

# L'abaque de Smith



Phillip Hagar Smith

## PREMIÈRE PARTIE

### 1 - PRÉSENTATION

Pour appréhender au mieux le fonctionnement de l'abaque de Smith, cet article, publié en deux parties, se décomposera comme suit :

- 1 - Présentation et rappel historique sur P. Smith.
- 2 - Exemple de calcul de l'impédance résultante d'un circuit.
- 3 - Présentation de l'abaque et comment il est construit.
- 4 - Mode d'emploi (comment on place les valeurs, comment on tourne autour de l'abaque).
- 5 - Application pratique au cas étudié chapitre 2 pour démontrer la facilité d'analyse.
- 6 - Étude d'un deuxième cas (un coupleur en T adaptant une antenne).
- 7 - Quelques compléments concernant les zones interdites en fonction des circuits en L utilisés.
- 8 - Conclusion.

Naturellement, il restera encore beaucoup à écrire après cette présentation succincte, et nous laissons la porte ouverte à ceux qui voudraient prendre la suite. Cela étant,

l'objectif est de découvrir ce merveilleux instrument, pas d'en être des spécialistes. Avant de passer aux choses sérieuses, parlons un peu de son génial inventeur.

Phillip Hagar Smith est né à Lexington, Massachusetts le 29 avril 1905. Il s'intéresse assez tôt à la radioélectricité ainsi qu'à l'émission d'amateur, il transmet avec l'indicatif 1ANB, il obtiendra en 1928 son diplôme d'ingénieur. Il intègre alors les célèbres Bell Telephone Laboratories et œuvre dans la conception et l'installation d'antennes directives pour les stations AM de radiodiffusion. À cette époque héroïque, la connaissance théorique des lignes de transmission reposait sur les travaux datant de 1911 de J.A. Fleming et les mesures s'effectuaient en déplaçant un appareil muni de six ou huit thermocouples couplés à la

ligne par le biais d'inductances, un microvoltmètre servait d'indicateur. Cette mesure permettait de déterminer l'amplitude relative et la position des maxima et minima de tension. On pense que c'est la lourdeur de ces opérations pour adapter les impédances qui incita P. Smith à envisager un système plus rationnel visant à modéliser la ligne avant de passer aux expérimentations pratiques. Sa première publication intervient en 1932, pour la 20e conférence de l'IRE (qui deviendra l'IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers).

L'abaque de Smith n'est pas né en un jour, il est issu d'un long mûrissement de la réflexion de son inventeur. Il prit plusieurs formes et se stabilisa vers 1937 quand P. Smith travailla avec B. Ferrell et J.W. McRae.

Nul n'étant prophète en son pays, Smith ne convainquit pas immédiatement la communauté technique et scientifique de l'utilité de son abaque. Il fallut attendre 1940 et la création du M.I.T. Radiation Laboratory pour voir son usage se généraliser et ainsi obtenir la reconnaissance qui lui était due. En 1944, P. Smith publia un article pour décrire les améliorations apportées à son calculateur graphique, plus particulièrement l'ajout des impédances et admittances.

La consécration viendra à l'occasion de la sortie du premier numéro du Microwave Journal qui présentera une biographie de l'auteur, reconnaissant ainsi l'importance de ses travaux.

P. Smith est décédé le 29 août 1987.

### 1-1 - OUTILS

L'internet et la bonne volonté des créateurs de logiciels permettent de disposer d'outils très puissants et souvent gratuits. Vous trouverez donc les matériels suivants aux liens indiqués.

**Abaque de très grande qualité au format PDF**  
[http://www.ife.ee.ethz.ch/~ichsc/smith\\_charts/Black\\_Magic.pdf](http://www.ife.ee.ethz.ch/~ichsc/smith_charts/Black_Magic.pdf)

**Logiciel QuickSmith**  
<http://www.nathaniyer.com/>  
 Très complet, intuitif, gratuit, prise en main quasi immédiate.

**Logiciel SC**  
[http://tools.rfdude.com/RFdude\\_Smith\\_Chart\\_Program/RFdude\\_smith\\_chart\\_program.html](http://tools.rfdude.com/RFdude_Smith_Chart_Program/RFdude_smith_chart_program.html)  
 Ergonomie différente de QuickSmith, pas de représentation schématique, prise en main immédiate, interface simple, programme gratuit.

Ces deux logiciels sont complémentaires, ils occupent très peu de place sur un disque, n'hésitez pas à les télécharger. Ils vous permettront de simuler tous les circuits possibles et imaginables et vous seront d'une grande aide dans la compréhension du fonctionnement de l'abaque. Vous pouvez également vous munir d'une règle graduée, d'un compas et imprimer l'abaque haute définition, ce support papier vous permettra de reprendre les exemples étudiés dans ces pages.

**Depuis que nous intéressons à ce loisir et à la radioélectricité, nous avons tous, à un moment ou l'autre, entendu parler de l'abaque de Smith. Et puis un jour nous l'avons vu et même si nous avons trouvé ses arabesques très esthétiques, nous sommes restés confondus par ses apparents mystères. Étant un radioamateur standard (rien que prétendre cela est un peu présomptueux), je me suis dit qu'il serait intéressant, en tant qu'autodidacte, d'essayer d'appréhender son fonctionnement et de tenter de restituer ce que j'en avais retenu.**

### Feuille de calcul

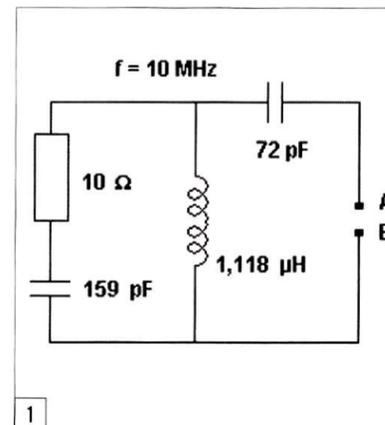
<http://perso.wanadoo.fr/f6crp/reac3.xls>

J'ai mis à disposition, sur mon site, une feuille de calcul Excel permettant de calculer les réactances des inductances et capacités ainsi que de passer des impédances aux admittances et réciproquement.

## 2 - CALCUL DE L'IMPÉDANCE D'UN CIRCUIT SIMPLE

Avant de passer à l'abaque proprement dit, nous allons nous livrer au calcul "manuel" de l'impédance d'un circuit comportant des résistances, des inductances et des condensateurs.

Ce n'est pas par vice mais par nécessité, il est important d'avoir une idée de la méthode de calcul, d'une part pour comprendre le fonctionnement de l'abaque et d'autre part pour mesurer combien P. Smith a facilité la vie des ingénieurs à l'époque où le seul instrument était justement la fameuse règle à calcul.



Voici, **figure 1**, le schéma. On désire déterminer l'impédance résultante aux points A et B sachant que la fréquence d'utilisation est de 10 MHz. On pourrait imaginer que la résistance de 10  $\Omega$ , en série avec le condensateur de 159 pF, représente une antenne et que la self et le condensateur constituent un système d'adaptation d'impédance, les points A et B étant les points de raccordement de l'émetteur.

Le problème n'est pas aussi simple qu'il y paraît car nous sommes en présence d'éléments en série et en parallèle. Pour ce qui concerne les éléments série, c'est toujours très simple, regardez la facilité de calcul des résistances en série... En revanche, en parallèle, il faut passer par les inverses, c'est plus fastidieux.

Revenons à notre problème, sans entrer dans des considérations compliquées (ce n'est pas le but), nous allons donc accepter d'utiliser les nombres complexes pour effectuer nos calculs. Ceux-ci permettent de tenir compte du fait que tension et courant ne sont pas en phase, nous n'avons pas besoin d'en savoir plus pour le moment.

### 2-1 - COMMENT CES NOMBRES COMPLEXES FONCTIONNENT-ILS ET QUELLE NOTATION ADOPTER ?

Nous allons nous intéresser à la représentation des valeurs "série". On sait que l'impédance est la réunion d'une résistance R et d'une réactance X. X peut être positive, il s'agit alors d'une inductance ou négative, il s'agit alors d'un condensateur.

Le "j" indique seulement que nous avons affaire à une notation vectorielle ce qui nous interdit, par ailleurs, d'additionner ou soustraire directement les valeurs. Considérez-le comme une valeur "transparente".

Pour écrire la valeur d'une impédance série nous adopterons la notation suivante :

$$Z = R + jX \text{ ou } Z = R - jX$$

+ jX quand il s'agira d'une inductance et - jX quand il s'agira d'un condensateur. On parlera de la partie réelle qui est la partie

purement résistive de l'impédance et de la partie imaginaire qui est la partie réactive de l'impédance.

Prenons le cas concret de notre exemple : si nous voulons décrire l'impédance série de la résistance de 10  $\Omega$  en série avec la capacité de 159 pF, nous devons procéder comme suit :

1 - pour la résistance, pas de souci, valeur identique en alternatif comme en continu donc  $R = 10$ .

2 - pour le condensateur, il faut déterminer sa réactance à la fréquence de 10 MHz ce qui donne :

$$X_c = 1 / C\omega$$

$$\text{avec } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

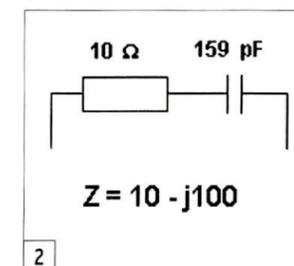
C s'exprime en farads, X en ohms et f en hertz.

