^{13}$	3.3
10^{14}	4.5

Il faudrait donc typiquement $N_{||} = 4$ pour TCA, ce qui rendrait possible l'accessibilité à $8 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Puisque

$$N_{||} \equiv \frac{\lambda_0 \Delta \emptyset}{\Delta 2\pi}$$

où: $\lambda_0 = c/f = 3,75 \text{ cm}$ est la longueur d'onde dans le vide, Δ est l'écartement entre les éléments du grill, et $\Delta \emptyset$ est le déphasage entre les éléments du grill,

et pour $\Delta \emptyset = \pi/2$, on a

$$\Delta = \frac{\lambda_0}{4N_{||}} = \frac{3.75 \text{ cm}}{4N_{||}} = \frac{9.4 \text{ mm}}{4N_{||}}$$

ceci donne avec $N_{||} = 4$ un écartement entre deux éléments de grill de:

$$\Delta = 2.3 \text{ mm.}$$

=====

L'écartement entre les éléments du grill, dans le sens toroïdal, serait donc extrêmement faible. Ceci comporte des mérites et des difficultés:

DESAVANTAGES:

- horlogerie (pas essentiel)
- échauffement (essentiel!)?
- maniabilité pour changer les plots de déphasage

AVANTAGES:

- facilité de réaliser un spectre $N_{||}$ étroit (cf PLT)
- effet multipacteur réduit
- pas de problèmes de largeur de flasque! Nos flasques NV 150 CF sont tout à fait adéquates

Références:

- [1] F. Troyon, Décembre 1987.
- [2] F. Troyon et F.W. Perkins, Lower-Hybrid Heating in Large Tokamaks. Proc. Second Topical Conf. on Radio Frequency Plasma Heating, (Texas Tech. Univ., Lubbock, Tx), 1974, Paper B4-1.

Résumé de la rencontre entre MM. Briffod/Pochelon/Lister/Ryter du 7.1.88
sur
LHCD appliqué à TCA/TCV avec gyrotron 8GHZ

L'accessibilité calculée semble fournir un modèle adéquat pour la prévision de l'accessibilité réelle, selon Briffod. L'accessibilité au centre n'est cependant pas une condition nécessaire pour faire du CD. Au contraire, dans Petula, l'accessibilité limitée au bord de la décharge permet des effets de stabilisation de modes MHD et des dents de scie intéressants. L'intérêt d'un élargissement du profil de courant dans TCV est évident, en regard de la stabilité verticale tout d'abord.

Une valeur du $N_{||}$ aussi élevée que $N_{||} = 4$, valeur nécessaire pour être accessible à 8.10^{13}cm^3 n'est pas forcément souhaitable, l'efficacité du CD diminuant avec $N_{||}$. D'autre part, une valeur du $N_{||}$ aussi élevée que 4 nous rapproche des situations de bons chauffage électronique au centre de la décharge, typiquement obtenus pour:

$$N_{||} Q_L \geq \frac{7.0}{(T_e [\text{KeV}])^{1/2}}$$

(plus particulièrement vrai pour TCV dont le plasma sera plus chaud que celui de TCA).

Un $N_{||}$ plus faible, tel que $N_{||} \cong 3$, serait probablement plus souhaitable. Cela aurait surtout l'avantage d'augmenter la taille d'un élément du grill à 3 mm. Il faudrait prévoir un coupleur qui puisse lancer les ondes dans les deux directions.

Il est important, dans le peu de temps qui reste à TCA de prévoir une expérience souple, avec un $N_{||}$ variable. Briffod nous propose l'aide d'un spécialiste pour calculer le coupleur, David NGUYEN, ayant l'expérience de ces calculs pour JET.

Les multijonctions ne sont pas souhaitées: c'est compliqué et peu souple; la solution qui consiste à mettre des charges est plus souple et permet surtout de changer le $N_{||}$, même pendant une décharge. Ceci permet d'envisager différentes situations de lancement d'ondes dans la phase de montée du courant et de plateau de la décharge.

Un queusot de 150 mm \varnothing est considéré comme confortable pour passer 260 KW avec un taux d'occupation de 0.5 et avec une valeur de densité de puissance tout à fait conservatrice de 3KW/cm² à cette fréquence. L'éventuel problème de dissipation thermique dans un grill de confection horlogère reste à étudier, l'évacuation de la chaleur pouvant devenir problématique, si pas essentiellement insoluble. Le problème pratique lié à l'échauffement du grill est l'apparition de dégazage, qui provoque de l'arcage. On ne gagne que sur l'effet multipacteur en réduisant la taille à fréquence fixe.

Après une décision donnant le feu vert, une étude de six mois permettrait de monter la ligne et le coupleur en 1 an, ce qui nous amènerait à mi-89 (estimation Briffod). Briffod est ouvert à tous les contacts nécessaires pour une pré-étude avant un feu vert éventuel. Il suggère pour une étude détaillée:

NGUYEN, pour le calcul détaillé du coupleur
BRIFFOD, pour le calcul, basé sur l'expérience, de
l'efficacité de CD.

A. Pochelon
4.2.88