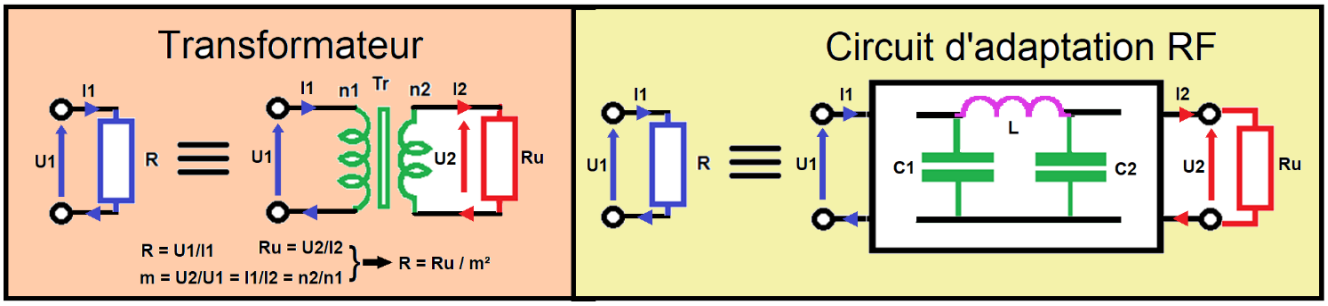
F4AEM Rollet Dominique

L'abaque de Smith (2/3) circuits d'adaptation LC

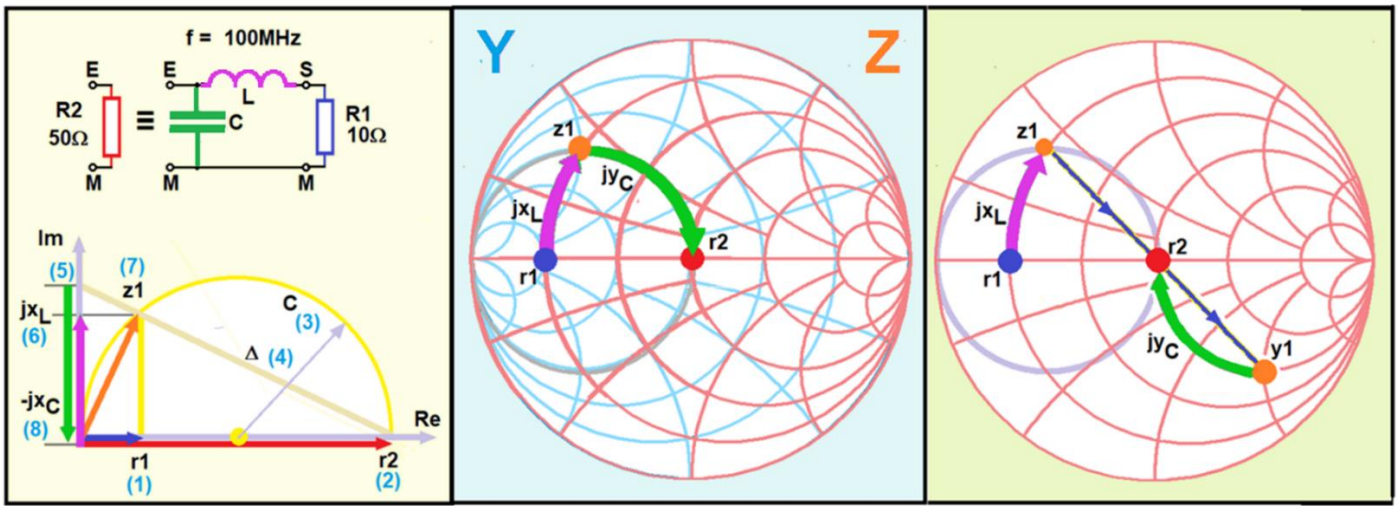
L'adaptation d'impédance LC avec l'abaque de Smith :

Pour changer une impédance, on utilise communément un transformateur à circuit magnétique (ferrites, air) qui possède un rapport de transformation **m** défini selon le rapport du nombre de spires entre le circuit secondaire et le circuit primaire **m = n2 / n1**. Les relations principales pour un transformateur parfait sont données ci-dessous, sa bande passante peut être assez large et dépendante des performances du matériau du circuit magnétique. Le transformateur magnétique ne permet pas de modifier la partie réactive (inductive ou capacitive) de la charge. Il est fréquemment utilisé en RF comme circuit symétriseur (*balun, unun*) pour les amplificateurs de puissance ou les antennes.

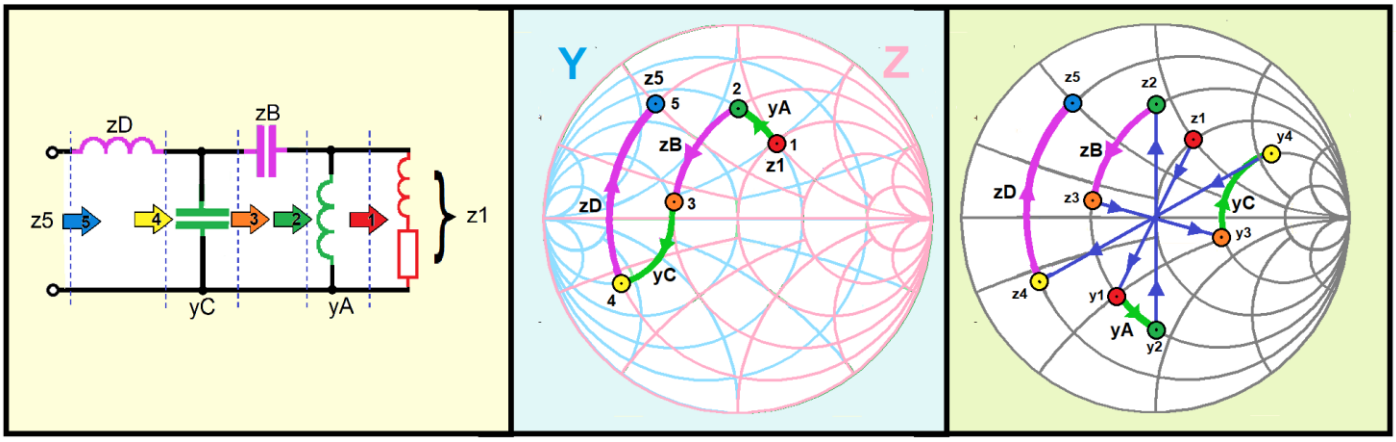
Les circuits d'adaptation RF : ils sont réalisés avec des inductances et des capacités fixes ou variables permettant alors un réglage précis d'adaptation. Ils sont calculés pour une fréquence précise et ne permettent pas de travailler dans des grandes bandes passantes. Ils sont beaucoup utilisés en sortie des émetteurs pour adapter l'antenne d'émission et l'étage de sortie afin de transférer le maximum de puissance à l'aérien avec la meilleure utilisation possible du *feeder* (ligne d'alimentation). Ces circuits se retrouvent aussi entre certaines fonctions électroniques dans les émetteurs ou les récepteurs pour l'adaptation des impédances.



Dans un chapitre précédent, nous avons calculé graphiquement ce type d'adaptation avec les diagrammes de Fresnel. Cette méthode se heurte à quelques limites d'ordre pratique, les grandes valeurs et les petites valeurs sont irrésolvables avec précision sur un même graphe, si la charge est complexe, la résolution graphique devient difficile. L'abaque de Smith permet ces résolutions plus facilement en gardant une bonne précision relative.



L'abaque de Smith double (Y Z) permet la résolution directe mais souvent nous ne disposons que de l'abaque simple et quelques inversions graphiques supplémentaires sont nécessaires.