Afin de réduire les calculs au strict nécessaire, voici la valeur, rien ne vous empêche de recalculer éventuellement avec l'aide d'un tableur.

$X_c = 100 \Omega$  à la fréquence de 10 MHz.

Il nous est donc permis maintenant de décrire le circuit de la **figure 2** par cette notation.

Cela, c'est l'impédance série. Or, d'après le schéma de la **figure 1**, nous devons mettre en parallèle une inductance. Nous sommes confrontés exactement à la même problématique qu'avec de banales résistances, on ne peut pas adopter la même méthode de calcul selon qu'il s'agisse de résistances en série ou parallèle. Nous allons donc, et vous l'avez deviné, passer par les inverses, comme nous le faisons pour des résistances en parallèle. Sauf qu'ici, s'agissant d'alternatif et de valeurs complexes, nous allons définir d'autres grandeurs.



### 2-2 - L'ADMITTANCE, LA CONDUCTANCE ET LA SUSCEPTANCE

L'admittance, notée Y, est l'inverse de l'impédance, elle se mesure en S (Siemens).

(Le Siemens S est l'unité dérivée de conductance électrique du système international (SI), nommée ainsi en hommage à Werner von Siemens).

La conductance, notée G, est l'inverse de la résistance, elle se mesure en S (Siemens). La conductance est la capacité à conduire l'électricité. Une résistance de 10  $\Omega$  possède une conductance de  $1/10 = 0,1 \text{ S}$  ou 100 mS.

La susceptance notée B est l'inverse de la réactance, elle se mesure en S (Siemens). Pour une inductance la susceptance BI vaudra  $1 / 2 \pi f L$  et la susceptance d'un condensateur Bc vaudra  $2 \pi f C$ , tout ceci naturellement exprimé avec les unités du Système International (SI).

Pour résumer, nous avons pour les impédances série  $Z = R + jX$ , nous aurons pour les admittances  $Y = G - jB$  et réciproquement, pour  $Z = R - jX$ , nous aurons  $Y = G + jB$ .

Pourquoi évoquer tout cela ? Simplement parce que nous allons en avoir besoin et qu'il faudra impérativement additionner (ou soustraire) des impédances à des impédances et des admittances à des admittances.

On passe de l'une à l'autre très simplement en appliquant les formules résumées dans le tableau de la figure 3.

$Z \rightarrow Y$	$Y = \frac{R}{R^2 + X^2} + j \frac{X}{R^2 + X^2}$
$Y \rightarrow Z$	$Z = \frac{G}{G^2 + B^2} + j \frac{B}{G^2 + B^2}$

2-3 - APPLICATION À L'EXEMPLE DE LA FIGURE 1

Rien ne valant un exemple pratique, nous allons appliquer tout ceci au cas de la figure 1. Si vous refaites le calcul, ne soyez pas étonné de trouver, pour les décimales, des valeurs très légèrement différentes, j'ai arrondi certaines valeurs pour simplifier l'écriture.

1) Posons la valeur de l'impédance série de la résistance de 10 Ω couplée au condensateur de 159 pF. Nous avons déjà effectué ce calcul, il vient  $Z = 10 - j100$ .

2) Il faut maintenant ajouter l'inductance en parallèle, nous devons passer de Z vers Y en appliquant les formules de la figure 3.  $Z = 10 - j100$  devient  $Y = 0,00099 + j0,0099$ .

Notez au passage que le signe s'inverse lors de la transformation. Nous pourrions, pour simplifier l'écriture, utiliser un sous-multiple du siemens, le milli-Siemens ou mS.

3) Déterminons la susceptance de l'inductance de 1118 nH,  $X = 70,25 \Omega$ ,  $B = 0,01423 \text{ S}$  soit  $Y = 0 - j0,01423$ .

4) Nous pouvons maintenant additionner les deux admittances, il vient :  $Y = [0,00099 + j0,0099] + [0 - j0,01423]$ . On additionne terme à terme :  $Y = 0,00099 - j0,00433$ .

5) Nous allons maintenant connecter un condensateur en série, il faut donc revenir aux impédances. Nous transformons  $Y = 0,00099 - j0,00433$  en utilisant les formules de la figure 3, il vient :  $Z = 50,8 + j221$ .

6) Nous déterminons maintenant la réactance X du condensateur de 72 pF à 10 MHz, il vient :  $X = 221 \Omega$ . En impédance série :  $Z = 0 - j221$ .

7) Ajoutons la réactance du condensateur à notre circuit :  $Z = [50,8 + j221] + [0 - j221]$ .  $Z = 50,8 - j0$ .

Donc, aux points A-B, le montage décrit figure 1 équivaut à une résistance pure de 50,8 Ω, on peut dire qu'on a réalisé l'adaptation à 50 Ω.

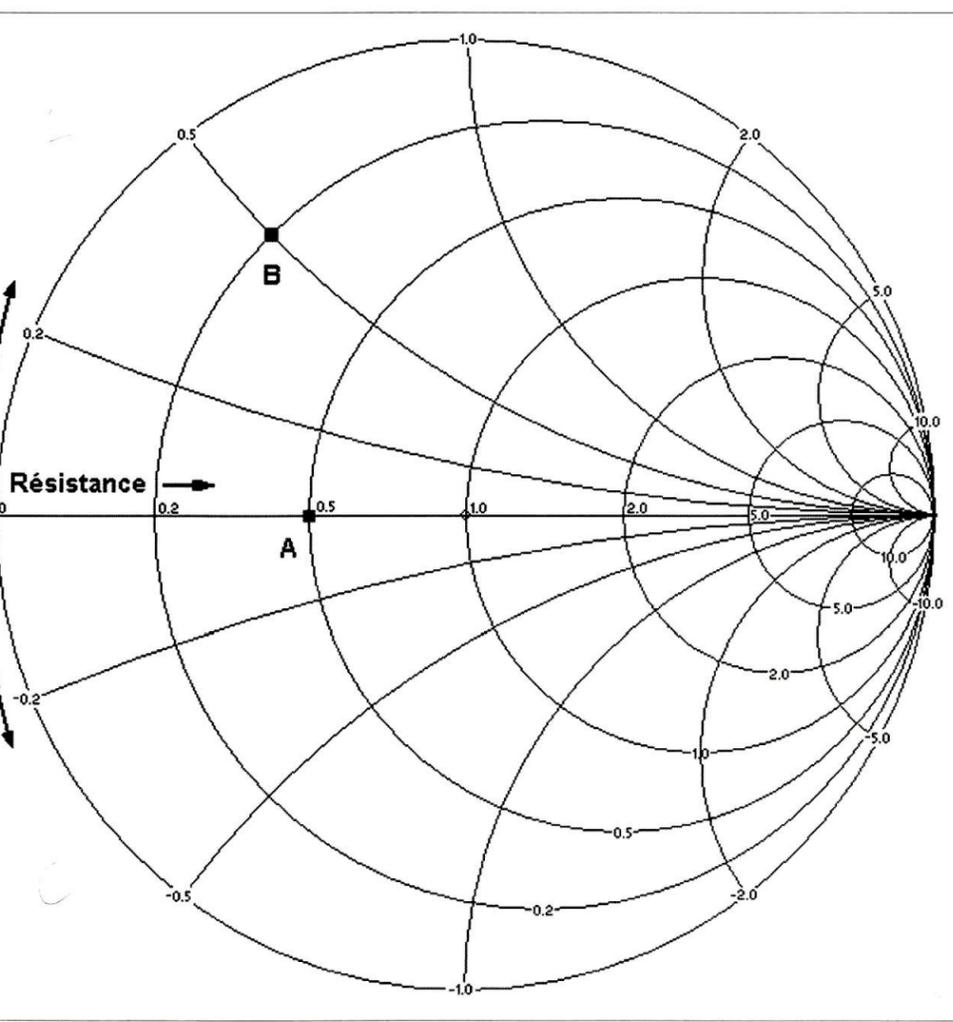
Vous l'aurez noté, ce n'est pas difficile mais c'est très laborieux, de plus les risques d'erreurs sont nombreux. Pensez à ceux qui n'avaient même pas de calculatrice pour effectuer ces calculs. C'est là qu'intervient Phillip Smith avec son merveilleux calculateur graphique !

3 - PRÉSENTATION DE L'ABAQUE DE SMITH CONSTRUCTION

L'abaque, tel que nous le connaissons aujourd'hui ne s'est pas constitué en jour, P. Smith ne s'est pas réveillé un beau matin avec une intuition géniale, il a au contraire beaucoup modifié son concept originel pour parvenir à l'outil abouti que nous connaissons. La figure 4 laisse apparaître une vue très simplifiée, ceci dans le but de comprendre ce que représentent les différentes portions de cercles et de ne pas surcharger le dessin.

L'abaque de Smith est une représentation graphique du coefficient de réflexion complexe sur laquelle on superpose une grille des impédances / admittances. C'est un outil de calcul graphique permettant la représentation des grandeurs complexes vues sur une ligne de transmission.

