

Dispositifs acousto-optiques

Docs pour le cours :

- « Acousto-optic theory & Application notes », AA Optoelectronics : [linky]
- Fiche technique DTSXY-400 [linky]
- CoursTD_AOM3_distance.pdf [ce fichier]

Les fichiers de cette semaine ainsi que les semaines précédentes sont disponibles sur ma page pro :
pro.univ-lille.fr/esben-andresen

Contenu du cours (cf « Acousto-optic theory & Application notes ») :

- Vocabulaire acousto-optique
 - Cellule de Bragg
 - Angle de Bragg
 - Angle de séparation
 - Bande-passante RF
 - Angle de déflexion maximale
 - Temps de montée
 - Bande-passante de modulation
 - Efficacité
 - Rapport d'extinction
 - Décalage de fréquence
 - Résolution
 - Puissance RF
 - Puissance acoustique
- Principes physiques
- Constitution d'une cellule de Bragg
- Modulateur acousto-optique
 - Contraste statique
 - Contraste dynamique
- Déflecteur acousto-optique
 - Résolution
 - Temps d'accès
 - Résolution dynamique
 - Efficacité et bande-passante
- Filtre accordable acousto-optique
- Décaleur de fréquence acousto-optique
- Amplificateurs RF

Exercice 1 : Mise en œuvre d'un déflecteur acousto-optique DTSXY-400

Voir la fiche de spécifications du déflecteur DTSXY-400. On souhaite l'utiliser dans un microscope optique à balayage.

- Vérifier que la résolution et temps d'accès donnés soient cohérents avec les propriétés du matériau.
- Quelle cadence d'images qu'on peut atteindre avec la résolution maximale 500 x 500 ?
- Quelle cadence d'images peut-on atteindre si on accepte une réduction de la résolution d'un facteur 2 ?

Vocabulaire acousto-optique :

Il existe deux entreprises principales qui proposent des dispositifs acousto-optiques, AA Optoelectronics (en France) et Brimrose (aux US).

Ici, nous allons feuilleter le « Acousto-optic theory & Application notes », disponible sur le site d'AA Optoelectronics, et qui contient un survol des principes physiques de l'effet acousto-optique, les différents types de dispositifs disponibles à base de l'effet acousto-optique, et les termes et spécifications qu'on utilise habituellement pour caractériser et mettre en œuvre ces dispositifs.

On essaie de suivre le document plus ou moins chronologiquement. Je recommande de regarder ce doc-ci et l'autre en même temps. Mais enfin, vous faites comme mieux vous semble.

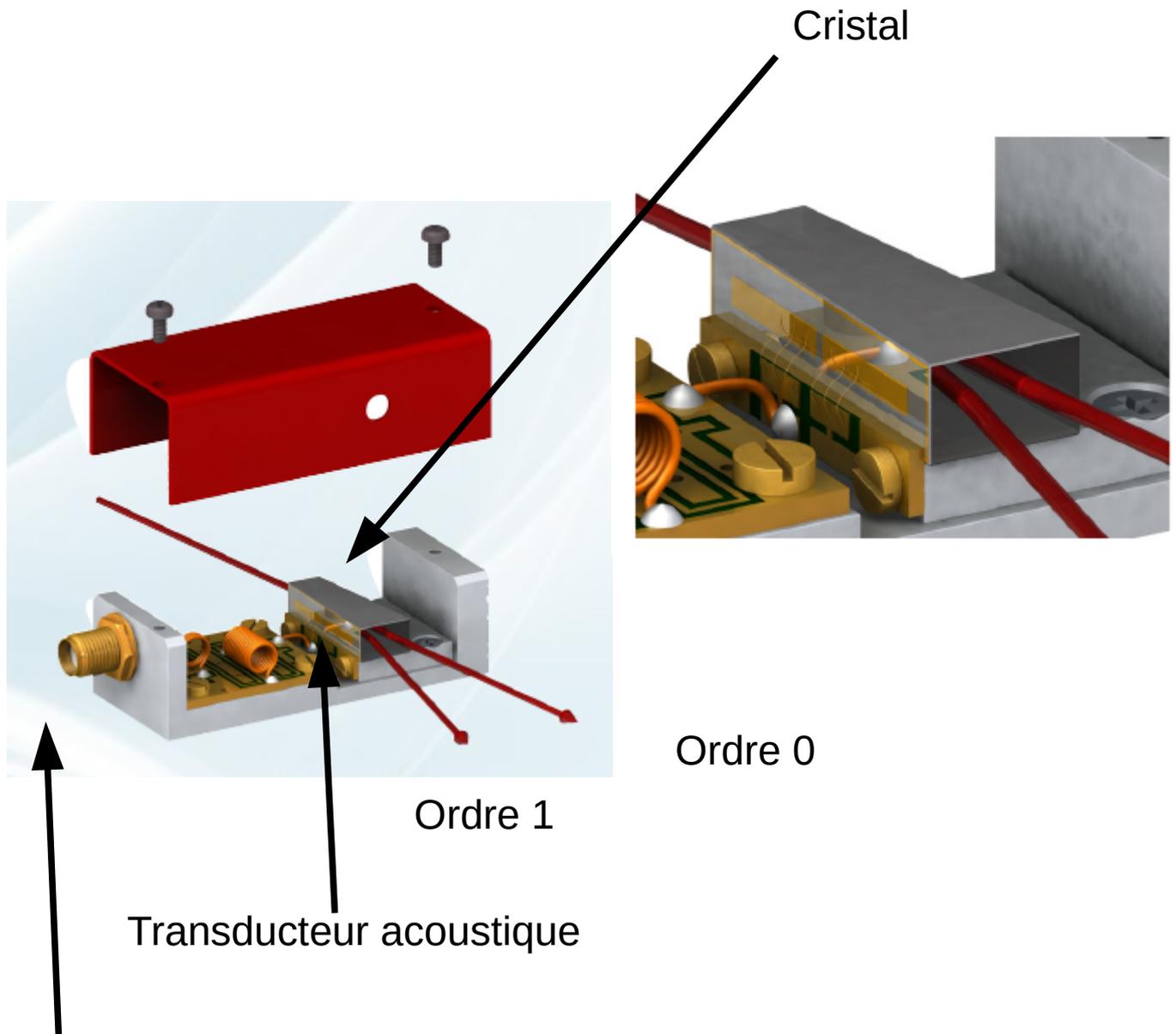
Et n'oubliez pas que vous avez aussi les notes du cours détaillées (le doc de ~ 100 pages).

Vocabulaire acousto-optique :

« Cellule de Bragg » (anglais : « Bragg cell ») :

C'est un terme parapluie pour tous les dispositifs qui se servent de l'effet acousto-optique pour déflécter un faisceau via diffraction de Bragg, c'est à dire que le réseau d'indice ainsi établi doit être « épais ». On rappelle que « épais » dans ce contexte veut dire plus épais que l'épaisseur critique.

Regarde le Chapitre 5 du document.



Connecteur SMA ;
Entrée signal électrique RF amplifié

Vocabulaire acousto-optique :

« Angle de Bragg » (anglais : « Bragg angle ») :

Cf cours précédents, c'est le seul angle de diffraction qui est permis dans un réseau d'indice épais. [vous avez l'expression dans vos notes de cours]. Il y a donc seulement deux ordres diffractés, l'ordre 0 (direct) et l'ordre 1 (diffracté).

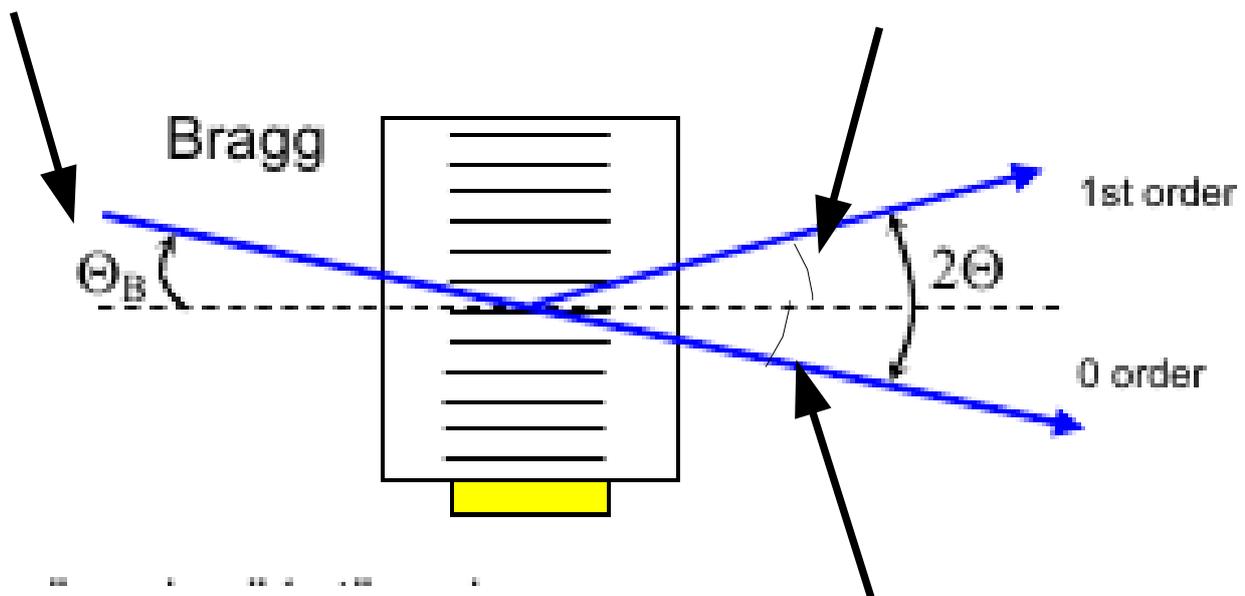
Les angles de Bragg sont indiqués sur le dessin ci-dessous.

En fait, on peut affiner cette définition de l'angle de Bragg. Ce n'est pas strictement « le seul angle de diffraction qui est permis », si l'angle du faisceau incident est différent de l'angle de Bragg, il y a quand même une diffraction, c'est juste que l'efficacité est moindre qu'à l'angle de Bragg.

Donc, ce serait plus correcte de dire : L'efficacité de diffraction est maximale à l'angle de Bragg ; et plus la différence entre angle du faisceau et angle de Bragg est élevée, plus l'efficacité sera faible.

Là !

Et là !