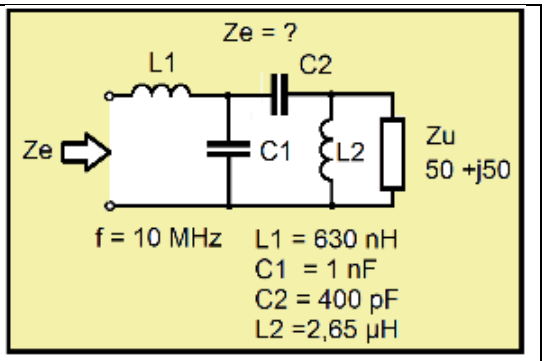


L'impédance vue à l'extrémité du réseau d'impédance en échelle est : z5 = (((z1//zA) + zB) // zC) +zD, en admettant l'opérateur « parallèle » : x//y = x.y/(x + y), le calcul se conduit assez facilement. La construction graphique sur l'abaque double (YZ) est simple : on travaille en Z pour additionner deux composants mis en série, on travaille en Y pour une mise en parallèle, on part de l'extrémité (z1) et on recule jusqu'à l'extrémité.

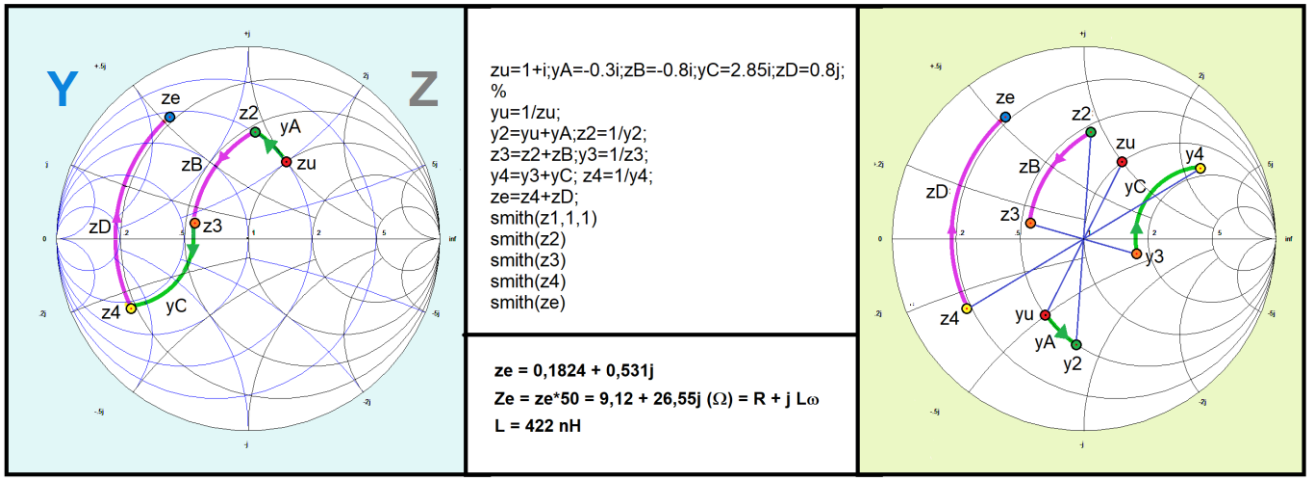
Avec un abaque simple, la démarche est la même, mais pour chaque passage z->y ou y->z il faut prendre le point symétrique pour effectuer l'inversion (y = 1/z), ce qui rend la construction un peu plus délicate, le cumul des imprécisions graphiques augmentant l'erreur finale.

Exemple : Analyse d'un circuit que vous pouvez résoudre graphiquement. Nous voulons estimer l'impédance **Ze** de ce montage, les composants sont connus et on travaille à la fréquence de 10MHz.

Calculez l'impédance réelle de chaque composant en **Z** ou en **Y** selon le cas, réduisez les valeurs par rapport à la résistance nominale de 50Ω et calculez **Ze** puis évaluez graphiquement cette valeur selon les deux méthodes. Un logiciel informatique ou un programme informatique peuvent simplifier cette résolution.

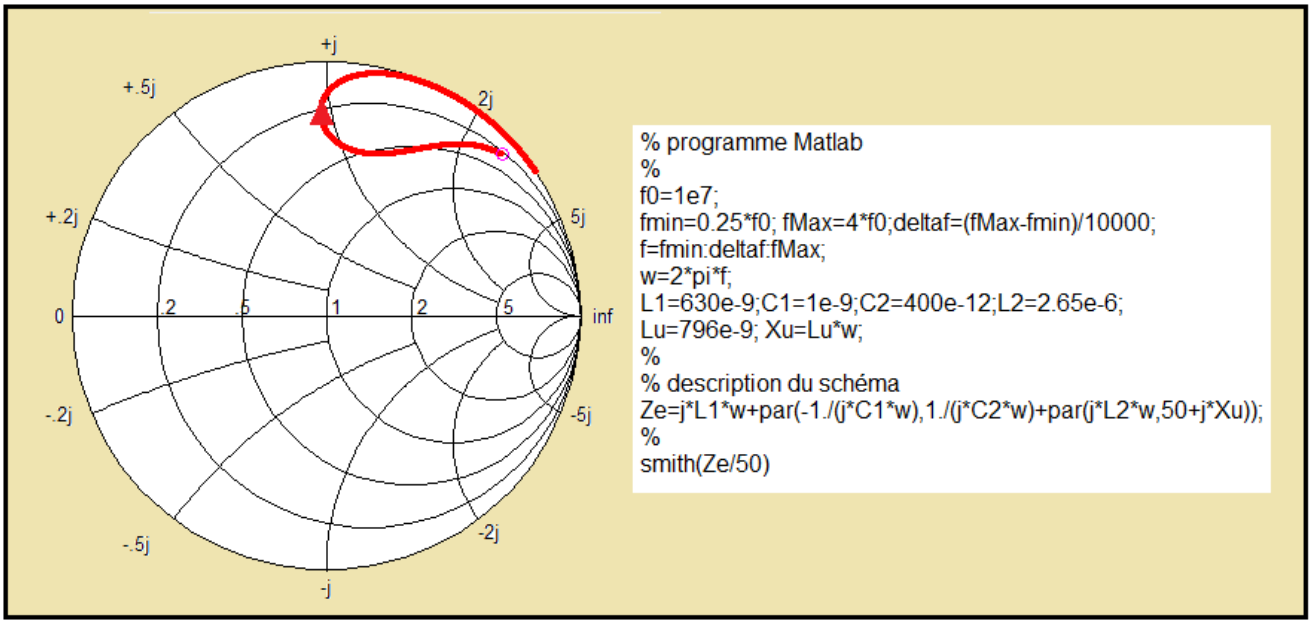


Solution :



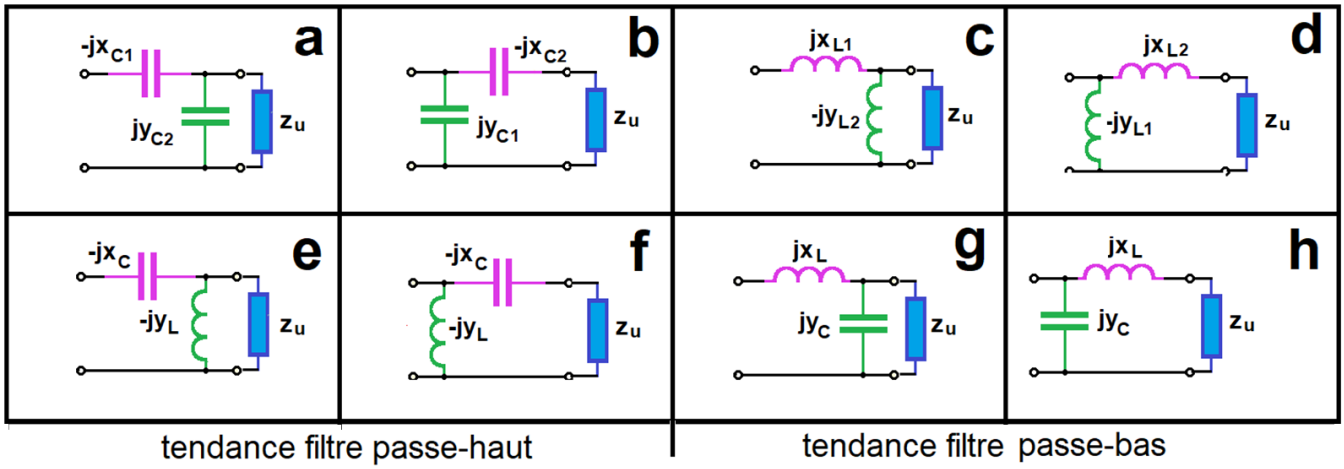
Il est possible d'étudier le comportement de ce type de circuit sur une plage de fréquence étendue, ici de 2.5MHz à 40MHz.Le schéma reste le même avec des valeurs de composants éventuellement différentes. La charge Zu est constituée d'une résistance **Ru** = 50Ω et d'une inductance **Lu** de 630nH en série.