Il est divisé en deux parties égales par l'axe des résistan-



ces, toute la partie supérieure concerne le positionnement des réactances inductives, réciproquement, la partie inférieure est réservée aux réactances capacitives.

Un point quelconque sera positionné à l'intersection d'un cercle et d'un arc de cercle. Pour déterminer ses coordonnées, il suffira de lire la valeur portée à l'extérieur sur les arcs de cercle (partie réactive) et pour la partie résistive de noter la valeur au point d'intersection entre le cercle et l'axe des résistances.

Toutes les valeurs doivent pouvoir y être portées, pour ce faire l'abaque est doté d'une graduation universelle. À l'instar de ce que vous faites sur un contrôleur universel ou un oscilloscope pour déterminer une valeur avec des échelles qui ne sont pas en corrélation, il faudra opérer une conversion qui portera le nom de "normalisation", on parlera alors d'impédance réduite. Si l'on "normalise" à 50 Ω, cela signifie que le point central sur l'axe des résistances, noté "1" vaudra 50 Ω. La conversion est simple, on applique  $V / Z_0$  soit la valeur à convertir divisée par l'impédance normalisée choisie.

Le tableau ci-dessous récapitule les opérations pour normaliser ou revenir aux valeurs non normalisées.

Passer vers l'impédance normalisée	Revenir à l'impédance non normalisée
Rn : résistance normalisée	R : résistance
Zo : impédance de référence	Zo : impédance de référence
Xn : réactance normalisée	X : réactance
$Rn = R / Zo$	$R = Rn \times Zo$
$Xn = X / Zo$	$X = Xn \times Zo$

Au centre, l'axe horizontal est l'axe des résistances. Vous y voyez une graduation indiquant "0,5, 1, 2". Le point noté "1.0" est le centre de l'abaque et comme nous avons "normalisé" nos échelles à 50 Ω, ce point vaudra 50 Ω. On aurait pu tout aussi bien normaliser à 75 ou 600 Ω, il s'agit là uniquement d'une question de convention. Le point noté "2" vaudra donc  $2 \times 50 = 100 \Omega$ , tandis que le point noté "0,5" vaudra :  $0,5 \times 50 = 25 \Omega$ . Si l'on veut donc figurer une résistance pure de 25 Ω, il faudra placer un point sur cet axe, sa position sur la droite sera, si on normalise à 50 Ω de  $25 : 50 = 0,5$ . Ceci est représenté par le point "A".

Si nous voulons placer une résistance en série avec une réactance, cet ensemble sera positionné à l'intersection d'un cercle représentant la résistance et d'un arc de cercle représentant les réactances. Le point "B", figure 4, représente une impédance série  $Z = 10 + j25$  (la valeur normalisée est 0,2 + j0,5).

La figure 5 présente une vue partielle de l'échelle des réactances. Un dernier exemple est fourni avec le point "A". Celui-ci est placé sur l'arc de cercle des réactances de valeur 1,2 et sur le cercle des résistances 0,4, ces deux valeurs étant "normalisées". L'impédance série pour ce point vaut  $Z = 20 + j60$ .

3-1 - CONSTRUCTION DE L'ABAQUE

Pour bien comprendre le fonctionnement de l'abaque, il est intéressant d'examiner comment il est élaboré. Ce calculateur graphique est avant tout une représentation des coefficients de réflexion. Tout le monde sait de quoi il s'agit, tout radioamateur insère dans sa ligne de transmission un appareil appelé ROS-mètre et qu'il conviendrait d'appeler réflectomètre. Si la qualité de ces appareils et surtout les conclusions qui sont tirées des indications fournies sont sujettes à caution, il n'en demeure pas moins vrai qu'il s'agit d'un facteur auquel nous sommes confrontés de manière permanente.

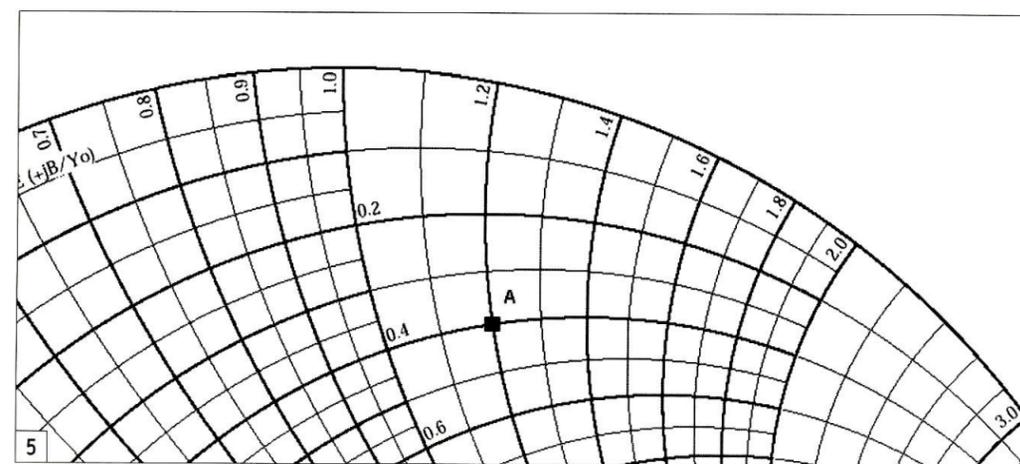
Le coefficient de réflexion gamma est une mesure de la qualité de l'adaptation de la charge à l'impédance de la source. C'est une valeur complexe avec une amplitude rho et un angle theta. En d'autres termes plus explicites, la formule suivante :

$$\Gamma = \rho \angle \theta = \frac{Zl - Zo}{Zl + Zo}$$

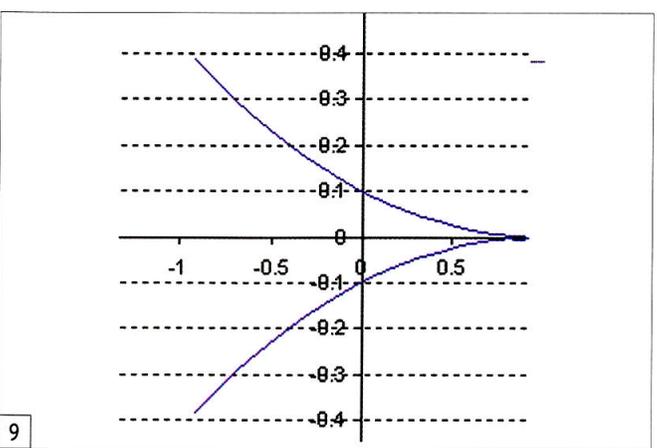
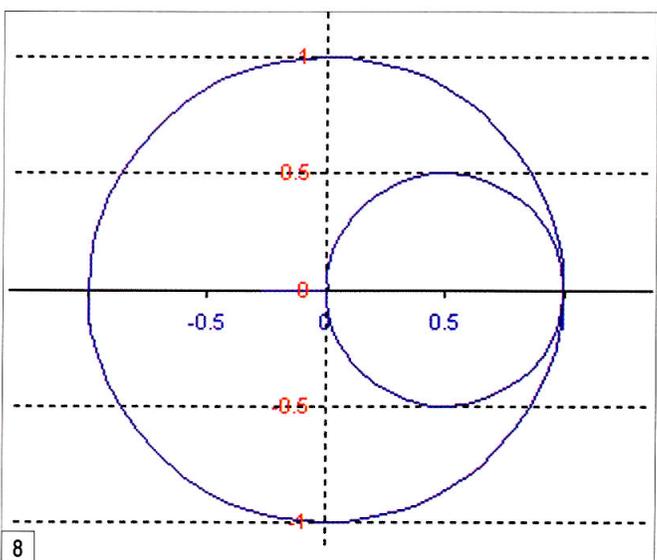
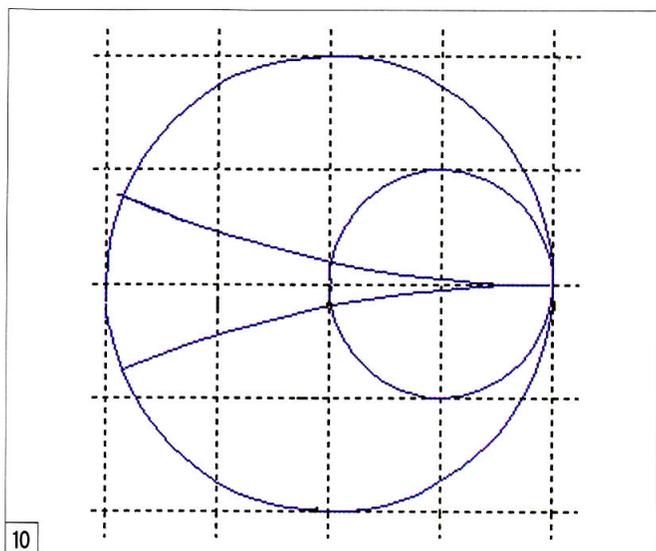
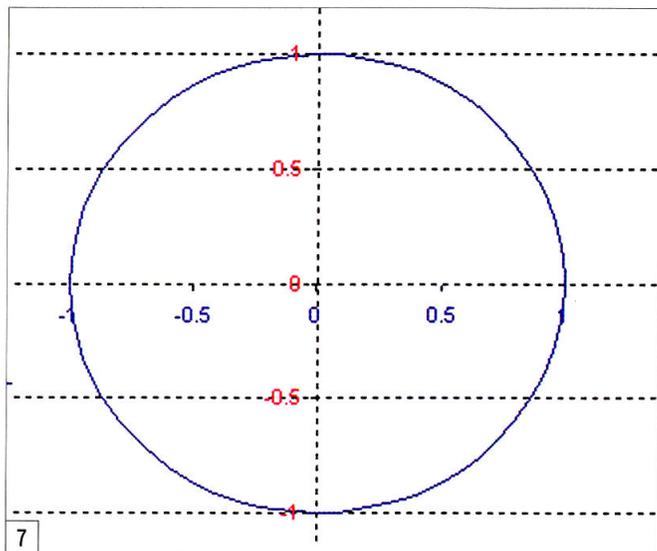
Avec Zl représentant l'impédance de la charge et Zo, l'impédance caractéristique. Notez également que Zl et Zo ne sont pas des grandeurs scalaires mais complexes.