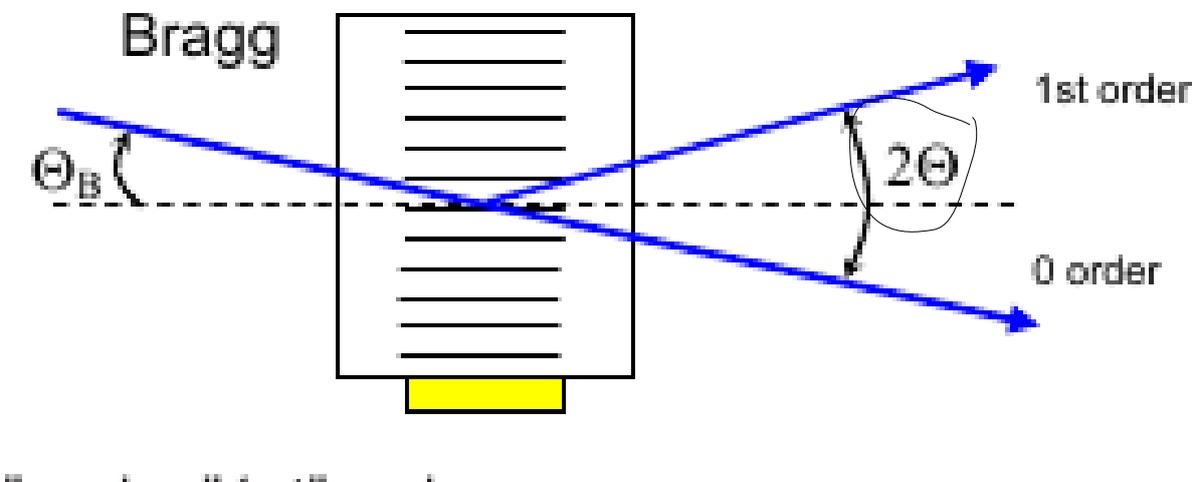


Et là aussi!

Vocabulaire acousto-optique :

« Angle de séparation » (anglais : « Separation angle ») :

C'est l'angle entre l'ordre 0 et l'ordre 1 dans la configuration de Bragg.



Vocabulaire acousto-optique :

« Bande passante RF » (anglais : « RF bandwidth ») :

RF = « radio-fréquence » est la gamme des fréquences utilisés en communication sans fil, de quelques kHz à quelques GHz.

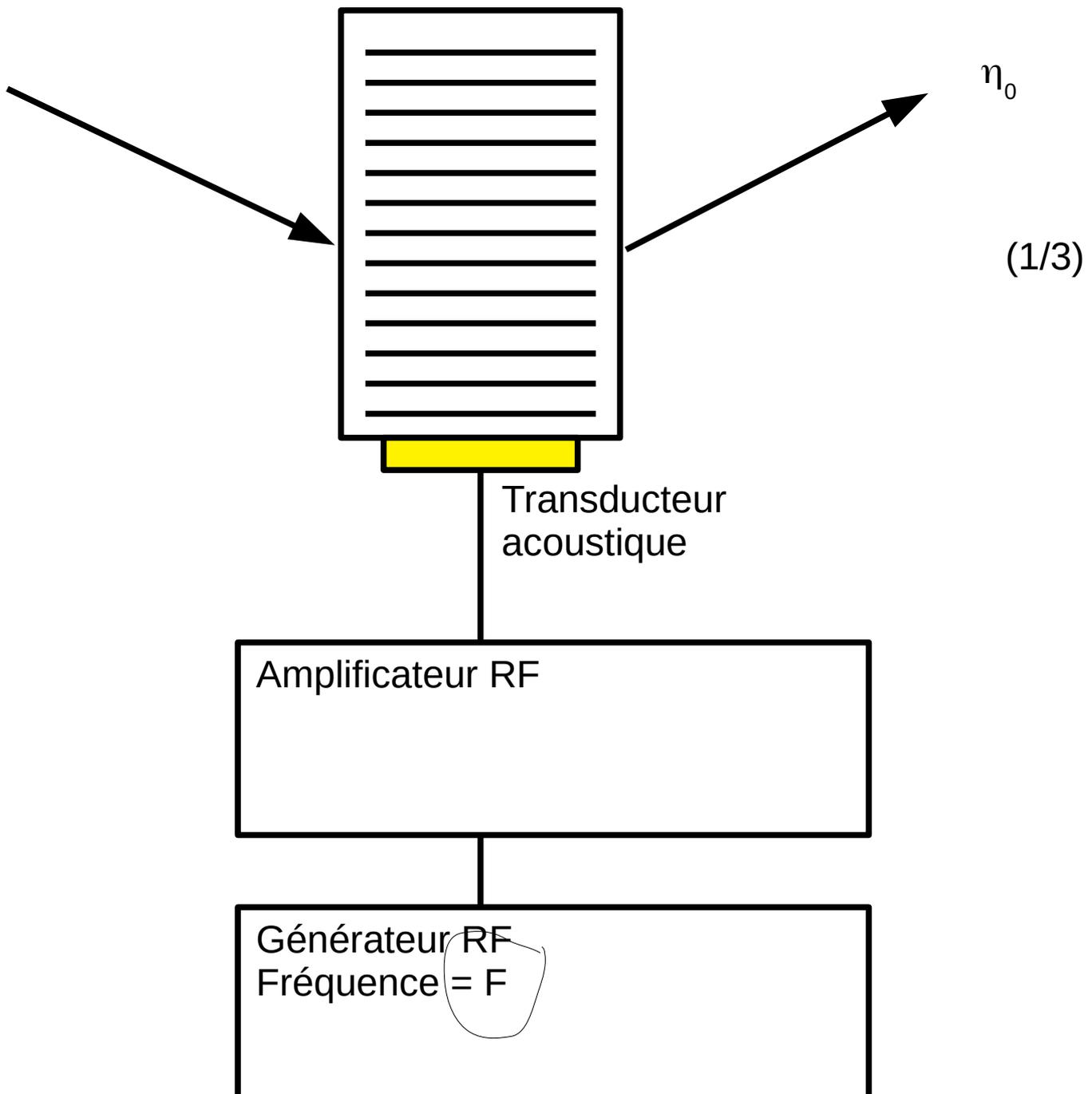
Dans le contexte d'acousto-optique, la « fréquence RF » entend la fréquence de l'onde acoustique qui se limite typiquement à la gamme quelques dizaines de MHz à quelques GHz.

En effet, un signal électrique est produit par un « générateur RF », ce signal électrique est amplifié par un « amplificateur RF », le signal électrique amplifié alimente un transducteur acoustique (en principe un haut-parleur) qui « traduit » le signal électrique en signal acoustique.

Cf cours, la condition de Bragg est déterminé par la fréquence RF :

$$\Theta_B = \lambda / (2 \Lambda) = \lambda F / (2 v_{ac})$$

Supposons que l'angle du faisceau incident = Θ_B . L'efficacité de diffraction est, disons, η_0 .



Vocabulaire acousto-optique :

« Bande passante RF » (anglais : « RF bandwidth ») :

RF = « radio-fréquence » est la gamme des fréquences utilisés en communication sans fil, de quelques kHz à quelques GHz.

Dans le contexte d'acousto-optique, la « fréquence RF » entend la fréquence de l'onde acoustique qui se limite typiquement à la gamme quelques dizaines de MHz à quelques GHz.

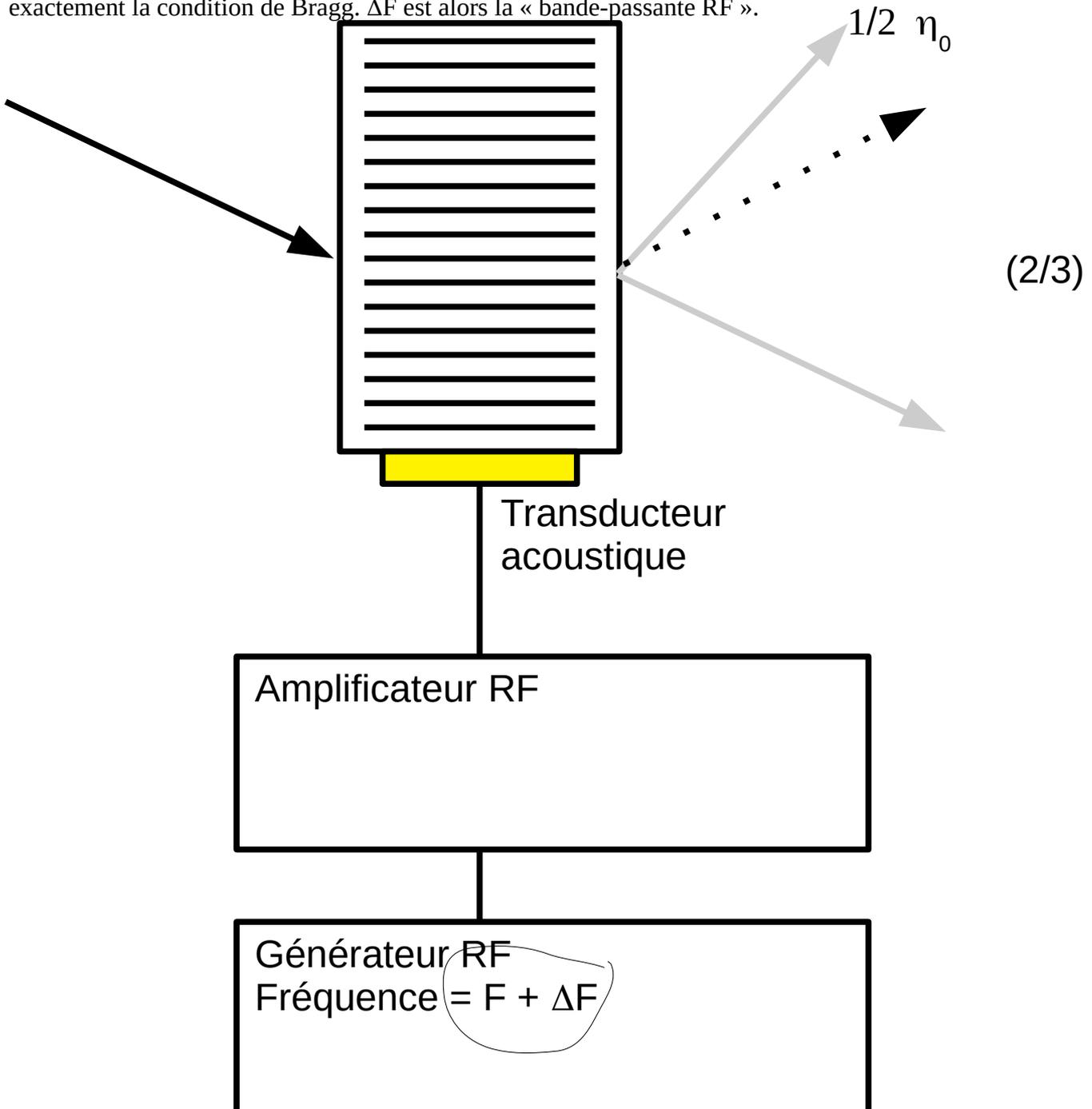
En effet, un signal électrique est produit par un « générateur RF », ce signal électrique est amplifié par un « amplificateur RF », le signal électrique amplifié alimente un transducteur acoustique (en principe un haut-parleur) qui « traduit » le signal électrique en signal acoustique.