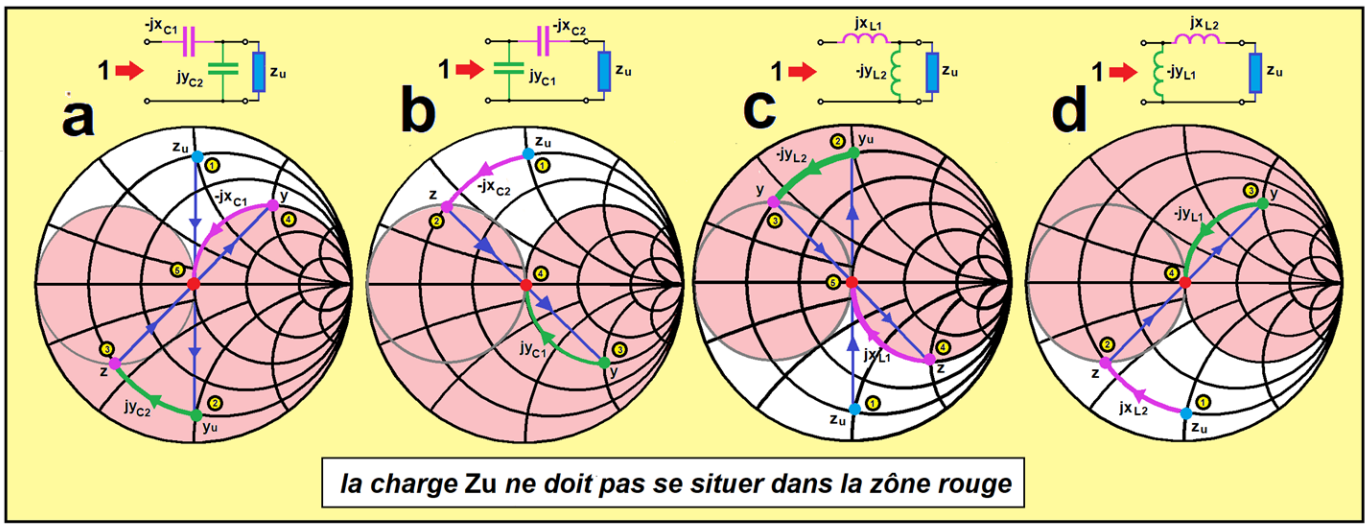
Ce programme utilise deux fonctions spécifiques : **par** pour la mise en parallèle de constituants et **smith** pour l'abaque.



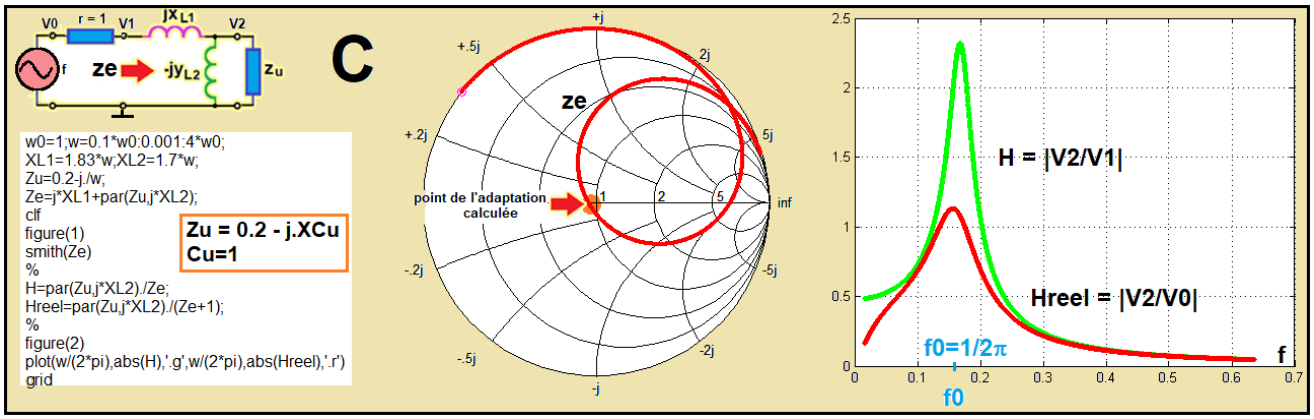

```
% programme Matlab
%
f0=1e7;
fmin=0.25*f0; fMax=4*f0;deltaf=(fMax-fmin)/10000;
f=fmin:deltaf:fMax;
w=2*pi*f;
L1=630e-9;C1=1e-9;C2=400e-12;L2=2.65e-6;
Lu=796e-9; Xu=Lu*w;
%
% description du schéma
Ze=j*L1*w+par(-1./(j*C1*w),1./(j*C2*w)+par(j*L2*w,50+j*Xu));
%
smith(Ze/50)
```

Etude de circuits d'adaptation simples, abaisseurs ou élévateurs d'impédance, purement capacitifs (**a,b**) pour des charges inductives ou purement inductif (**c,d**) avec des inductances non couplées magnétiquement pour des charges capacitives. La zone des impédances **Zu** adaptables est assez réduite pour ces quatre montages.

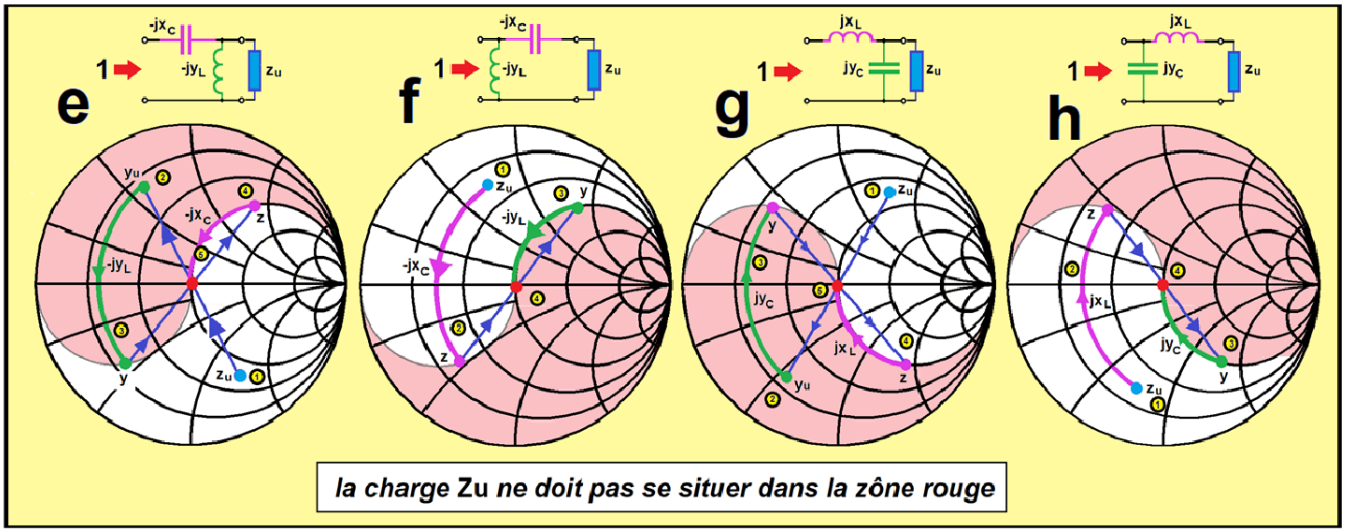




L'adaptation d'impédance ne peut se faire que si la charge se situe dans une petite zone limitée comme indiqué ci-dessus. La construction graphique seule ne permet pas de connaitre le comportement fréquentiel du circuit. Un des défauts de ce type de circuit est de ne pas contrôler le coefficient de qualité **Q** et en conséquence ne pas maitriser non plus la bande passante puisque **f0 = B.Q**, celle-ci peut être trop étroite pour certaines utilisations en large bande et de même la variation de phase qui en est conséquente peut aussi être néfaste.