Maintenant que nous sommes en possession de ces informations, nous pourrions nous distraire en essayant de déterminer les coefficients de réflexion pour un générateur de 50 Ω alimentant une charge dont la partie réelle est nulle et dont on fait varier la partie réactive. Nous pourrions aussi faire évoluer cette partie réactive de X à -X soit d'inductive à capacitive. Pour ce faire, nous appliquons la formule ci-dessus. Ce n'est pas très compliqué mais fortement répétitif, l'aide d'une calculatrice spécifique n'est pas indispensable mais très utile. A ce propos je vous recommande celle de DL4YHF qui est une petite merveille <http://people.freenet.de/dl4yhf/>

$(0+j*0 - 50+j*0) / (0+j*0 + 50+j*0) =: -1$
$(0+j*5 - 50+j*0) / (0+j*5 + 50+j*0) =: -0.980198 + j*0.198020$
$(0+j*10 - 50+j*0) / (0+j*10 + 50+j*0) =: -0.923077 + j*0.384615$
$(0+j*17 - 50+j*0) / (0+j*17 + 50+j*0) =: -0.792757 + j*0.609537$
$(0+j*25 - 50+j*0) / (0+j*25 + 50+j*0) =: -0.600000 + j*0.800000$
$(0+j*35 - 50+j*0) / (0+j*35 + 50+j*0) =: -0.342282 + j*0.939597$
$(0+j*50 - 50+j*0) / (0+j*50 + 50+j*0) =: 0.000000 + j*1$



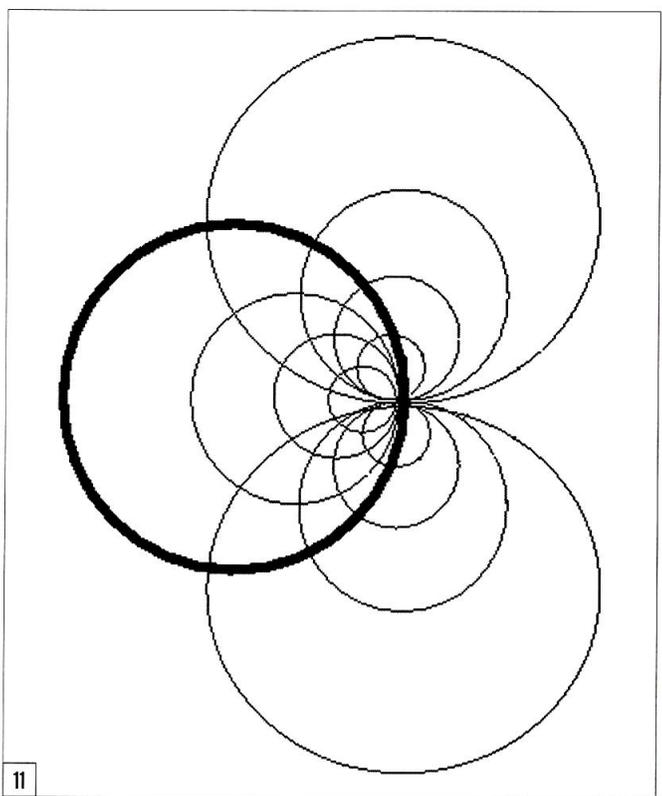
Sur l'exemple de la figure 6, qui reprend une partie seulement de l'ensemble des points à calculer, vous noterez que la partie réelle est toujours nulle et que c'est la partie réactive qui évolue. Maintenant, injectons les résultats dans Excel et faisons tracer le logiciel, on doit obtenir le résultat de la figure 7. Nous venons de tracer le cercle R = 0. Nota pour ceux qui souhaiteraient réaliser ce calcul utilisez, dans l'assistant graphique d'Excel, le type "Nuages de points".



Nous venons de tracer le cercle  $R = 1$ . Poursuivons nos expérimentations mais cette fois-ci, la réactance sera maintenue constante tandis que la résistance variera, nous obtenons la **figure 9**.

Superposons le tout et voici le résultat **figure 10**.

La boucle est bouclée, nous savons désormais tracer l'abaque de Smith. Nous retiendrons que les cercles sont formés à  $R$  constante et  $X$  variable, les arcs de cercle à  $R$  variable et  $X$  constante, l'axe des résistances pures étant un cas particulier de  $R$  variable quand  $X = 0$ .



Ce graphe indique donc, pour les valeurs décrites ci-dessus, quelles sont les valeurs de l'amplitude et du déphasage du coefficient de réflexion. Ce n'est pas très parlant. Reprenons le calcul ci-dessus mais en fixant la partie résistive de la charge à  $50 \Omega$  et en faisant varier sa réactance comme précédemment. Injectons dans Excel et traçons ; nous devrions obtenir un autre cercle mais plus petit. Faisons maintenant tracer à notre brave Excel (je n'ai rien de mieux) l'ensemble des valeurs produites par le calcul, en voici la représentation **figure 8**.

Nous découvrons un graphe d'aspect plus familier car il ressemble, à s'y méprendre, à une ébauche d'abaque de Smith.

Si l'on traçait tous les cercles, (car ce ne sont que des cercles hormis l'axe des résistances), on obtiendrait le résultat de la **figure 11**.

Dans la seconde partie de cet article, nous verrons le mode d'emploi de l'abaque de Smith avec quelques exemples pratiques.

Denis AUQUEBON, F6CRP

# L'abaque de Smith



Phillip Hagar Smith

## DEUXIÈME PARTIE ET FIN

### 4 - MODE D'EMPLOI

#### 4-1 - PARCOURS D'UNE INDUCTANCE EN SÉRIE

Avant d'étudier, avec l'abaque, le circuit de la **figure 1** de la première partie de cet article (MHz N° 282), examinons le positionnement des composants réactifs et leurs évolutions sur les arcs de cercle.

Nous partons arbitrairement du centre (50 Ω purement résistifs) et plaçons une inductance en série, négligeons les valeurs (fréquence, réactance), intéressons-nous seulement au parcours.

Augmenter la valeur de l'inductance, c'est-à-dire aug-

menter la réactance, augmenter la longueur de l'arc de cercle (figuré en bleu sur la **figure 12**). Notez que l'on tourne dans le sens des aiguilles d'une montre.

#### 4-2 - PARCOURS D'UNE INDUCTANCE EN PARALLÈLE

En parallèle, augmenter la valeur de l'inductance va réduire le parcours sur l'arc de cercle des susceptances, notez que l'on tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (**figure 13**).

#### 4-3 - PARCOURS D'UNE CAPACITÉ EN SÉRIE

Augmenter la valeur du condensateur va diminuer sa réactance et conséquemment diminuer l'arc de cercle. On tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (**figure 14**).

Les arabesques dessinées par l'abaque de Smith, même si elles peuvent sembler très esthétiques, nous apparaissent souvent comme bien mystérieuses. Cet article, dont la première partie était publiée dans notre précédent numéro, a pour but d'aider le lecteur à appréhender au mieux le fonctionnement du célèbre abaque.

Dans la première partie, nous avons retracé l'historique et vu "la théorie" de l'abaque de Smith. Passons maintenant à la pratique !

#### 4-4 - PARCOURS D'UNE CAPACITÉ EN PARALLÈLE

Augmenter la valeur du condensateur augmente son parcours sur le cercle des susceptances. On tourne dans le sens des aiguilles d'une montre (**figure 15**).

$$X_c = \frac{1}{C \omega} \quad X_l = L \omega$$

$$B_c = C \omega \quad B_l = \frac{1}{L \omega}$$

16

### 5 - APPLICATION PRATIQUE AU CAS DE LA FIGURE 1

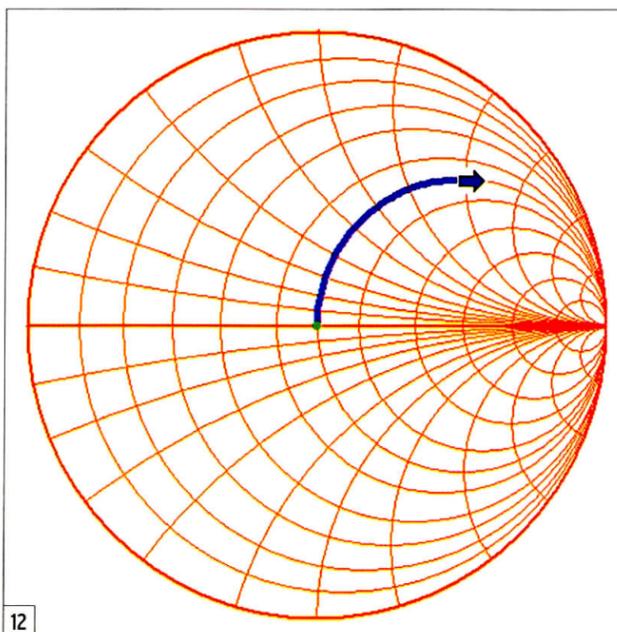
Reprenons le schéma de la **figure 1**, tout va se clarifier en étudiant ce schéma grâce à l'abaque.