Cf cours, la condition de Bragg est déterminé par la fréquence RF :

$$\Theta_B = \lambda / (2 \Lambda) = \lambda F / (2 v_{ac})$$

Supposons que l'angle du faisceau incident = Θ_B . L'efficacité de diffraction est, disons, η_0 .

Supposons maintenant que la fréquence RF change de $+\Delta F/2$, jusque ce que l'efficacité de diffraction diminue à $1/2 \eta_0$. On rappelle que la chute d'efficacité advient parce que le faisceau incident ne satisfait plus exactement la condition de Bragg. ΔF est alors la « bande-passante RF ».



Vocabulaire acousto-optique :

« Bande passante RF » (anglais : « RF bandwidth ») :

RF = « radio-fréquence » est la gamme des fréquences utilisés en communication sans fil, de quelques kHz à quelques GHz.

Dans le contexte d'acousto-optique, la « fréquence RF » entend la fréquence de l'onde acoustique qui se limite typiquement à la gamme quelques dizaines de MHz à quelques GHz.

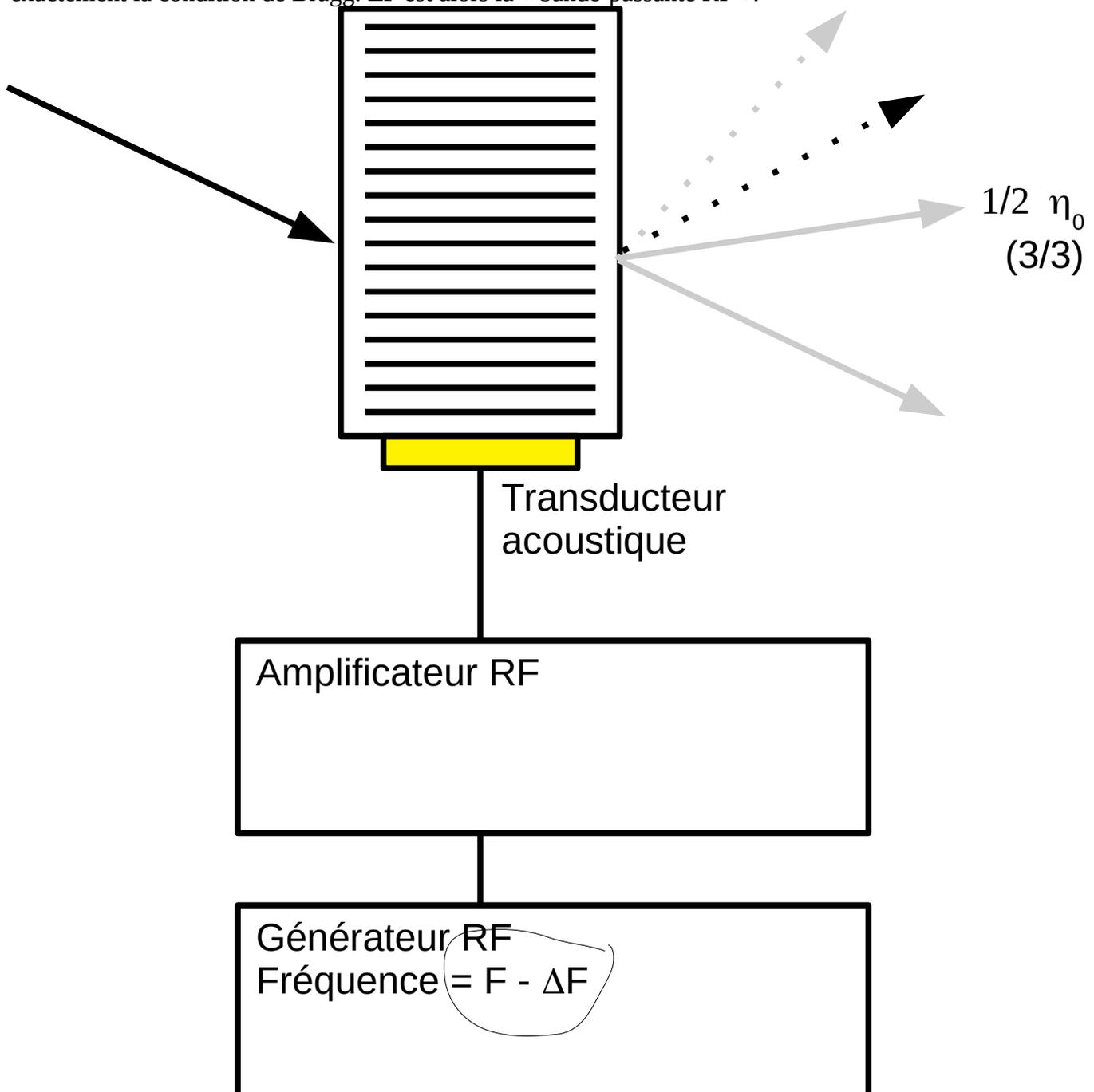
En effet, un signal électrique est produit par un « générateur RF », ce signal électrique est amplifié par un « amplificateur RF », le signal électrique amplifié alimente un transducteur acoustique (en principe un haut-parleur) qui « traduit » le signal électrique en signal acoustique.

Cf cours, la condition de Bragg est déterminé par la fréquence RF :

$$\Theta_B = \lambda / (2 \Lambda) = \lambda F / (2 v_{ac})$$

Supposons que l'angle du faisceau incident = Θ_B . L'efficacité de diffraction est, disons, η_0 .

Supposons maintenant que la fréquence RF change de $-\Delta F/2$, jusque ce que l'efficacité de diffraction diminue à $1/2 \eta_0$. On rappelle que la chute d'efficacité advient parce que le faisceau incident ne satisfait plus exactement la condition de Bragg. ΔF est alors la « bande-passante RF ».



Vocabulaire acousto-optique :

« Angle de déflexion maximale » (anglais : « maximum deflection angle ») :

Comme vous avez peut-être remarqué, on n'est plus en configuration de Bragg, car angle incident n'est plus égale angle de sortie.

On est dans la « configuration de Bragg généralisée ». On a toujours la conservation de moment :

$$k_d = k_i + k_{ac} \Rightarrow$$

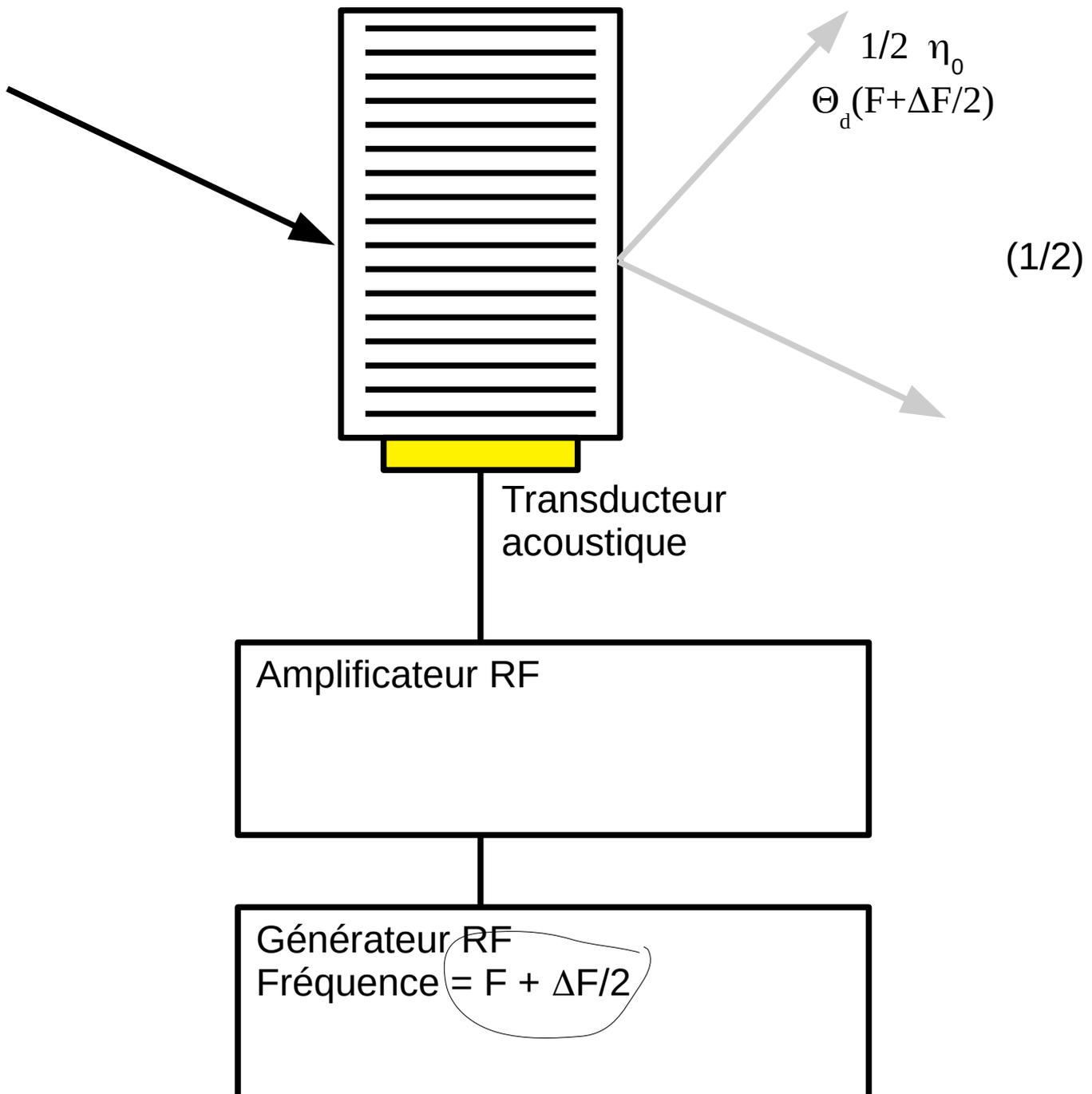
$$2 \pi / \lambda \sin \Theta_i = 2 \pi / \lambda \sin \Theta_d + 2 \pi / \Lambda$$

Si l'angle de déflexion = $\Theta_d (F + \Delta F)$ lorsque la fréquence RF = $F + \Delta F$;

Et $\Theta_d (F) = \Theta_B$ lorsque la fréquence RF = F ;

Alors l'angle de déflexion maximale DQ est :

$$\Delta \Theta = \Theta_d (F + \Delta F) - \Theta_B$$



Vocabulaire acousto-optique :

« Angle de déflexion maximale » (anglais : « maximum deflection angle ») :

Comme vous avez peut-être remarqué, on n'est plus en configuration de Bragg, car angle incident n'est plus égale angle de sortie.