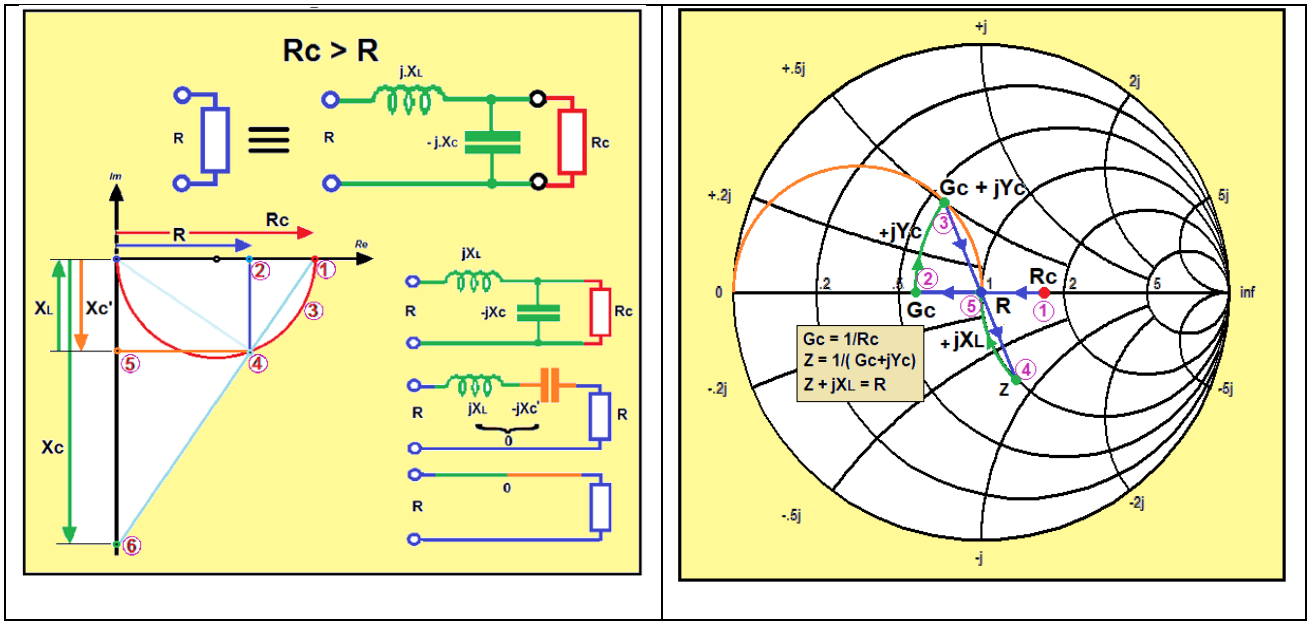
Les circuits LC en gamma (Γ)(**e,f,g ,h**) ont une zone d'adaptation des impédances **Zu** adaptables plus grande, ils permettent en particulier d'adapter des charges purement résistives en abaissant ou en élevant la valeur. Ces circuits sont très utilisés en RF et en particulier en sortie des émetteurs pour adapter deux étages successifs ou adapter l'amplificateur de sortie (**PA**) à l'ensemble feeder, antenne pour diminuer le **ROS**. Ils permettent d'abaisser (e, g) ou d'élever (f,h) l'impédance, ils ont aussi une influence sur le filtage du type passe-bas ou passe-haut du second ordre. Si un amplificateur génère des fréquences harmoniques dues à la non-linéarité (distorsion), on peut être amené à choisir un filtrage passe-bas.



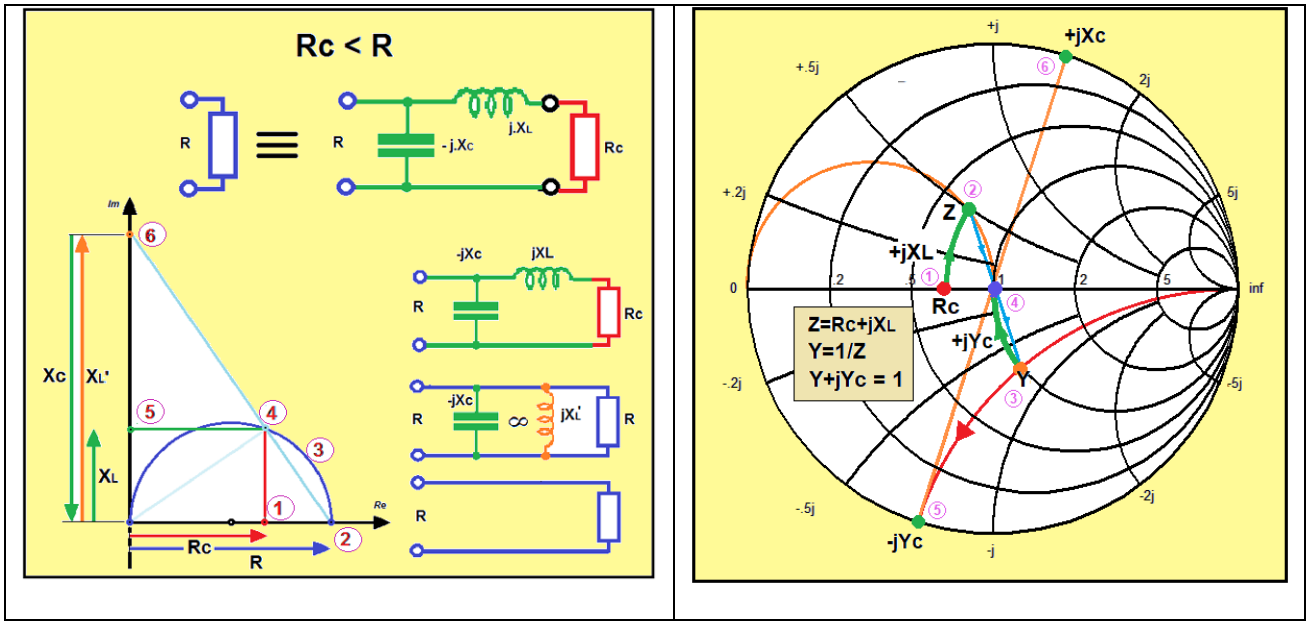
Ces montages permettent d'abaisser ou d'élever les impédances ramenées en entrée. Ces termes ont un sens si la charge Zu est purement résistive, les montages e et g peuvent être définis comme abaisseurs d'impédance et les montages f et h comme élévateurs. Les structures avec un condensateur mis à la masse sont des filtres passe-bas du deuxième ordre, ceux avec des inductances mises à la masse sont des filtres passe-haut du deuxième ordre, ceci est important pour l'élimination ou la transmission des fréquences harmoniques.

Pour bien comprendre la construction sur l'abaque de Smith, il peut être intéressant de faire un rapprochement avec les constructions de Fresnel vues dans une présentation antérieure.

Montage abaisseur d'impédance (**R < Rc**).