Pour mémoire, il est peut-être utile de rappeler que les réactances/susceptances des condensateurs et inductances se calculent à partir des formules de la **figure 16** avec X en ohms, C en farads, L en henrys et  $\omega = 2 \pi f$ , f exprimée en hertz. Notre but est de déterminer quelle est l'impédance aux points de connexion A et B. Nous allons partir de la résistance de 10 Ω de la **figure 1**.

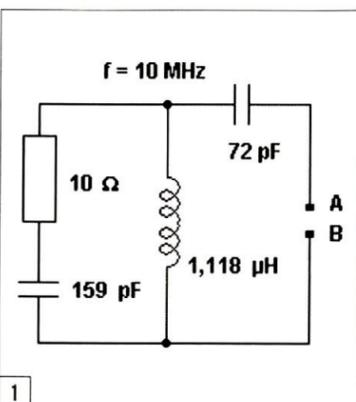
Rassurez-vous, les figures illustrant ce texte sont des captures écran, avec un vrai abaque sur papier, toutes les coordonnées sont clairement visibles.

**Figure 17.** Il faut déterminer la valeur "normalisée à 50 Ω" de la résistance de 10 Ω. Il vient  $10/50 = 0,2$ . Comme il s'agit d'une résistance pure, elle est positionnée sur l'axe des résistances au point de coordonnées 0,2 et identifiée par la lettre A.

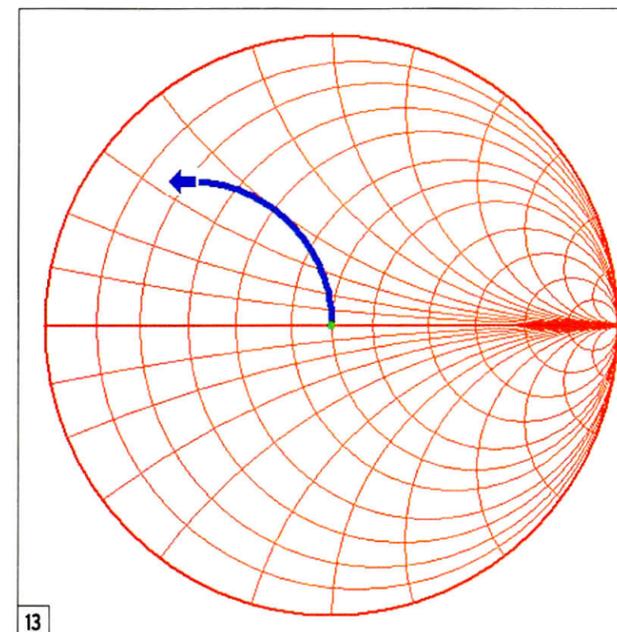
**Figure 18.** Nous allons maintenant placer en série le condensateur de 159 pF. Préalablement il faut déterminer sa réactance à la fréquence de 10 MHz grâce à la formule de la **figure 16**. Un condensateur de 159 pF présente à 10 MHz une réactance de 100 Ω.



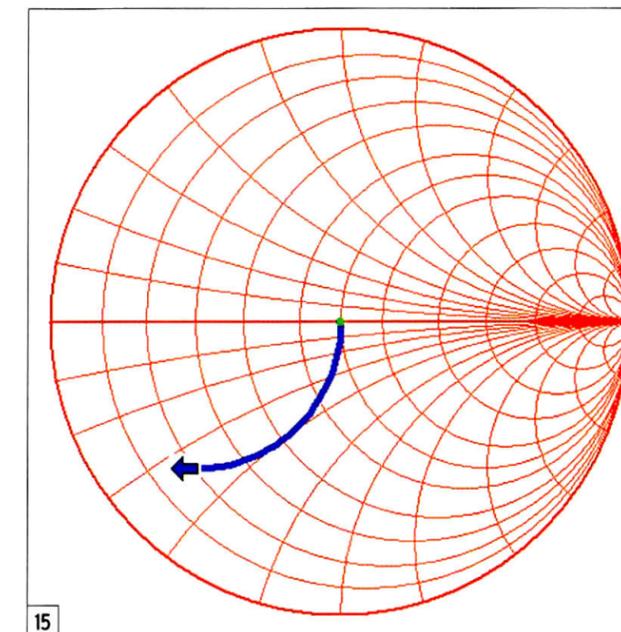
12



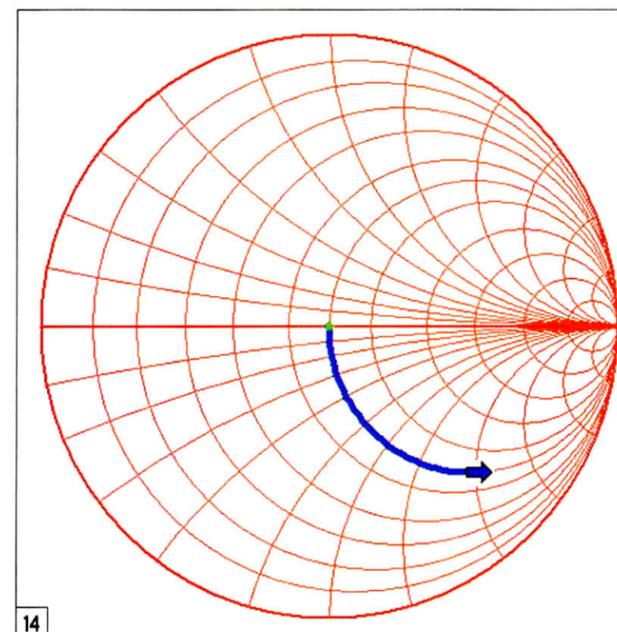
1



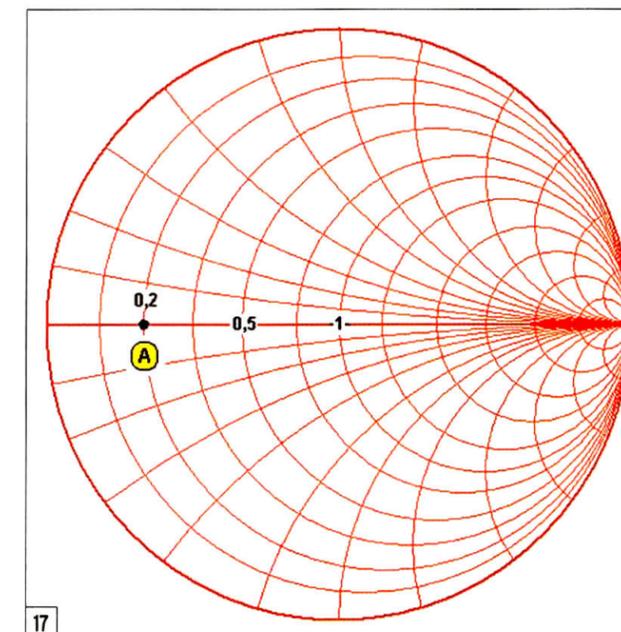
13



15



14



17

Reste à placer ceci sur l'abaque. C'est très simple. Partant de la résistance au point 0,2 sur l'axe des résistances, nous allons tourner sur un arc de cercle de réactance depuis ce point et bien sûr, dans la partie des réactances capacitives.