On est dans la « configuration de Bragg généralisée ». On a toujours la conservation de moment :

$$kd = ki + kac \Rightarrow$$

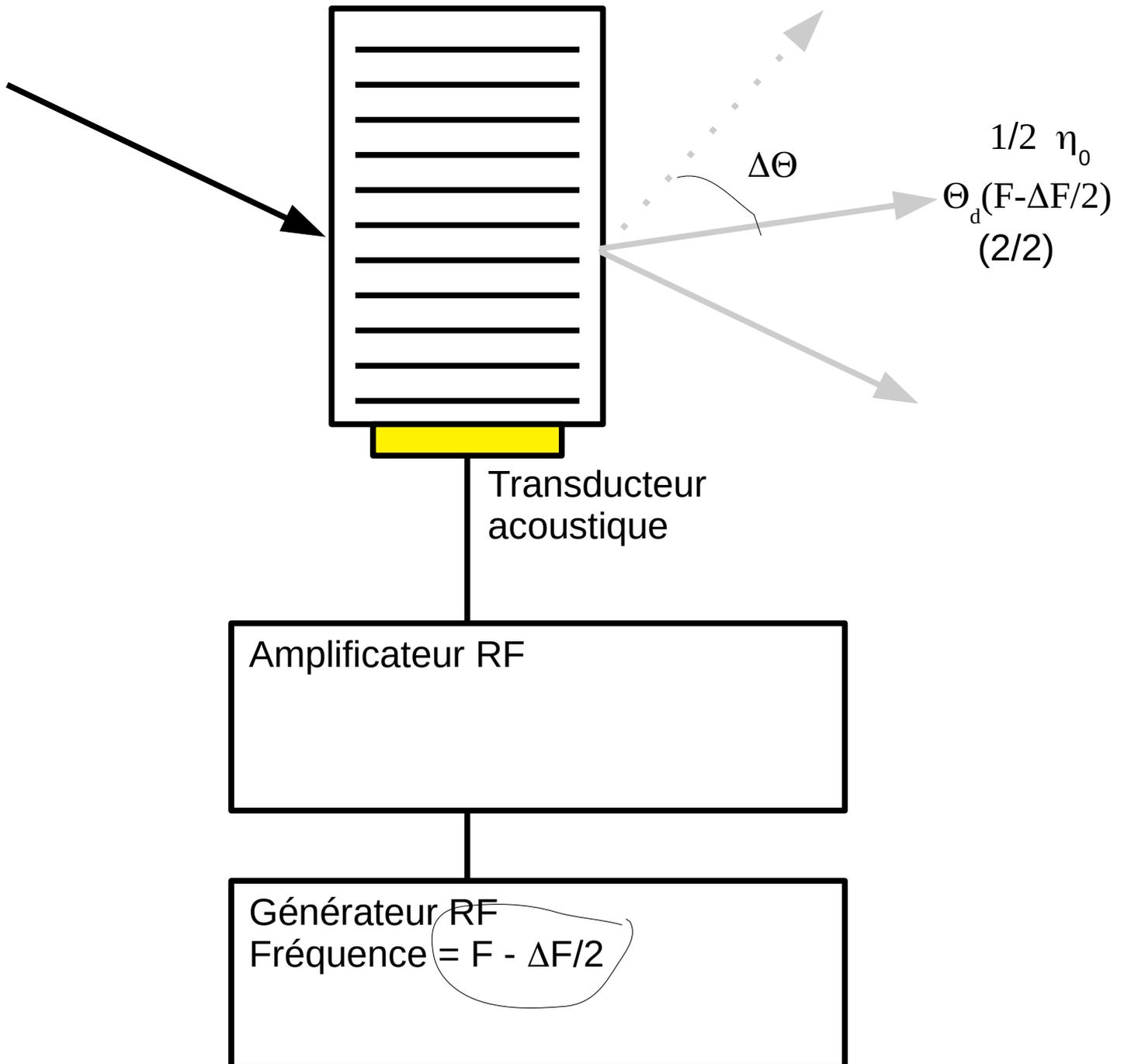
$$2 \pi / \lambda \sin \Theta_i = 2 \pi / \lambda \sin \Theta_d + 2 \pi / \Lambda$$

Si l'angle de déflexion = $\Theta_d (F + \Delta F/2)$ lorsque la fréquence RF = $F + \Delta F/2$;

Et $\Theta_d (F - \Delta F/2)$ lorsque la fréquence RF = $F - \Delta F/2$;

Alors l'angle de déflexion maximale DQ est :

$$\Delta\Theta = \Theta_d (F + \Delta F/2) - \Theta_d (F - \Delta F/2)$$



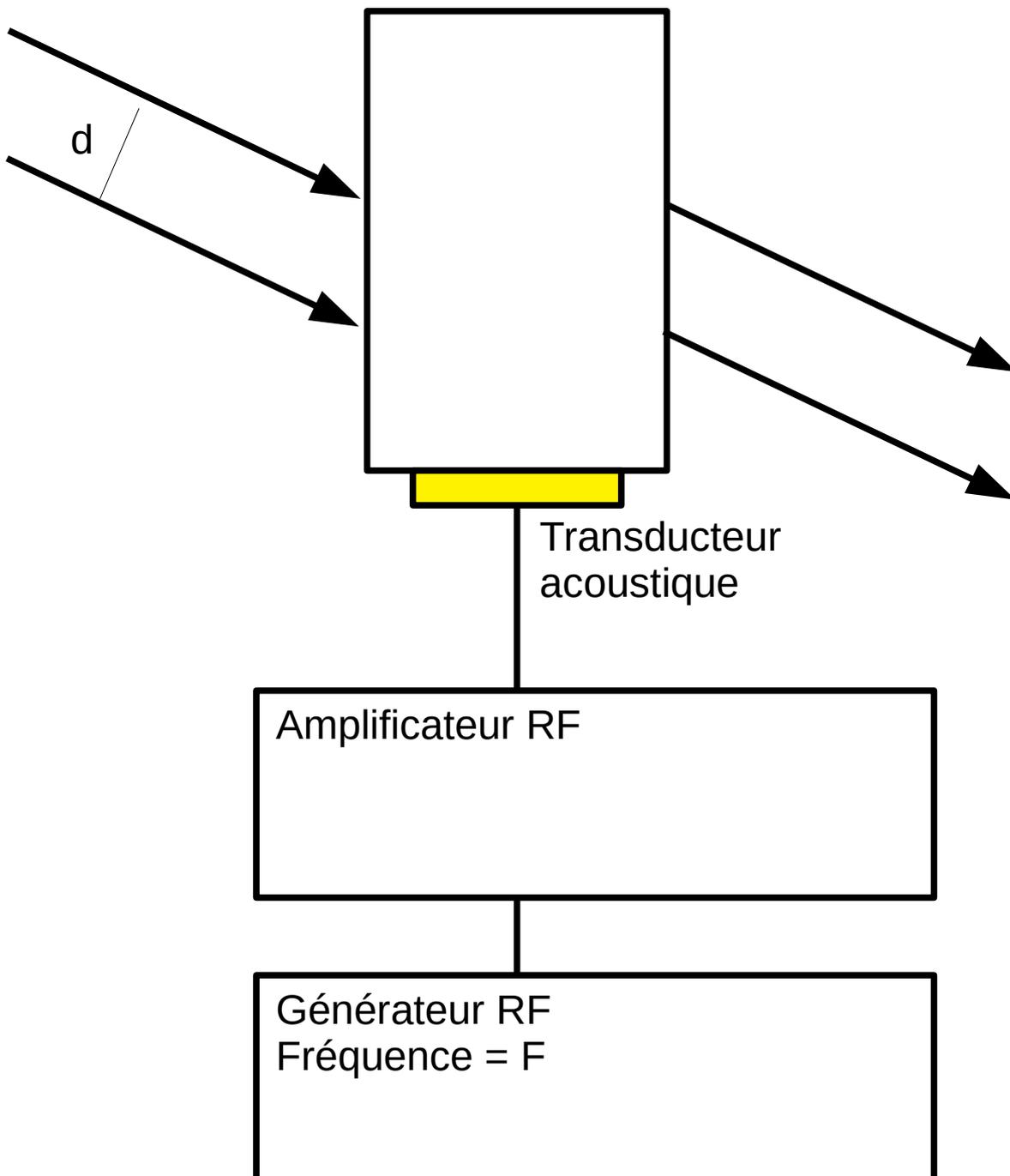
Vocabulaire acousto-optique :

« Temps de montée » (anglais : « rise time ») :

On a déjà fait connaissance au temps de montée dans le TD dernier.