Montage élévateur d'impédance (**R > Rc**)

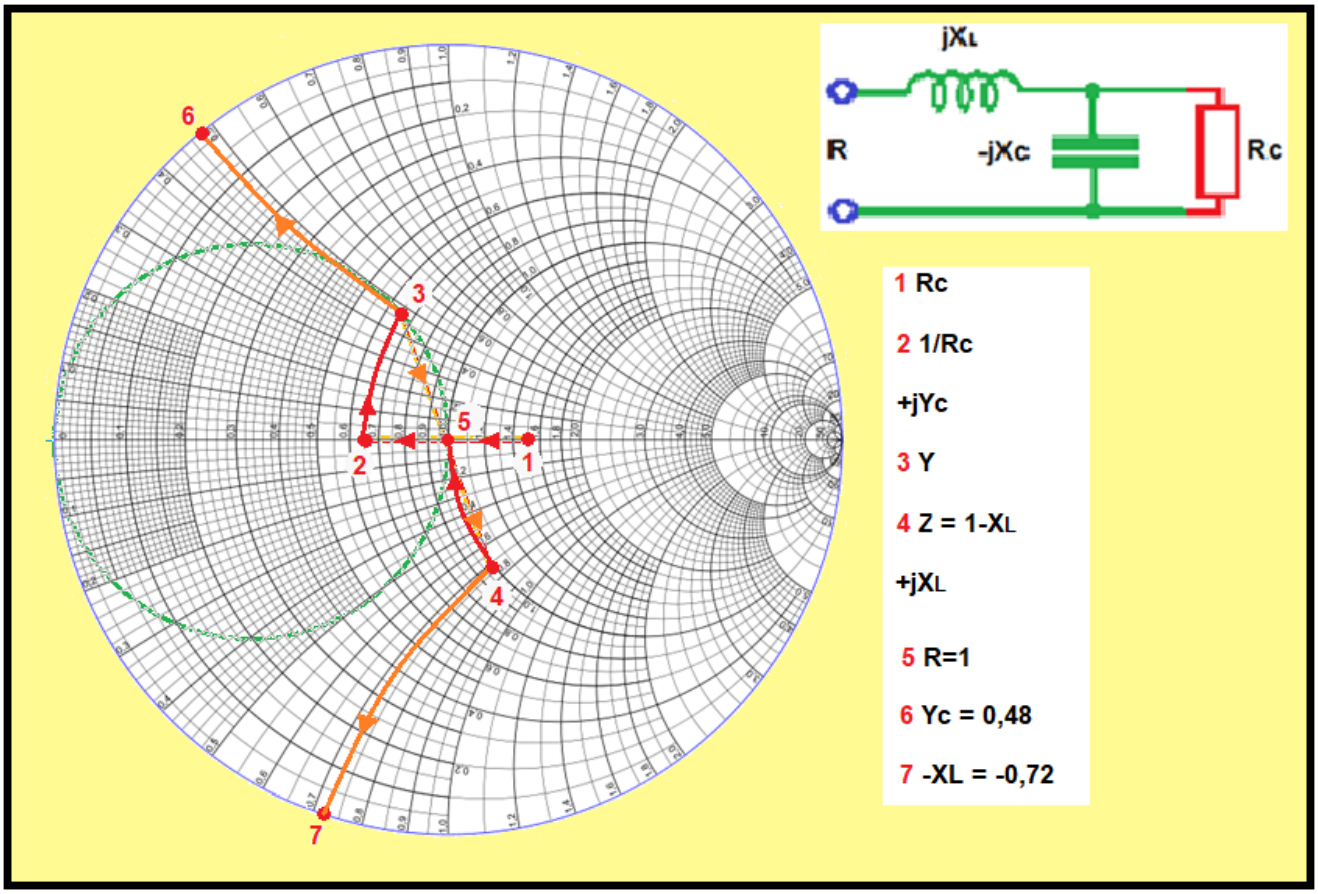


Exercice : adapter une charge **Rc** de 75Ω à une ligne d'impédance **R** de 50Ω à la fréquence de 145 MHz.

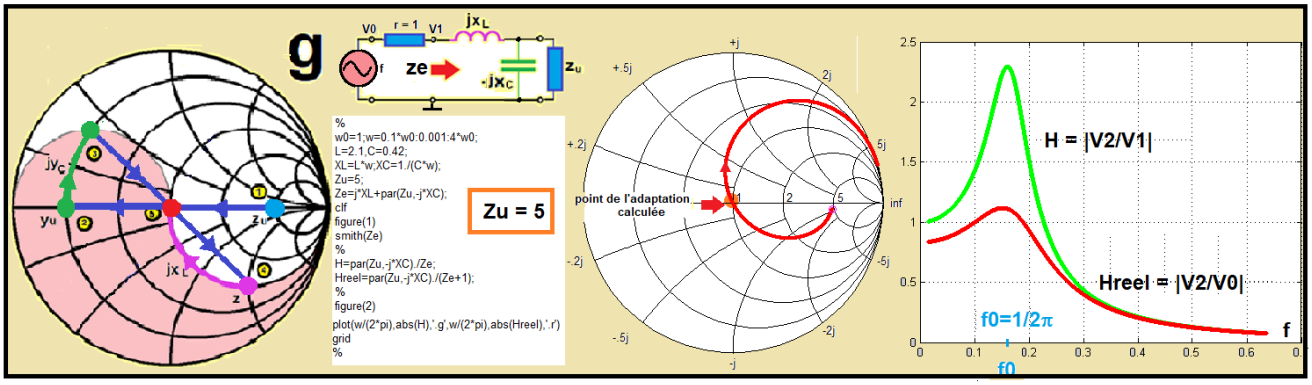
Nous choisissons le montage g qui abaisse l'impédance perçue après l'adaptation, c'est un filtre du type passe-bas souvent préférable au filtre passe-haut. Les calculs se font avec les impédances réduites par rapport à **R** et avec une fréquence nominale de **1**. Avec **ω = 2πf** et **f** la fréquence réelle de travail, on retrouve l'inductance calculée avec x_L = **L.ω/R** soit **L =x_L.R/ω,**

ainsi que pour la capacité avec y_c = **1/x_c =R.C.ω** soit **C =y_c/R.ω** .

sol : L = 39.5nH, C=10.6pF

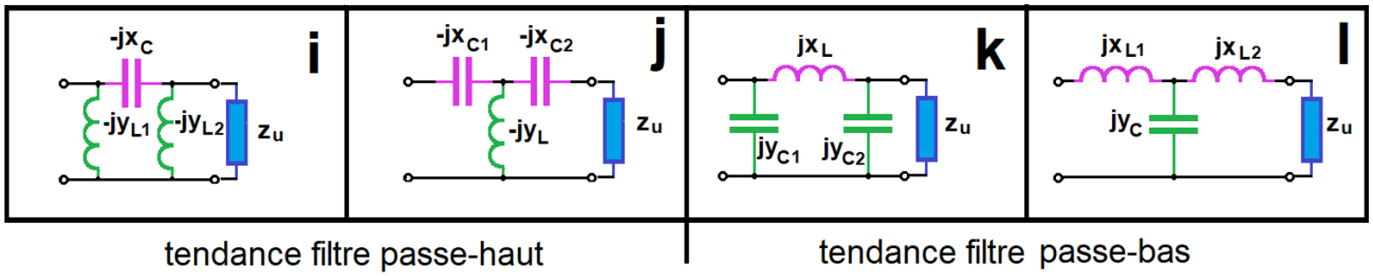


Comme précédement, l'étude de ce type de circuit est très nettement améliorée avec l'apport de l'informatique.