Oui mais de combien, pourriez-vous vous demander ? On sait que la réactance du condensateur est de 100 Ω, en valeur normalisée 50 Ω cela fera  $100/50 = 2$ . Nous lisons les valeurs normalisées des réactances sur le cercle extérieur et partant de 0

**GES LYON**  
22, rue Tronchet  
69006 LYON  
METRO FOCH  
Tél. 04 78 93 99 55  
Fax 04 78 93 99 52  
Sébastien

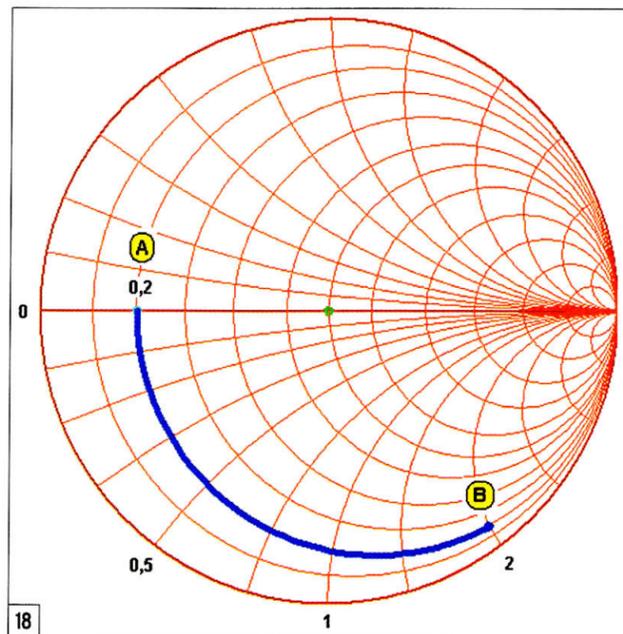
**Le seul point de vente dédié au matériel radioamateur en Rhône-Alpes**  
**TOUT LE MATÉRIEL YAESU**

SPÉCIALISTE DES MATÉRIELS MÉTÉO

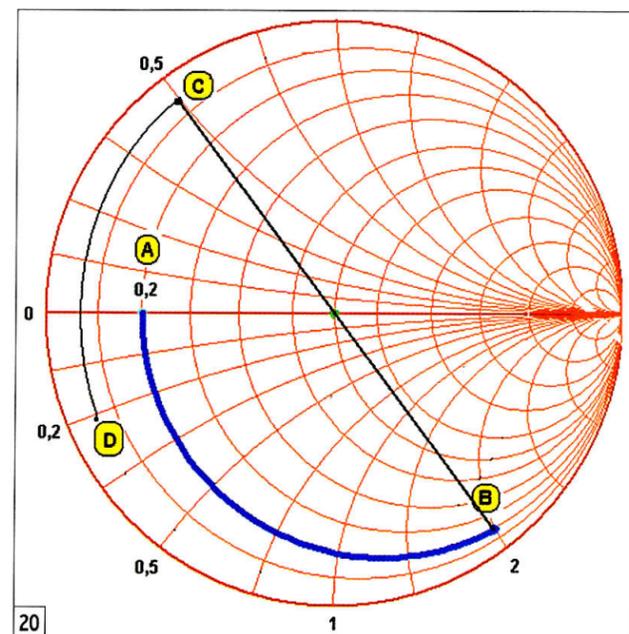
REPRISE DE VOS MATÉRIELS EN BON ÉTAT

TOUS LES AVANTAGES, TOUTES LES PROMOS DU RÉSEAU GES !

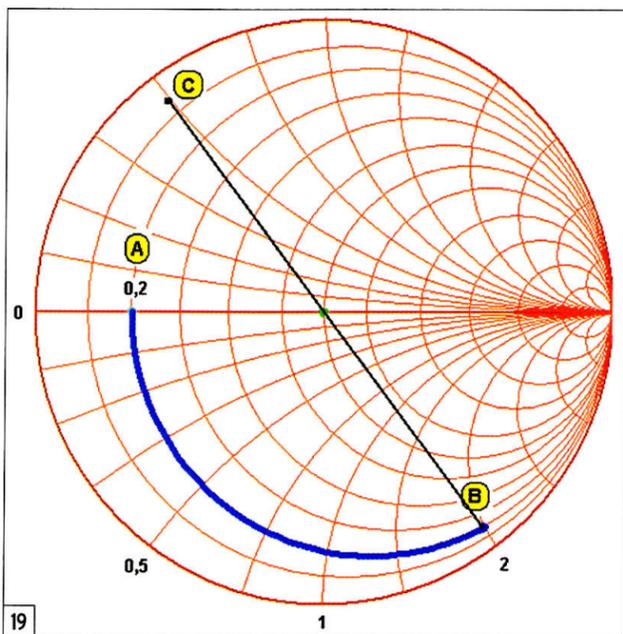
...RÈGLEMENT EN 4 FOIS SANS FRAIS...



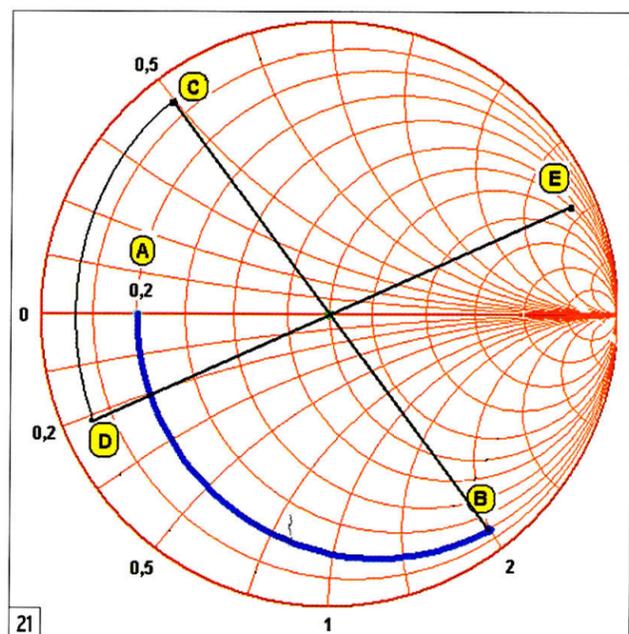
18



20



19



21

nous tournons jusqu'au point 2. Le point d'arrivée est le point B. Il est important de comprendre qu'il ne s'agit pas d'atteindre le point de réactance 2 mais de se déplacer d'une quantité égale à 2.

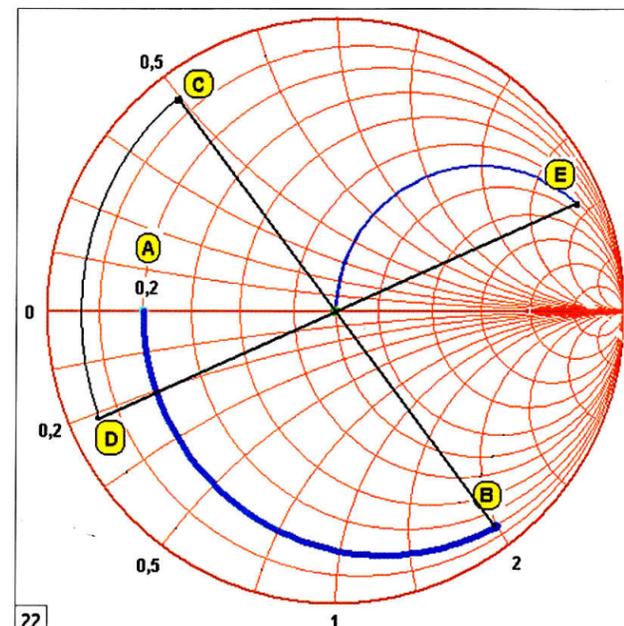
**Figure 19.** Nous allons maintenant placer l'inductance de 1118 nH en parallèle. Jusqu'à présent, nous plaçons des valeurs en série, ce qui est très simple, pour positionner des valeurs en parallèle, nous allons effectuer un certain nombre de manipulations. Il faut déterminer la réactance de cette self, il vient  $X_L = 70 \Omega$ , ce qui normalisé à  $50 \Omega$  nous ferait  $70 / 50 = 1,4$ . Mais comme il s'agit, non pas d'une réactance, mais d'une susceptance, nous prenons son inverse qui est  $1 / 1,4 = 0,71$ . C'est de cette quantité que nous allons devoir tourner sur le cercle des susceptances. Le point B représente une impédance, il faut préalablement passer aux admittances. Pour y parvenir, on trace une droite passant par le centre, sa longueur valant deux fois le segment [B ; centre], voir le schéma plus explicite de la figure 19, le point d'arrivée est repéré C.

**Figure 20.** Comme indiqué, nous devons tourner d'une valeur égale à 0,71. Nous tournons dans le sens inverse des aiguilles

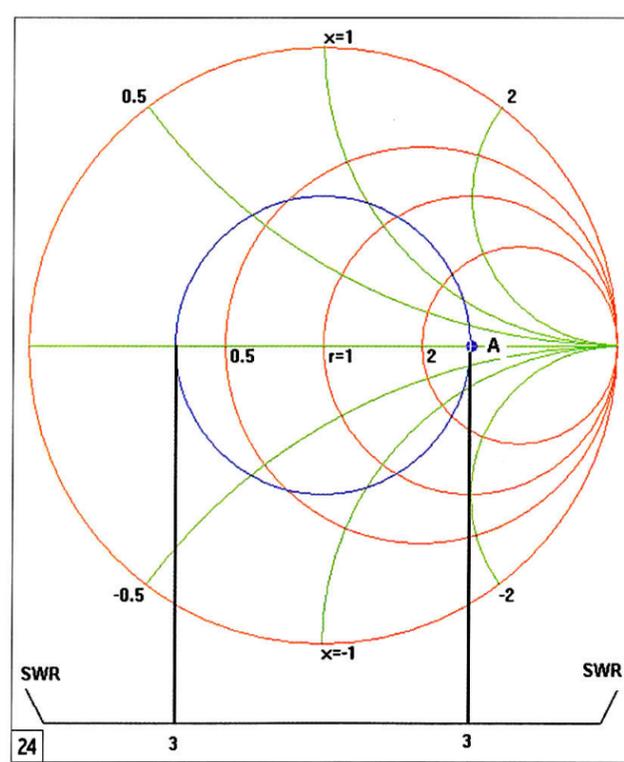
d'une montre comme une capacité en série, nous passons du point C au point D. Nous avons au point D une admittance ; si nous voulons repasser aux impédances, il faut suivre la même procédure, c'est-à-dire tracer une droite passant par le centre et de longueur égale à deux fois le segment [D ; centre].