$T = 0$; le signal RF est commuté

(1/3)



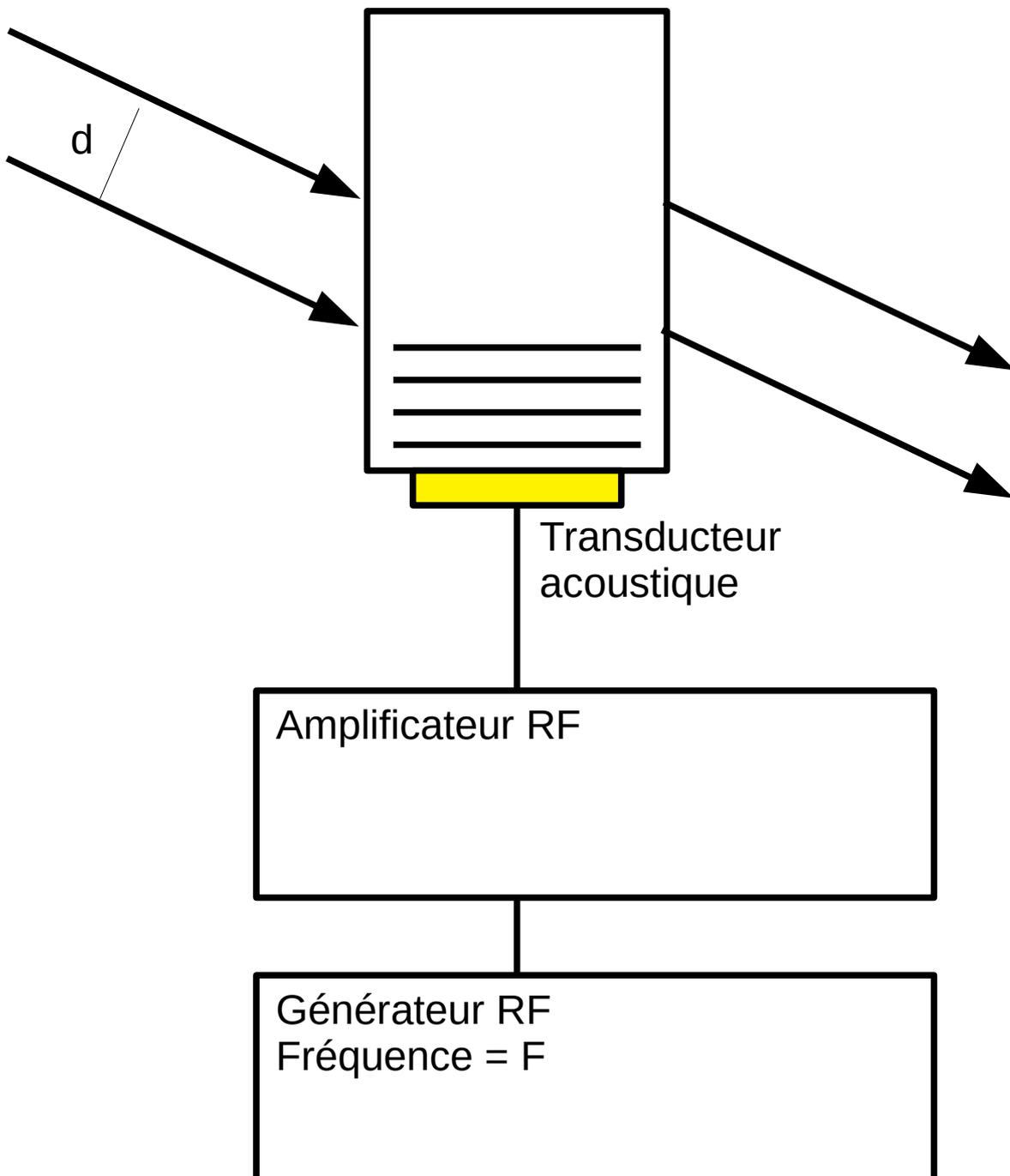
Vocabulaire acousto-optique :

« Temps de montée » (anglais : « rise time ») :

On a déjà fait connaissance au temps de montée dans le TD dernier.

$T = T_0$; l'onde acoustique atteint la partie basse du faisceau optique

(2/3)



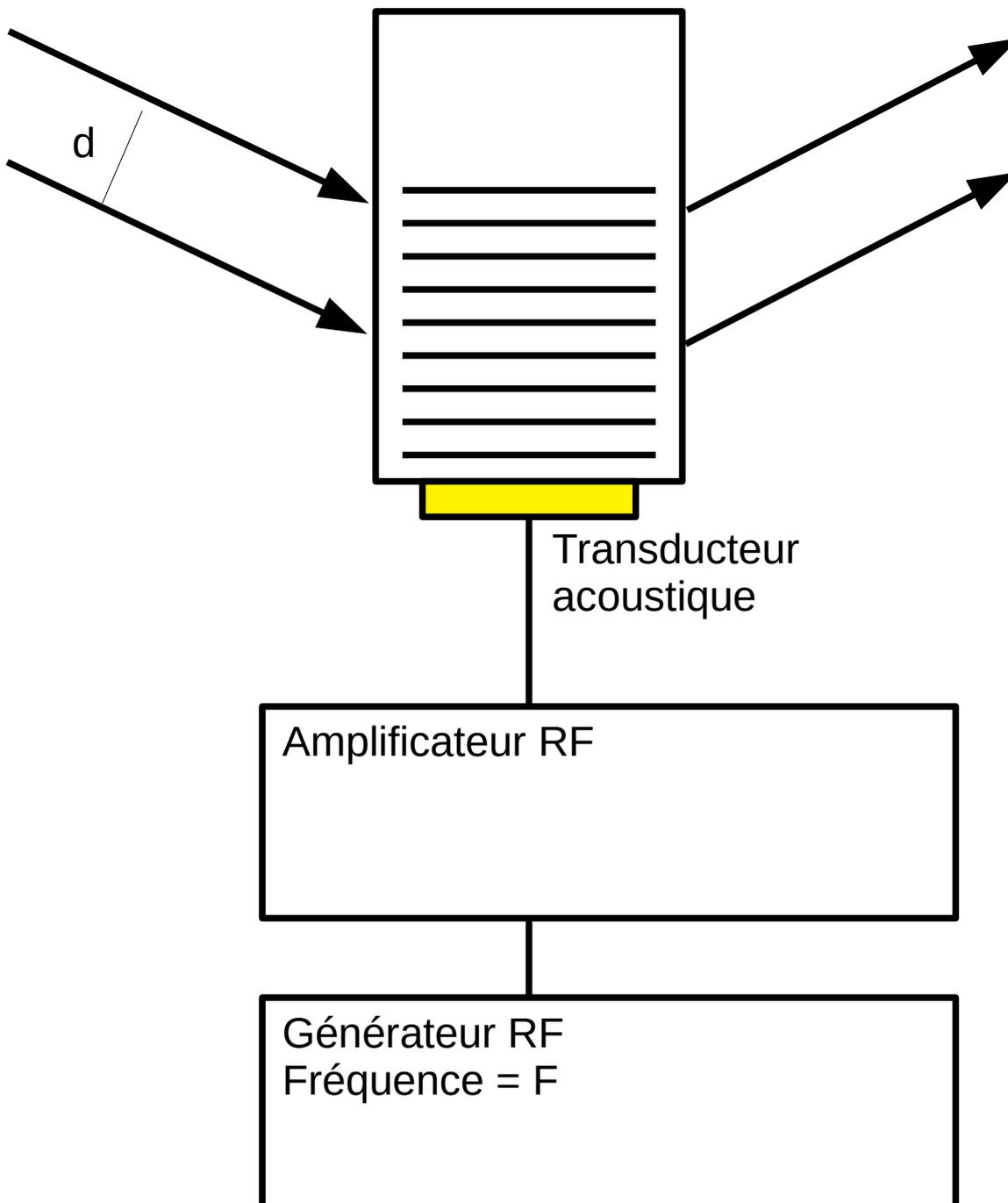
Vocabulaire acousto-optique :

« Temps de montée » (anglais : « rise time ») :

On a déjà fait connaissance au temps de montée dans le TD dernier.

$T = T_0 + T_R$; l'onde acoustique atteint la
partie basse du faisceau optique
Temps de montée $T_R = d / v_{ac}$

(3/3)



Vocabulaire acousto-optique :

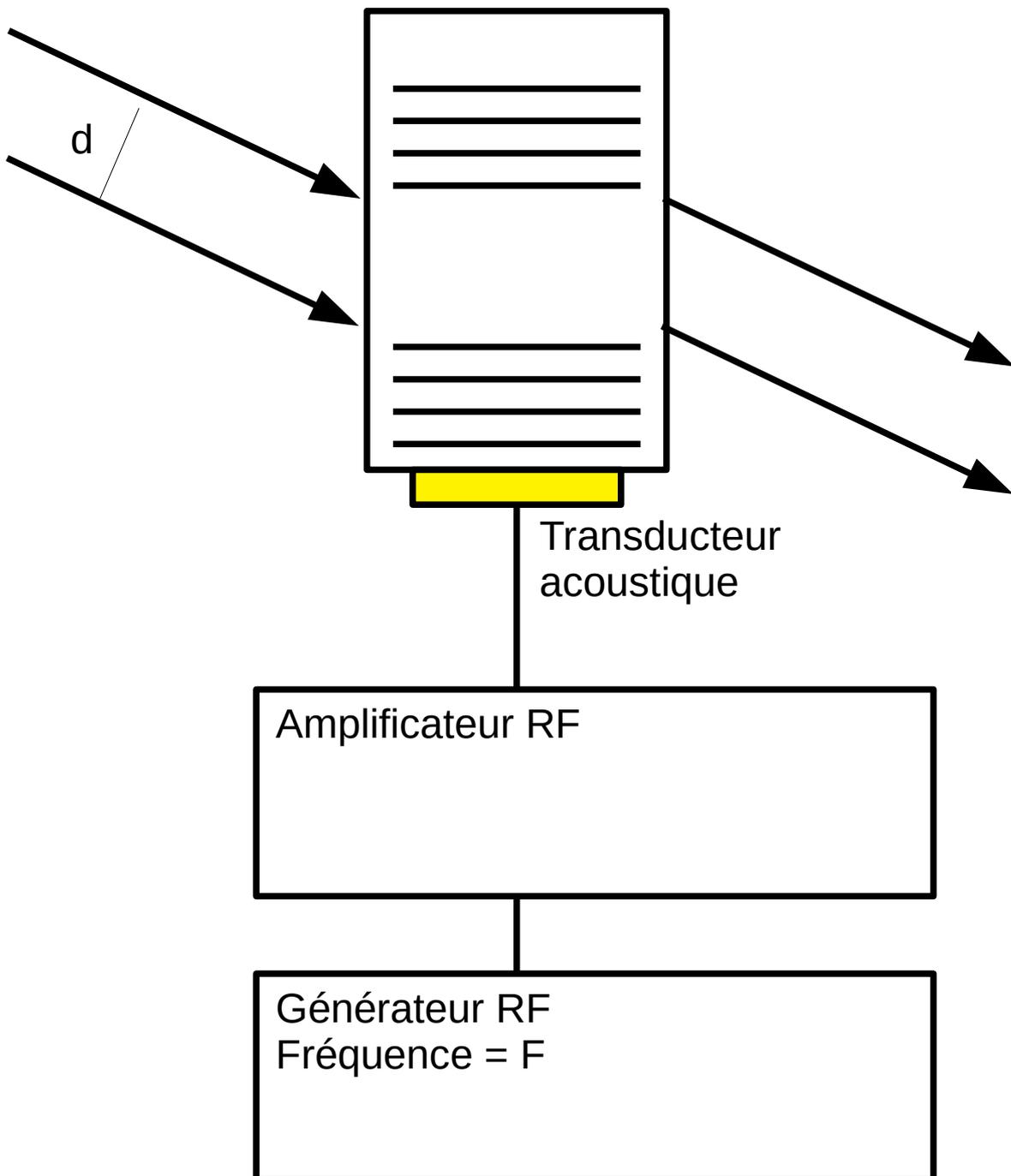
« Bande passante de modulation » (anglais : « modulation bandwidth ») :

À ne pas confondre avec la « bande passante RF ».