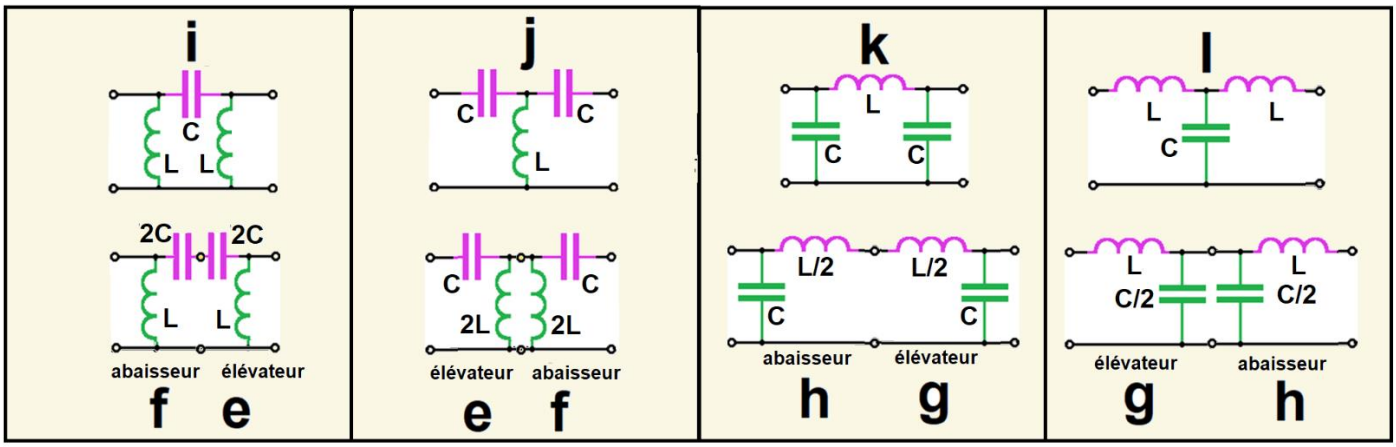


Les circuits d'accord à trois éléments de réglage montés en Pi ou en Té permettent d'adapter pratiquement toutes les valeurs de charge. Nous retrouvons des structures passe-haut ou passe-bas du troisième ordre, le choix se fait avec les mêmes considération que précédemment, présence d'éventuelles harmoniques à ne pas privilégier. Le fait d'avoir trois éléments réglables peut permettre dans une certaine mesure de choisir un coefficient de qalité et ainsi d'avoir une bonne bande passante, la littérature technique ne manque pas sur le sujet (Radio-REF, jadis: Ham-Radio, aujourd'hui :QEX et bien d'autres revues OM, ainsi que de nombreux sites de radio-amateurs).

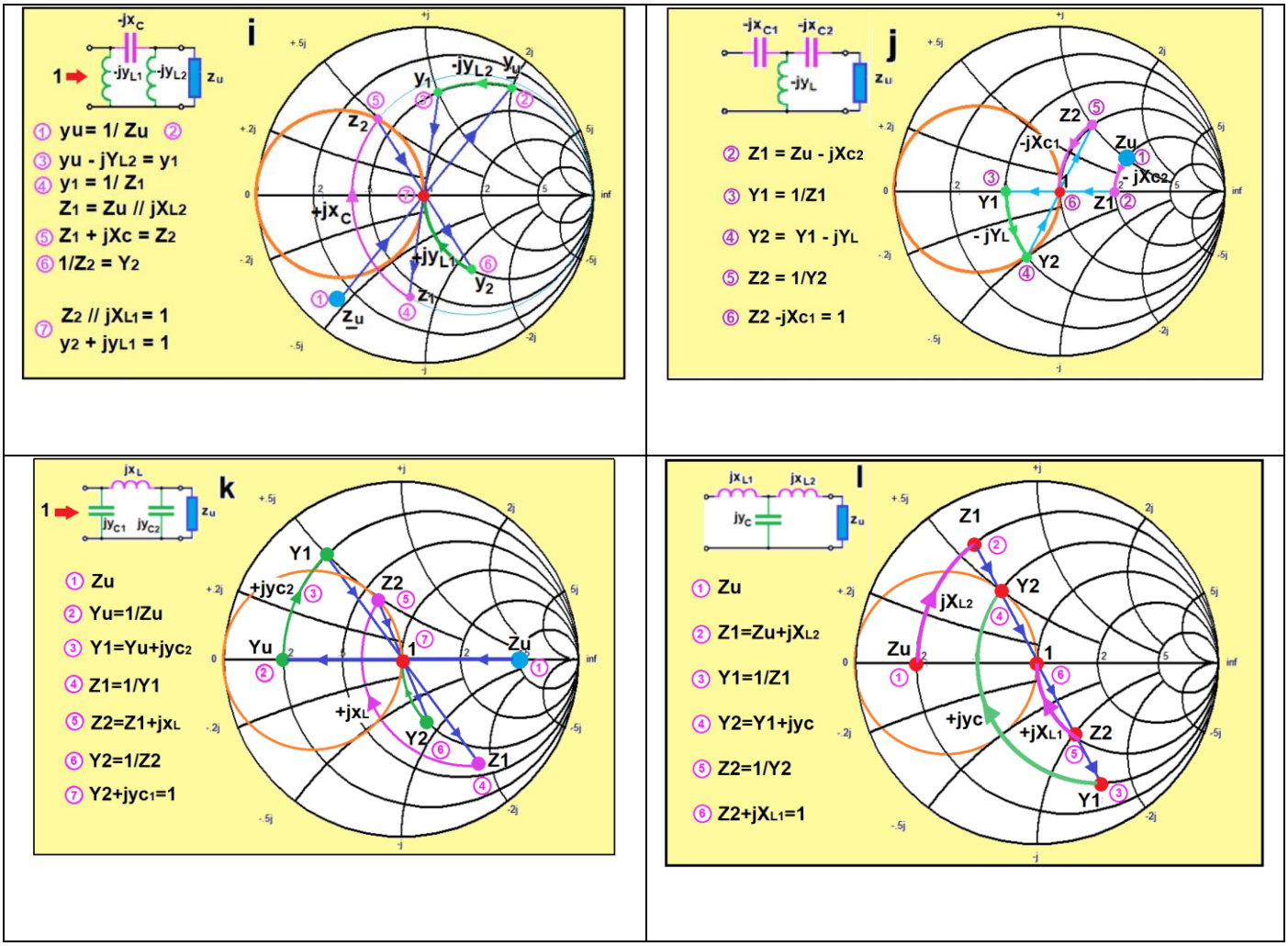
circuits d'adaptation en Π et en T



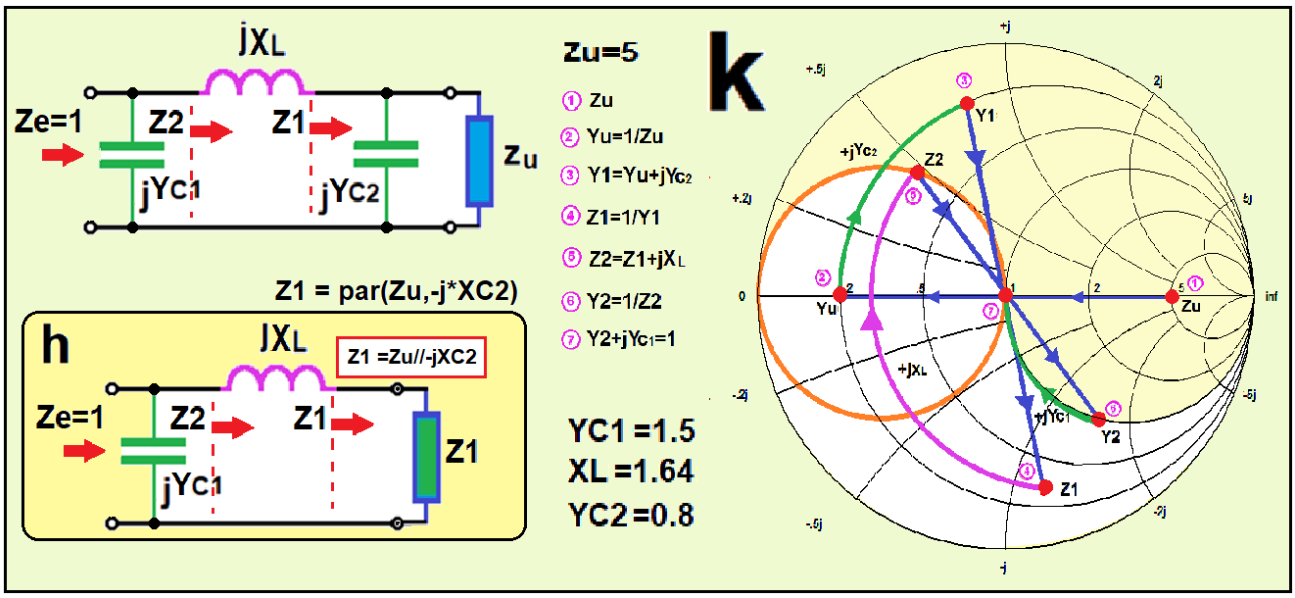
Les circuits d'adaptation en Té ou en Pi sont la juxtaposition de deux circuits, un abaisseur d'impédance et l'autre élévateur.