**Figure 21.** Nous avons tracé la droite [D;E] de manière à repasser aux impédances puisque nous allons maintenant ajouter un condensateur en série. Pour nous entraîner, nous lisons les coordonnées du point A qui sont  $1 + j4,4$  ce qui correspond à l'impédance normalisée. La conversion en  $50 \Omega$  vaut  $50 + j221$ .

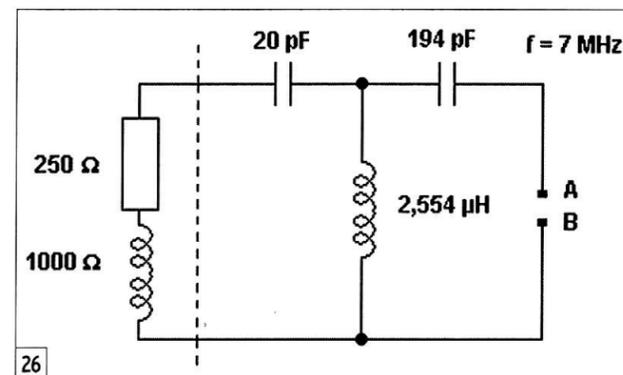
**Figure 22.** Nous allons maintenant placer le condensateur en série, sa valeur est 72 pF, soit une réactance capacitive de  $221 \Omega$  à 10 MHz. Normalisons cette valeur,  $221 / 50 = 4,42$ , nous allons tourner sur l'arc de cercle d'une quantité de 4,42 (approximativement, la résolution du graphique ne permet pas une telle précision). Et, divine surprise, nous constatons que nous sommes parvenus au centre de l'abaque. Notre circuit se comporte comme une résistance pure de  $50 \Omega$ .



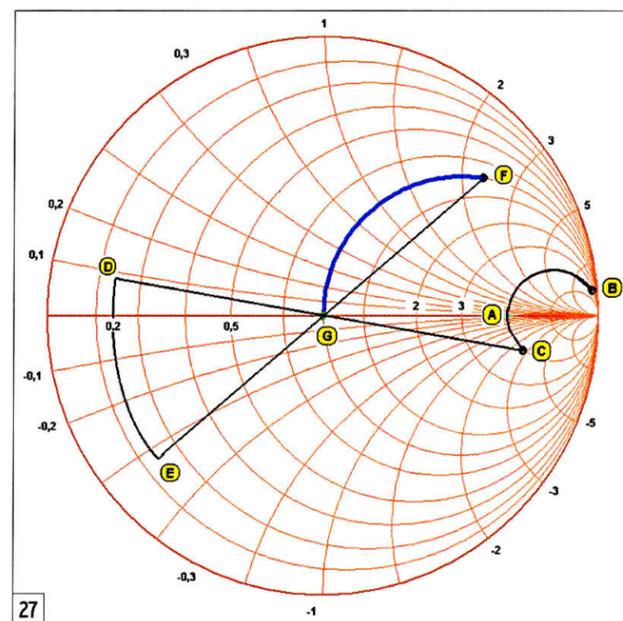
22



24



26

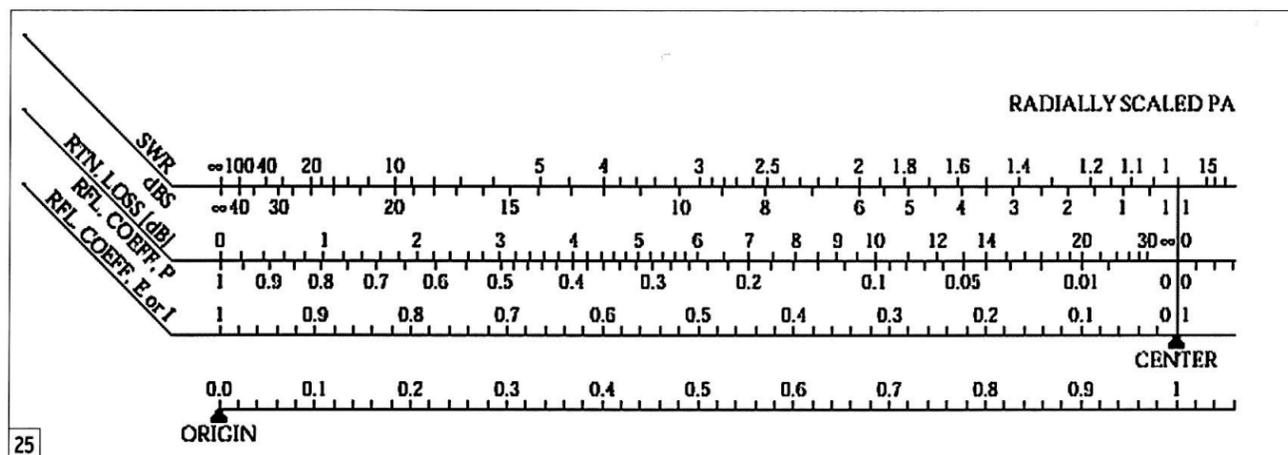


27

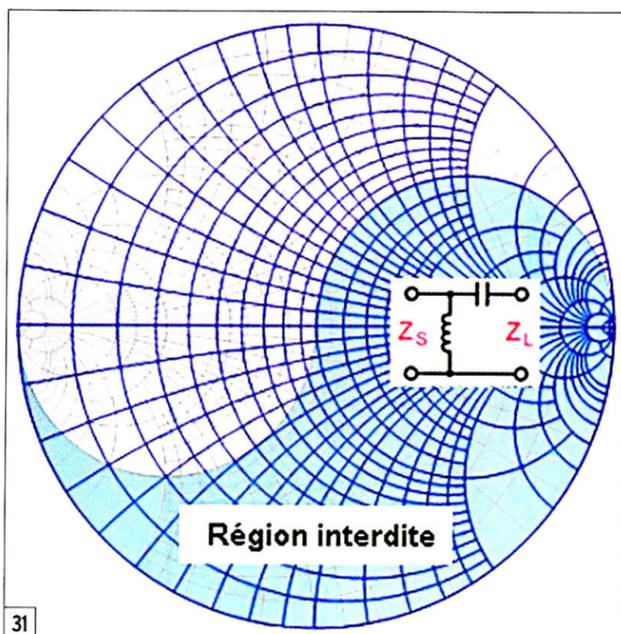
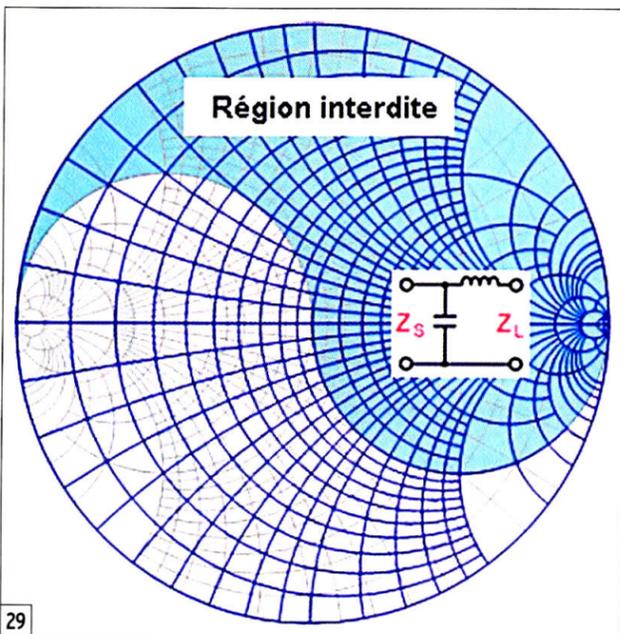
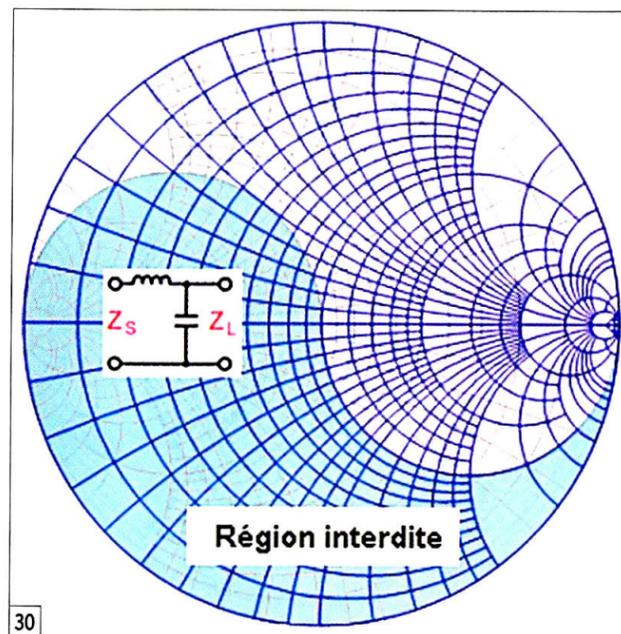
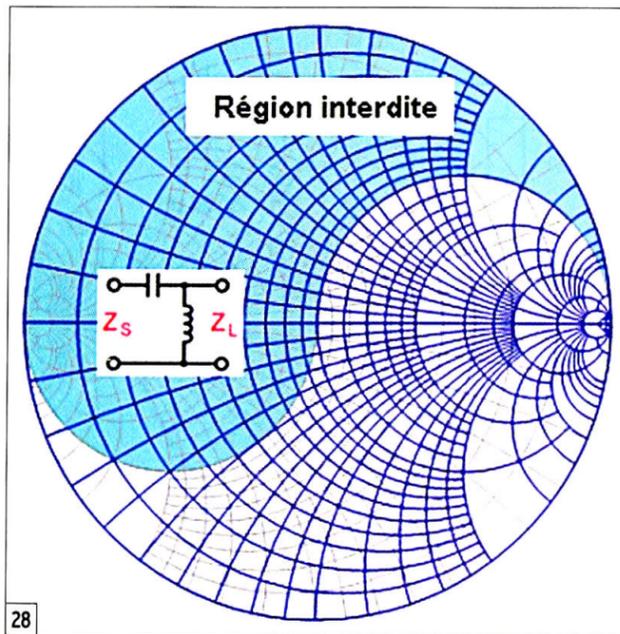
5-1 - LES CERCLES DE ROS CONSTANT