La bande passante de modulation ΔF_{mod} est la fréquence maximale à laquelle on peut commuter entre diffraction maximale et minimale.

$$T = T_0$$

(1/5)



Vocabulaire acousto-optique :

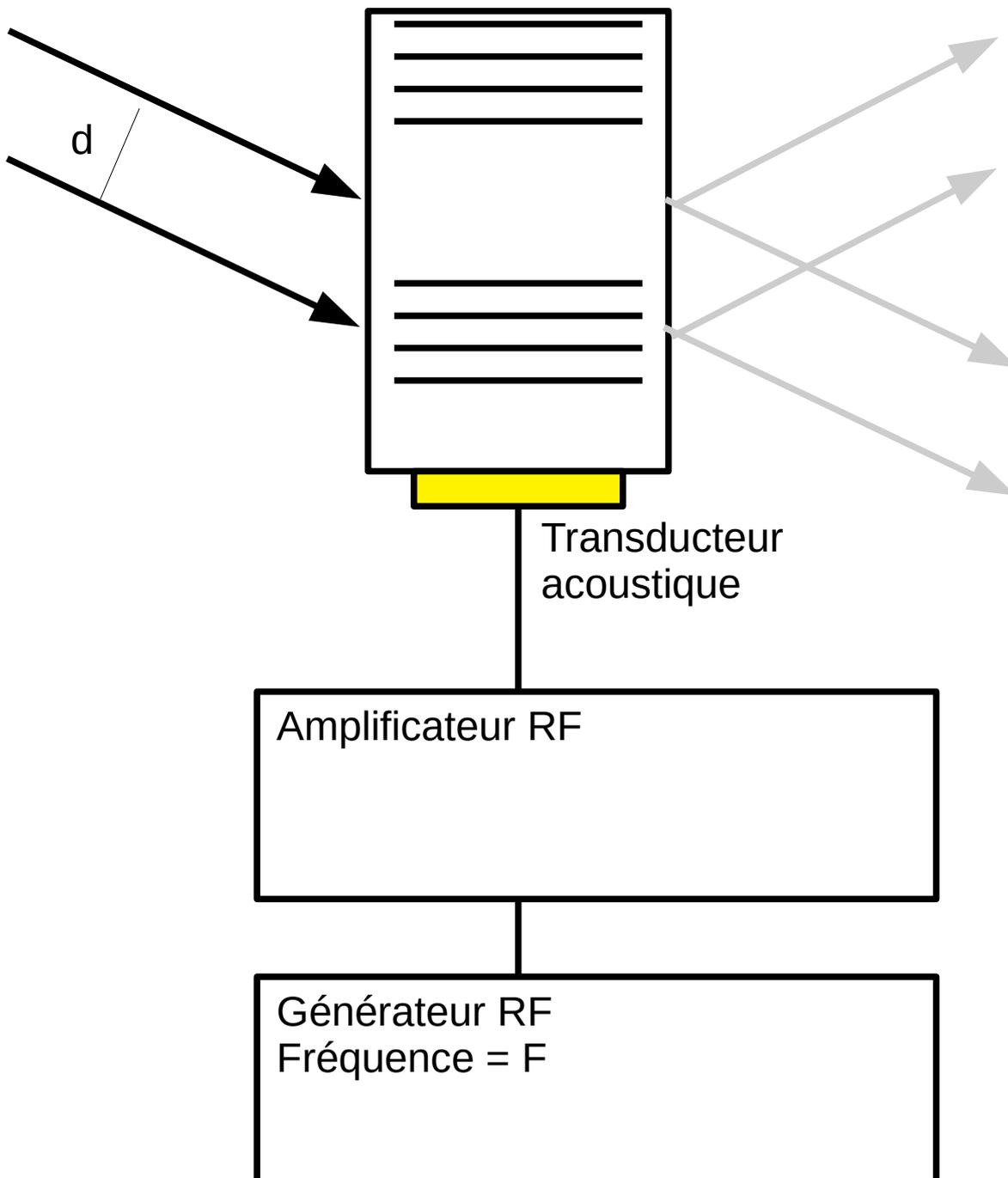
« Bande passante de modulation » (anglais : « modulation bandwidth ») :

À ne pas confondre avec la « bande passante RF ».

La bande passante de modulation ΔF_{mod} est la fréquence maximale à laquelle on peut commuter entre diffraction maximale et minimale.

$$T = T_0 + 1/2 T_R$$

(2/5)



Vocabulaire acousto-optique :

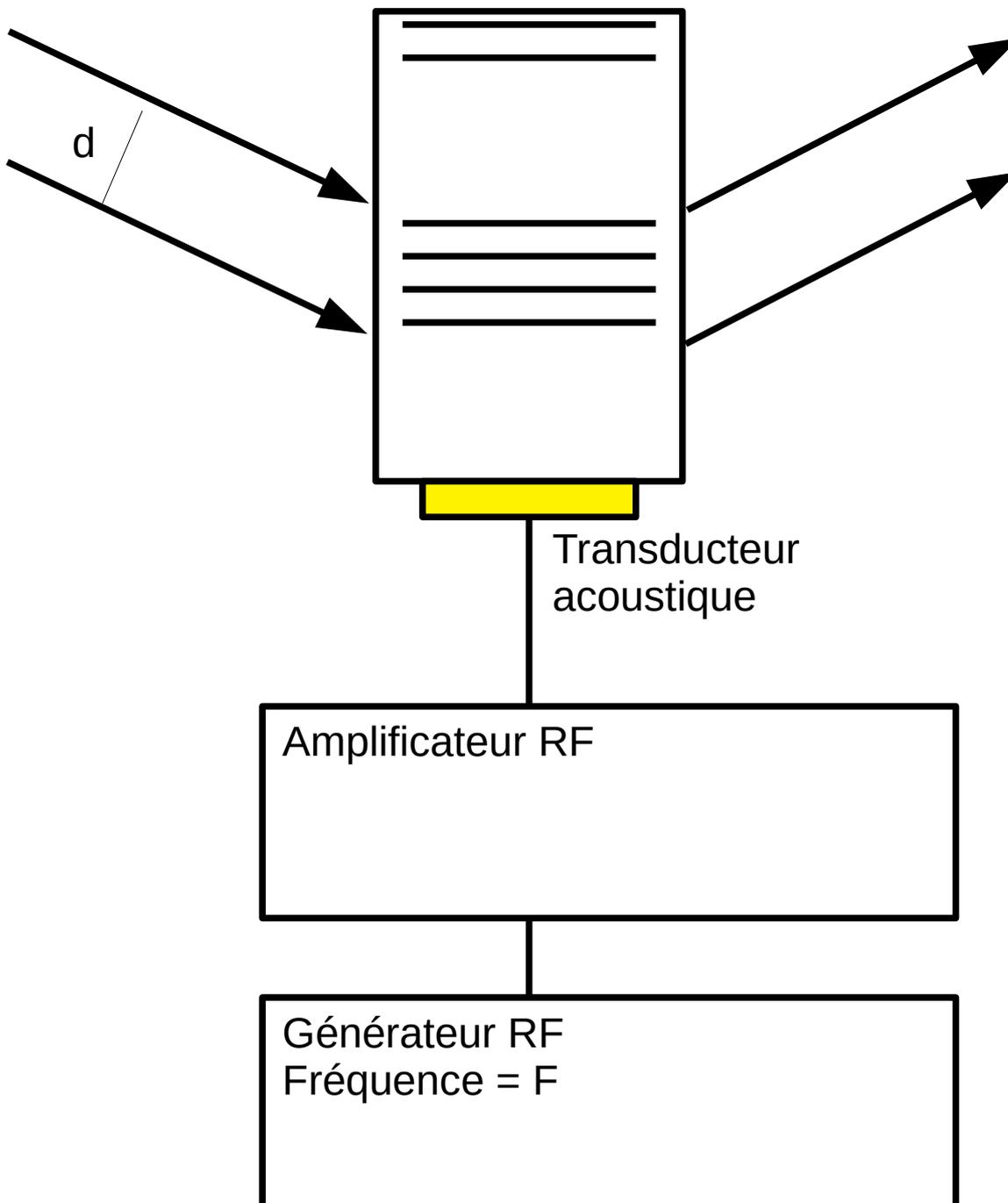
« Bande passante de modulation » (anglais : « modulation bandwidth ») :

À ne pas confondre avec la « bande passante RF ».