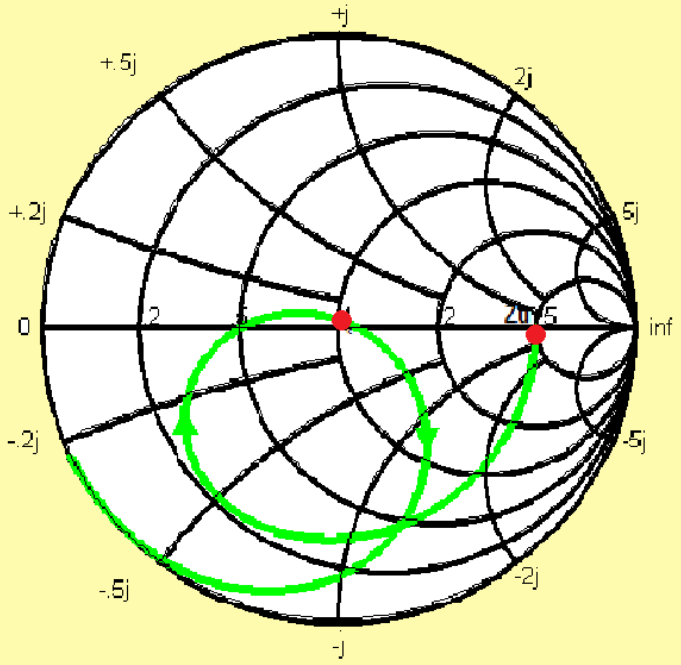
Exemples de résolution graphique pour les quatre cas :



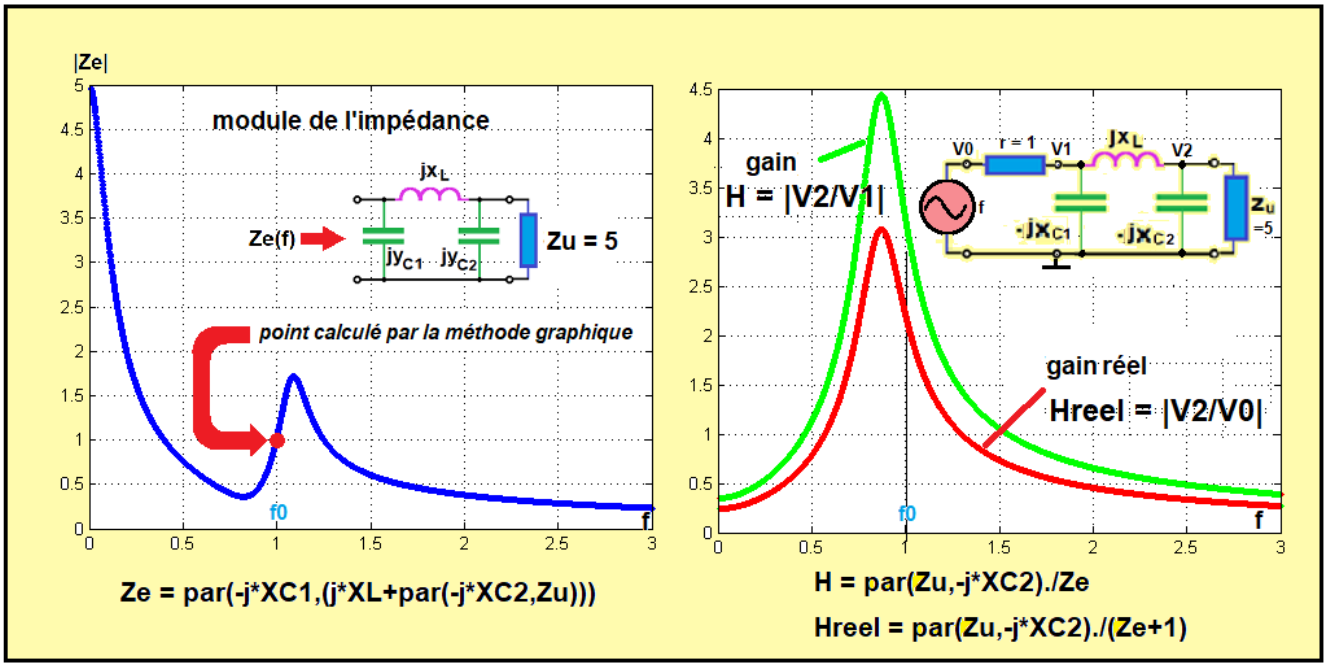
Zi on ramène en une seule composante le condensateur qui se situe coté charge en parallèle avec cette charge Z1 = (-jXC2 // Zu), le circuit d'adaptation en Pi devient un circuit en Gamma et la zone d'adaptation possible de Z1 est plus réduite comme vue précédemment. Ceci nous amène à choisie YC2 pour obtenir Y1 dont on peut définir partiellement son coefficient de qualité (voir dans la première présentation).



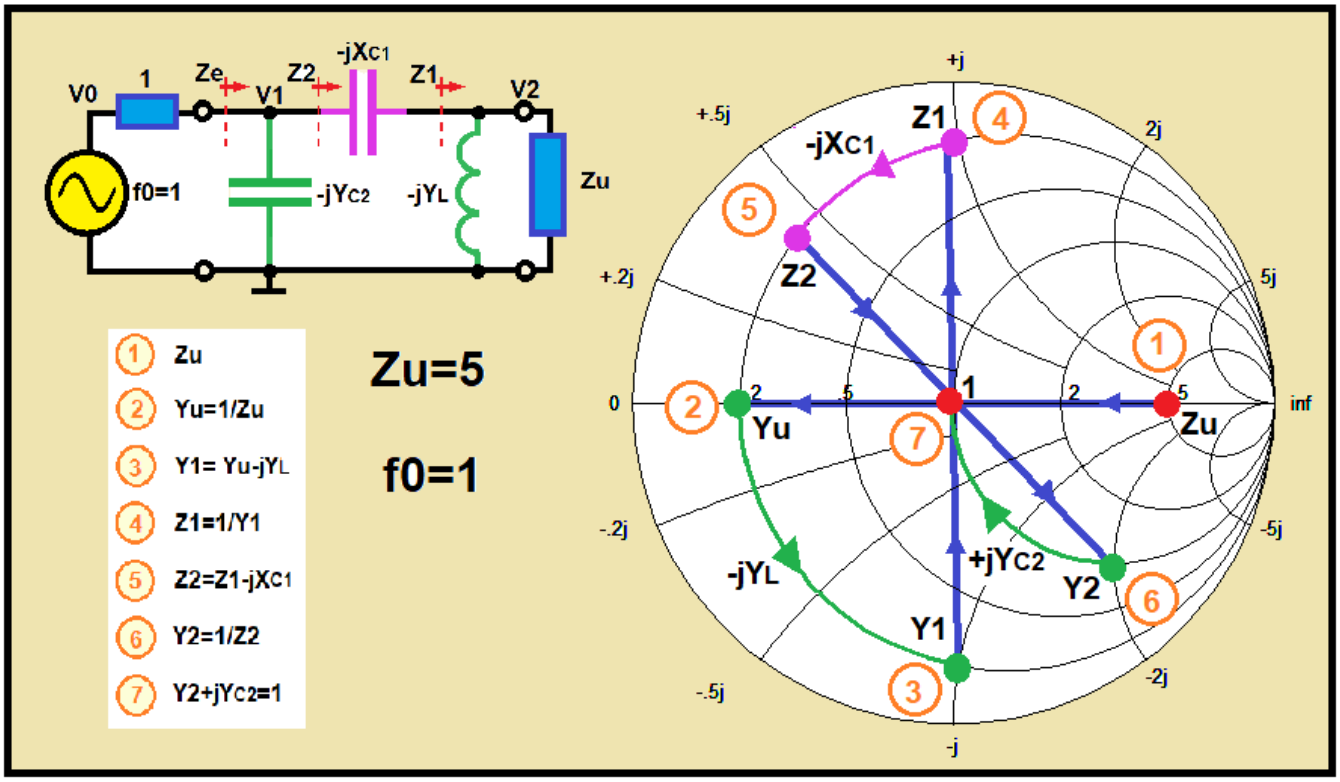
```
% adaptPI2.m     F4AEM     D.Rollet
% Adaptation Pi2 de l'exemple exposé
%
f0=1;% fréquence nominale
w0=2*pi*f0;
f=0.01*f0:f0/1000:3*f0; % plage de travail
w=2*pi*f;
Zu=5; % charge désadaptée
% valeurs lues sur la construction
graphique
YC10=1.5;XC10=1/YC10;C1=YC10/w0;XC1=
1./(C1*w);
XL0=1.64;L=XL0./w0;XL=L*w;
YC20=0.8;XC20=1/YC20;C2=YC20/w0;XC2=
1./(C2*w);
clf;figure(1);% abaque de Smith
smith(par(-j*XC1,(j*XL+par(-j*XC2,Zu))))
smith(par(-j*XC10,(j*XL0+par(-j*XC20,Zu))))
figure(2);% module de l'impédance
plot(f,abs(par(-j*XC1,(j*XL+par(-
j*XC2,Zu)))),'.b')
grid
figure(3); % Gains
gain=par(-j*XC20,Zu)./(j*XL+par(-j*XC2,Zu));
gainreel=(1+par(-j*XC20,Zu))./(j*XL+par(-
j*XC2,Zu));
plot(f,abs(gain),'.g',f,abs(gainreel),'.r');grid
```