Nous pouvons tirer un enseignement très intéressant de notre abaque. Imaginons que nous ayons un générateur alternatif d'impédance purement résistive de  $50 \Omega$  alimentant une charge purement résistive de  $150 \Omega$ , qu'en est-il du ROS ?

Nous savons le calculer, toujours à partir de la formule de la figure 6, nous pouvons déterminer le coefficient de réflexion qui sera pour notre exemple égal à  $(150 - 50) / (150 + 50) = 0,5$ . Connaissant le coefficient de réflexion (nous avons pris soin de n'utiliser que des valeurs résistives de manière à légèrement simplifier le calcul) il suffit d'appliquer la formule bien connue de la figure 23.



25



23 
$$ROS = \frac{1 + p}{1 - p}$$
 Dans notre exemple, le ROS vaut  $(1 + 0,5) / (1 - 0,5) = 3$ .

Utilisons maintenant l'abaque (figure 24), positionnons le point 150 +j0 soit en valeurs normalisées à 50 Ω 3 +j0 indiqué. Depuis le centre (r = 1) traçons un cercle ayant pour rayon la distance [centre ; point A].

Effectuons maintenant une projection sur les points extrêmes de ce cercle sur l'échelle positionnée au bas de l'abaque, relevons la valeur lue sur la règle, il vient ROS = 3. C'est beaucoup plus commode que de passer par un calcul. Autre enseignement utile, tous les points positionnés sur ce cercle auront le même ROS.

Sur la figure 25, vous trouverez une vue élargie des règles disponibles au bas de l'abaque.

5-2 - ETUDE D'UN COUPLEUR EN T ADAPTANT UNE ANTENNE

Nous allons maintenant étudier un autre cas, le schéma est représenté figure 26.

Avec un peu d'imagination, on peut penser à une antenne se présentant à la fréquence de 7 MHz comme une résistance en série avec une inductance et couplée à l'émetteur sans ligne de transmission (le rêve), par une boîte d'accord constituée d'un circuit en T. Reste à déterminer quelle est l'impédance vue par l'émetteur aux points de connexion A et B, avec les valeurs des composants que nous avons choisies.

Nous allons étudier ce circuit pas à pas, l'abaque est normalisé à 50 Ω. Reportez-vous à la figure 27.

- 1 - Nous partons de la résistance de 250 Ω que nous plaçons sur l'axe horizontal. Sa valeur normalisée est de 250 / 50 = 5 indiquée par le point A.
- 2 - Plaçons l'inductance en série ; on sait que sa réactance est de 1000 Ω, normalisons, il vient 1000 / 50 = 20. Pour déterminer le point résultant, on part du point A et on tourne dans le sens des aiguilles d'une montre d'une quantité égale à 20 ce qui nous amène vers le point B.
- 3 - Connectons maintenant le condensateur série de 20 pF. Il faut préalablement déterminer sa réactance à la fréquence

de 7 MHz.  $X_c = 1136 \Omega$ . Normalisons, il vient  $1136 / 50 = 22,26$  que l'on arrondira à 22,3. Nous partons du point B et tournons cette fois dans le sens inverse des aiguilles d'une montre d'une quantité égale à 22,3. Ceci nous amène au point C. Jusque-là tout est simple, les composants sont en série.

4 - Premier composant à connecter en parallèle, l'inductance de 2,554 μH. Nous devons maintenant passer par les admittances (souvenez-vous des résistances en parallèle). Pour transformer l'impédance au point C en admittance au point D, nous traçons une droite passant par le centre de l'abaque et de longueur égale à deux fois le segment [centre-C]. Dès lors, nous pouvons connecter l'inductance en parallèle. Pour ce faire, déterminons sa réactance, (112 Ω), normalisons ( $112 / 50 = 2,24$ ) et prenons l'inverse puisque c'est une susceptance ( $1 / 2,24 = 0,45$  valeur arrondie).

Depuis le point D, nous tournons dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (comme une capacité en série) d'une valeur de 0,45 ce qui nous amène au point E. Pour repasser aux impédances, même procédure que précédemment, nous traçons la droite [E,F] passant par le centre de l'abaque.

5 - Nous sommes revenus aux impédances au point F, nous pouvons ajouter la capacité de 194 pF en série. Déterminons sa réactance (117 Ω), normalisons ( $117 / 50 = 2,34$ ), tournons dans le sens inverse des aiguilles d'une montre d'une quantité égale à 2,34. Nous parvenons au point G qui est le centre de l'abaque de coordonnées (1,0). Normalisée, l'impédance est de 50 Ω non réactive, c'est exactement ce que nous cherchions !

6 - QUELQUES COMPLÉMENTS CONCERNANT LES ZONES INTERDITES EN FONCTION DES CIRCUITS EN L UTILISÉS

Nous avons vu, aux paragraphes précédents, deux cas d'adaptation d'impédance et d'utilisation de l'abaque. Si le sujet vous intéresse, voici un complément d'information qui vous sera utile. Vous avez noté le déplacement des inductances et capacités, que ce soit en

série ou en parallèle sur l'abaque. En fonction de la combinaison de composants utilisés, il y a des zones inaccessibles. Zl étant la charge et Zs la source, si votre point de départ se situe dans une zone interdite pour le montage considéré, vous ne pourrez pas revenir au centre de l'abaque pour annuler les réactances et transformer vers 50 Ω résistifs. Voir les figures 28 à 31.

7 - CONCLUSION

Nous voici parvenus au terme de notre présentation de l'abaque de Smith. Nous avons pu mesurer, à travers les quelques exemples développés au long de ces pages, l'extraordinaire capacité de cet outil à simplifier des calculs complexes et souvent laborieux en fournissant des solutions graphiques beaucoup plus simples et rapides à mettre en œuvre.

Cette présentation, pour rester accessible, a fait l'objet de nombreux raccourcis et simplifications, que les professionnels et spécialistes nous excusent.

Notons que nous n'en sommes qu'aux prémices de sa découverte, il reste des pages et des pages à écrire pour en avoir une vue globale. Pour mémoire, il reste à appréhender le fonctionnement des lignes de transmission, les adaptations d'impédances, les tracés de Q, l'utilisation des paramètres "S" pour ne citer que les principaux thèmes. Phillip H. Smith nous a légué un bel instrument, essayons, même en tant qu'amateurs, d'en tirer le meilleur parti...

Denis AUQUEBON, F6CRP

NDLR : Cet article intègre l'abaque de Smith version "Black Magic Design" qui devrait permettre à nos lecteurs de faire leurs premiers exercices. Cet abaque peut être téléchargé sur plusieurs sites internet y compris sur megahertz-magazine.com.

**MEGAPOWER**  
(antenne doublet multi-bandes filaire)  
FABRICATION D'ANTENNES DÉCAMÉTRIQUES  
**POWER MOBILE**  
(antenne de véhicule)  
160€ prix unique  
3,5 à 50 MHz  
Magnétique ou pare-chocs  
89€  
FILTRE ANTENNE PASSE-BAS 30 MHz  
• Radioamateur  
• PMR Pro et 446  
• CB - Scanners  
• VHF - GPS  
• Détecteurs de métaux

**Wincker**  
Systèmes de Radiocommunication

**DECAPOWER**  
(antenne monobrin)  
490€  
1,8 à 90 MHz & 120 à 160 MHz  
PLUG AND PLAY

**SUPERNOVA**  
(antenne 2 foyers)  
650€  
1,5 à 80 MHz  
SANS BOÎTE D'ACCORD  
NOUVELLE CONCEPTION

INFOS AU 0826 070 011  
[www.wincker.fr](http://www.wincker.fr)  
Catalogue 10€

Nom : .....  
Prénom : .....  
Adresse : .....

25 ans de fabrication Air - Terre - Mer

**Wincker**  
Systèmes de Radiocommunication

55 bis, rue de Nancy • 44300 NANTES  
Tél. : 02 40 49 82 04 - Fax : 02 40 52 00 94  
E-Mail : info@wincker.fr - Site : www.wincker.fr