La bande passante de modulation ΔF_{mod} est la fréquence maximale à laquelle on peut commuter entre diffraction maximale et minimale.

$$T = T_0 + T_R$$

(3/5)



Vocabulaire acousto-optique :

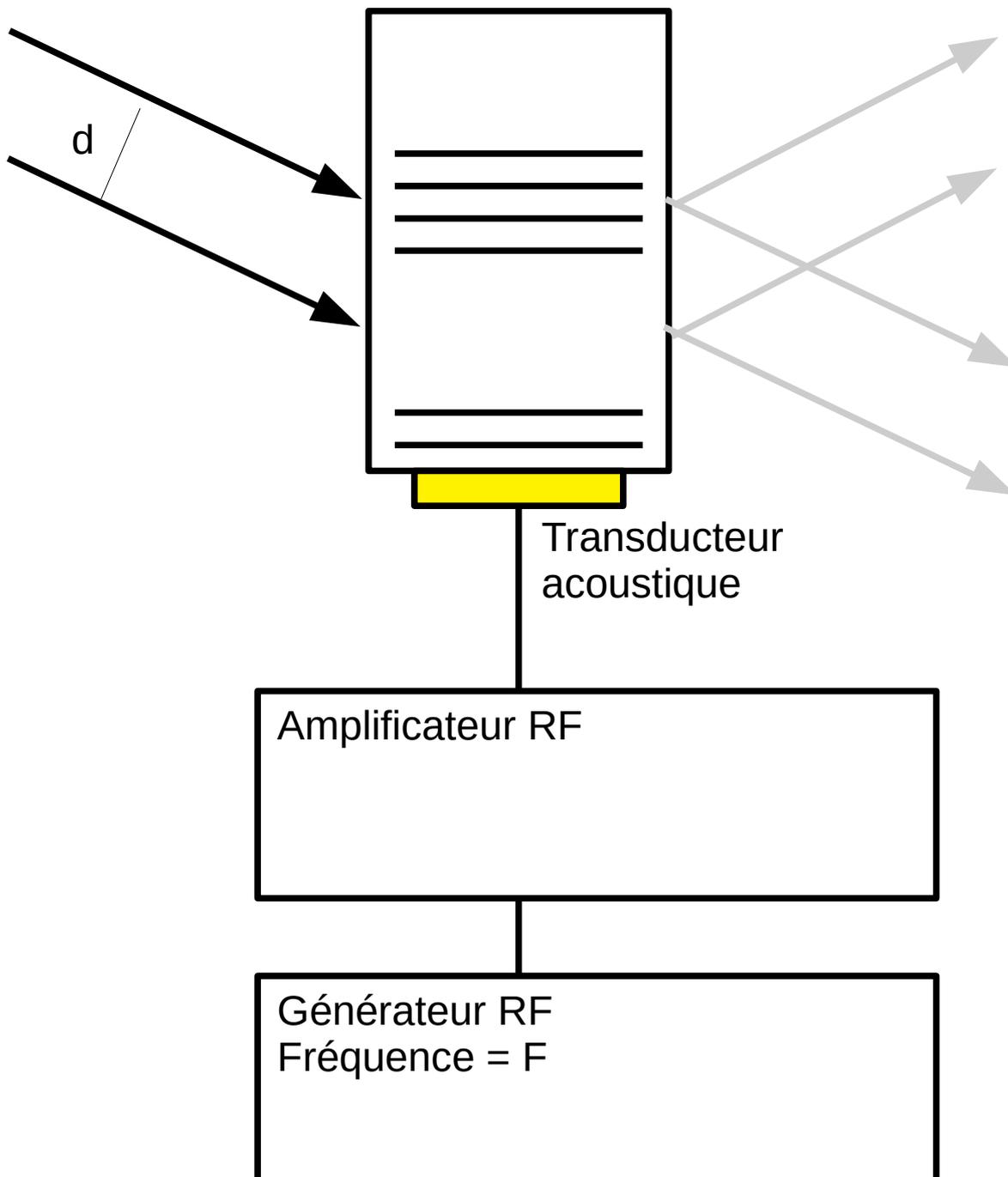
« Bande passante de modulation » (anglais : « modulation bandwidth ») :

À ne pas confondre avec la « bande passante RF ».

La bande passante de modulation ΔF_{mod} est la fréquence maximale à laquelle on peut commuter entre diffraction maximale et minimale.

$$T = T_0 + 3/2 T_R$$

(4/5)



Vocabulaire acousto-optique :

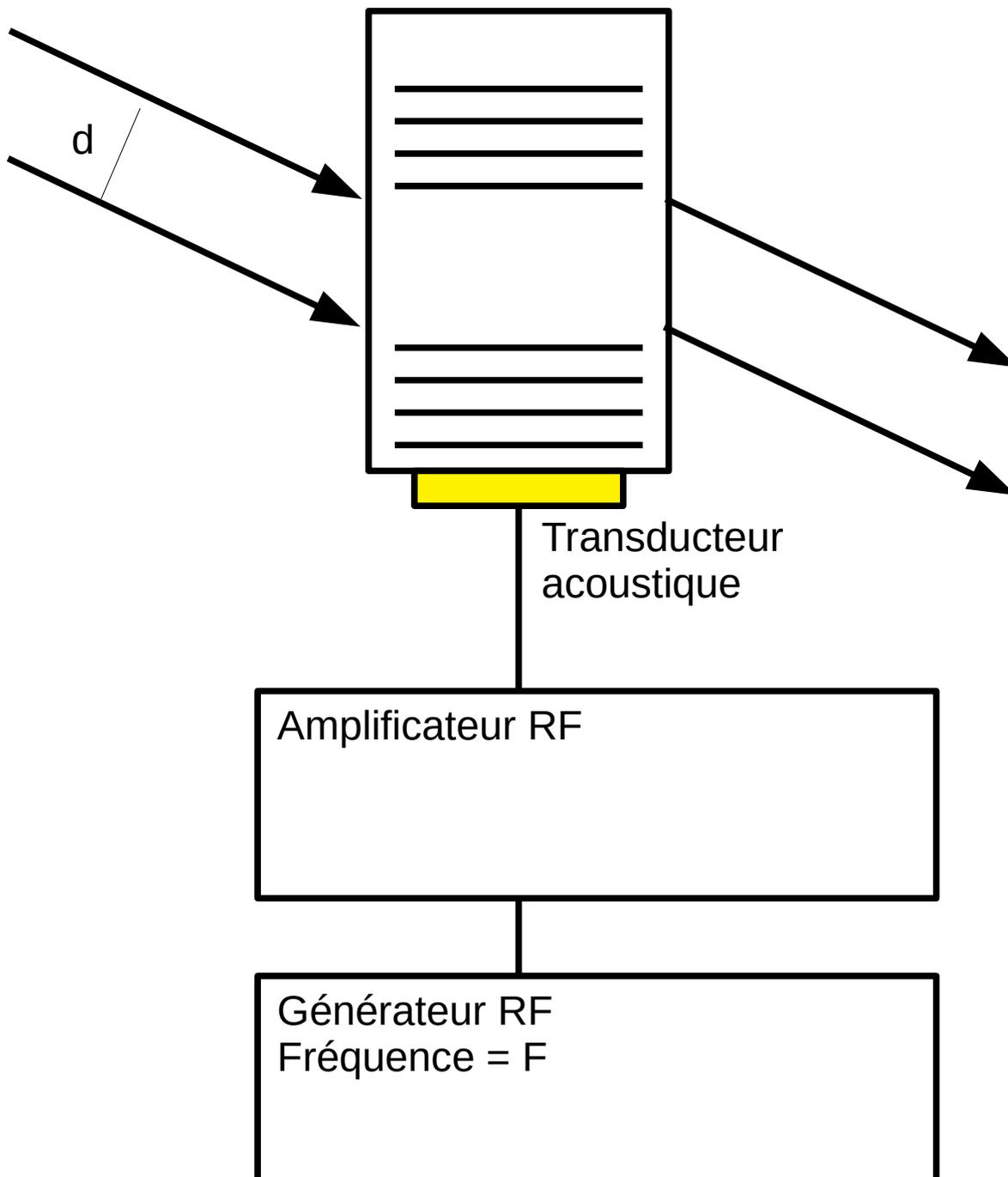
« Bande passante de modulation » (anglais : « modulation bandwidth ») :

À ne pas confondre avec la « bande passante RF ».

La bande passante de modulation ΔF_{mod} est la fréquence maximale à laquelle on peut commuter entre diffraction maximale et minimale.

$$T = T_0 + 2 T_R$$
$$\text{Donc } \Delta F_{\text{mod}} = 1 / (2 T_R)$$

(5/5)



Vocabulaire acousto-optique :

« Efficacité » (anglais : « efficiency ») :

On l'a déjà vu en cours.

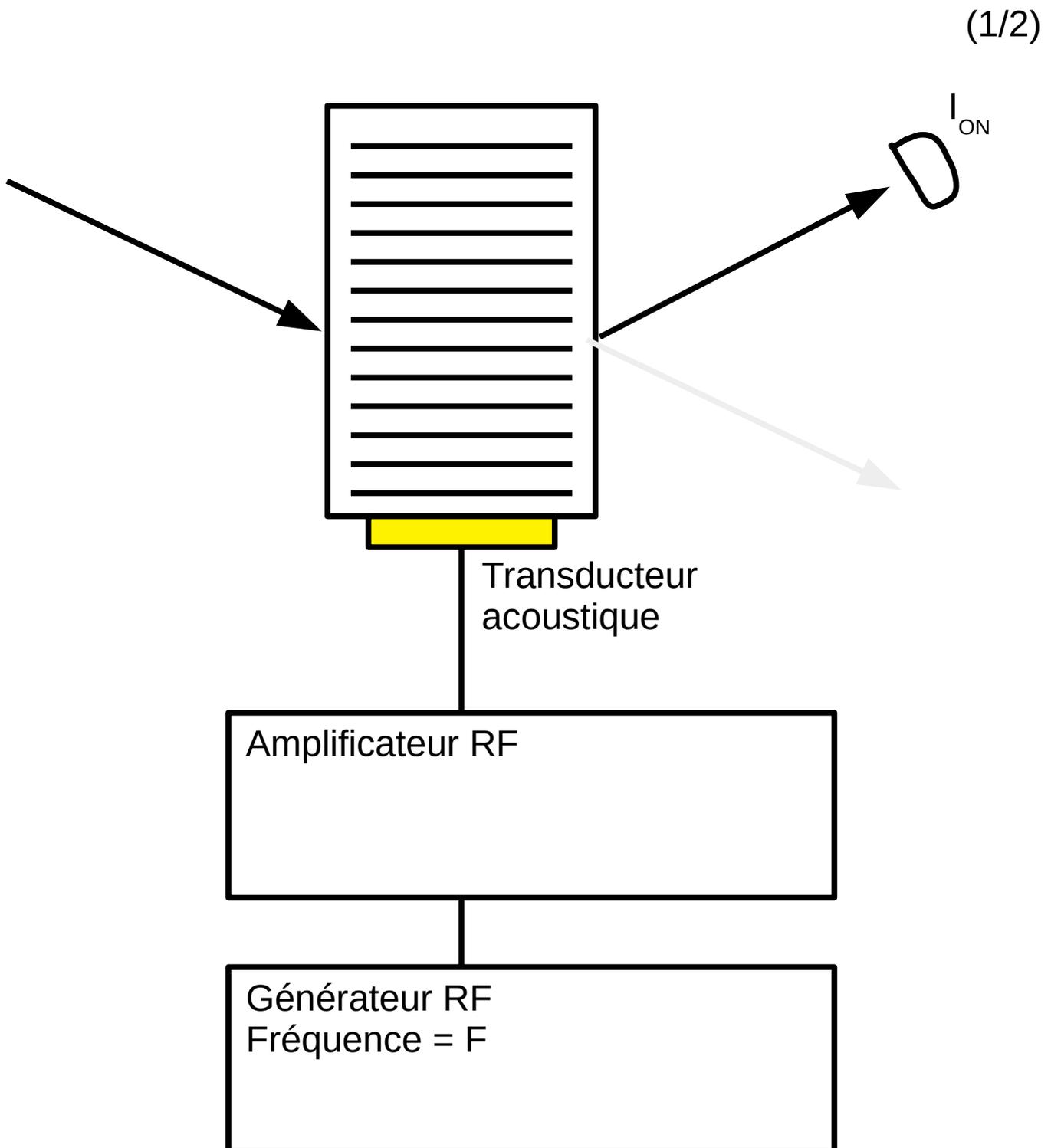
On peut juste rappeler, que l'efficacité η qu'on a vu en cours était valable à la condition de Bragg. Si on n'est pas pile à la condition de Bragg, η est en général moindre. Elle dépend d'une manière un peu complexe sur l'angle d'incidence et le pas Λ du réseau (équivalant : la fréquence RF, ou la fréquence acoustique F)