L'emploi d'un programme permet d'avoir une vue plus étendue que la résolution graphique définie pour une seule fréquence. Ici la commande Smith est utilisée deux fois en superposition, une pour la fréquence nominale et qui donne le point central et l'autre pour toute l'étendue de fréquence programmée. On évalue aussi assez facilement les courbes de gain et on peut voir que celui-ci varie sensiblement autour de la fréquence nominale, ce qui n'est pas sans poser de problème pour des utilisations en bande large.

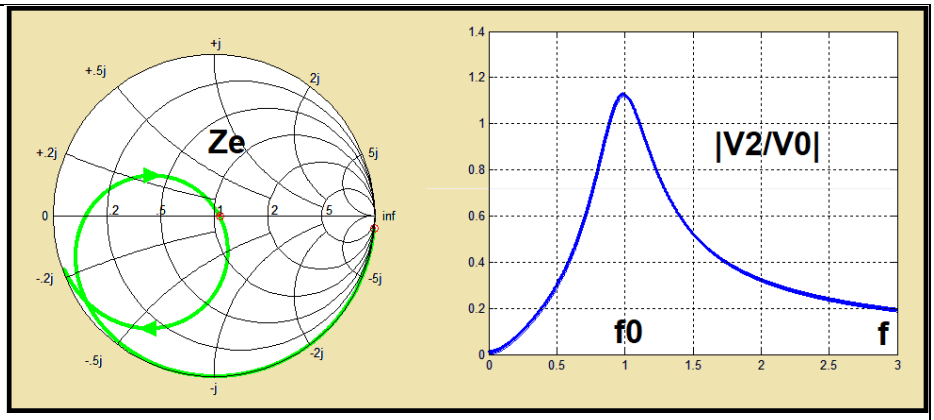


Il existe d'autres structures plus ou moins compliquées qui sont utilisées pour les circuits d'adaptation, pour conclure sur ce sujet, voici un dernier exemple en Pi, le dessin est assez complet pour ne pas nécessiter plus de commentaires



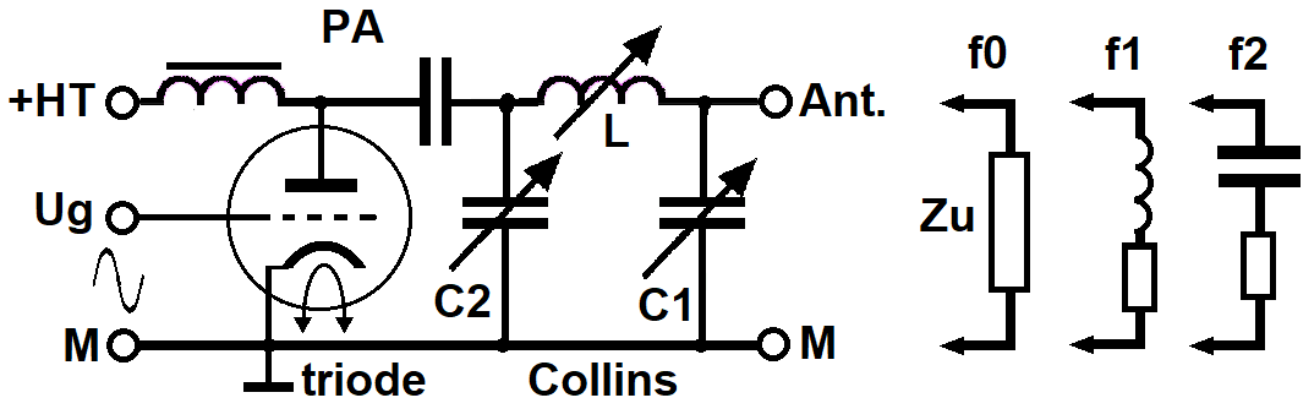
Les logiciels et les programmes informatiques permettent évidement d'avoir plus d'informations en particulier pour estimer l'évolution des résultats sur une grande plage de fréquence. Ici les résultats sont obtenus avec quelques lignes écrites en Matlab.

```
% Adaptation Pi2 de l'exemple exposé
%
f0=1; w0=2*pi*f0;   % fréquence nominale
f=0.01*f0:f0/1000:3*f0;w=2*pi*f; % plage de travail
Zu=5;Yu=1/Zu; % charge désadaptée
% valeurs lues sur la construction graphique
XL0=1;XC10=0.55;YC20=2;
L=XL0./w0;XL=L*w;
YC10=1/XC10;C1=YC10/w0;XC1=1./(C1*w);
XC20=1/YC20;C2=YC20/w0;XC2=1./(C2*w);
Z10=par(Zu,j*XL0);Y10=1./Z10;
Z1=par(Zu,j*XL);Y1=1./Z1;
Z20=Z10-j*XC10;Y20=1./Z20;
Z2=Z1-j*XC1;Y2=1./Z2;
Ze=par(Z2,-j*XC2);Ye=1./Ze;
Ze0=par(Z20,-j*XC20);Ye0=1./Ze0;
smith(Ze);smith(Ze0);
```



Des considérations technologiques rentrent souvent en compte : l'emploi de condensateurs variables demandent des armatures mobiles à la masse. En très hautes fréquences VHF, UHF ou hyper les inductances sont facilement réalisées sur le circuit imprimé, on choisit alors les ontages à deux inductances,mais elles devront être calculées,car il sera difficile de les ajuster. En onde courte(OC) les inductances ajustables à roulette sont rares et onéreuses, on choisit en général une seule inductance réglbles par bond et deux condensateurs variables avec l'amature réglable à la masse.

Pour les émetteurs en onde courte (**OC**), le circuit d'accord le plus commun est le montage **k**, il est parfois appelé filtre Collins, li ne nécessite qu'une seule inductance variable (self à roulette) et les deux condensateurs variables on une armature à la masse ce qui facilite la réalisation mécanique. Pour les plus hautes fréquences (VHF et UHF) les inductances sont plus simples à réaliser, elles peuvent même être imprimées sur le circuit imprimé. Les boîtes d'accord OC utilisent souvent des schémas un peu plus élaborés (transmatch) avec parfois un système de symétrisation. Ils doivent pouvoir transmettre la puissance sans pertes et avoir une très bonne tenue en tension à cause des résonnances.



Partie3 (les lignes de transmissions), à suivre.