Vocabulaire acousto-optique :

« Rapport d'extinction » (anglais : « Extinction ratio ») :

C'est le rapport $ER = I_{ON} / I_{OFF}$ entre l'intensité dans l'ordre 1 avec l'onde acoustique ON et OFF :

Idéalement ER serait infini car I_{OFF} serait nulle, mais dans la pratique, il y a toujours des minuscule imperfection qui font que l'ordre 0 peut fuir dans l'ordre 1.



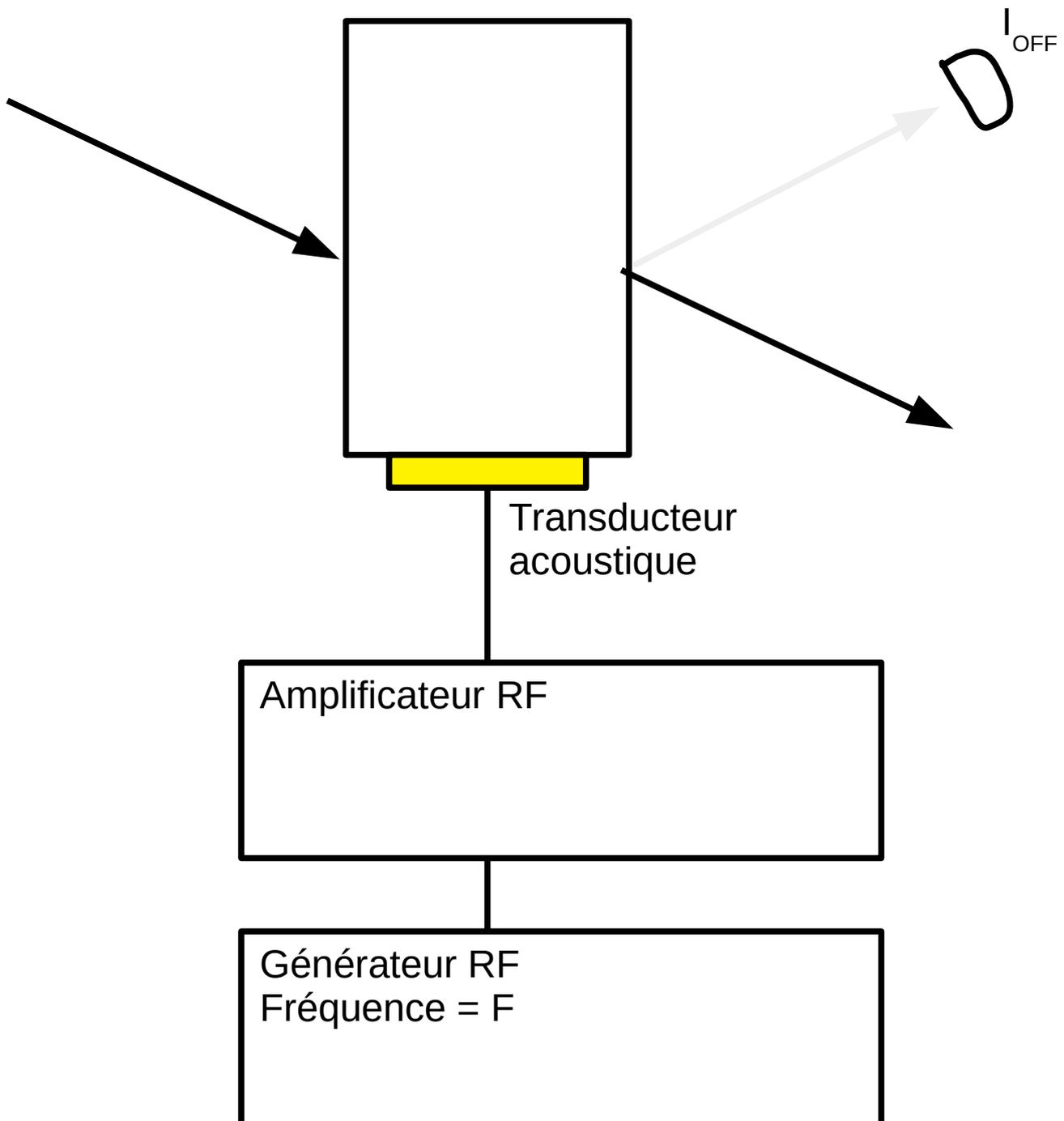
Vocabulaire acousto-optique :

« Rapport d'extinction » (anglais : « Extinction ratio ») :

C'est le rapport $ER = I_{ON} / I_{OFF}$ entre l'intensité dans l'ordre 1 avec l'onde acoustique ON et OFF :

Idéalement ER serait infini car I_{OFF} serait nulle, mais dans la pratique, il y a toujours des minuscule imperfection qui font que l'ordre 0 peut fuir dans l'ordre 1.

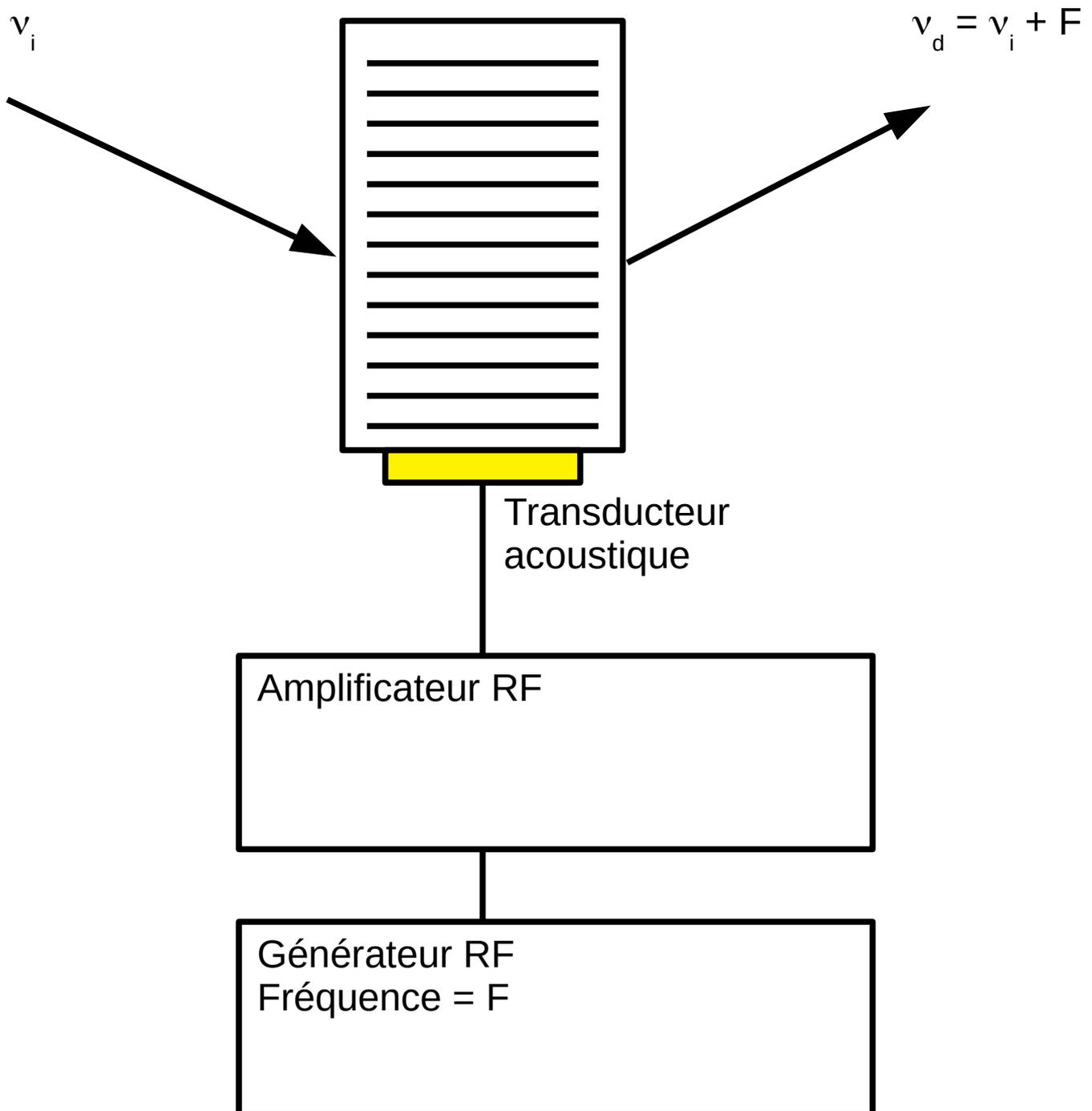
(2/2)



Vocabulaire acousto-optique :

« Décalage de fréquence » (anglais : « Frequency shift ») :

On l'a vu en cours ; La fréquence optique $\nu_d = \nu_i + F$; c'est la conservation d'énergie ou – équivalent – le décalage de Doppler

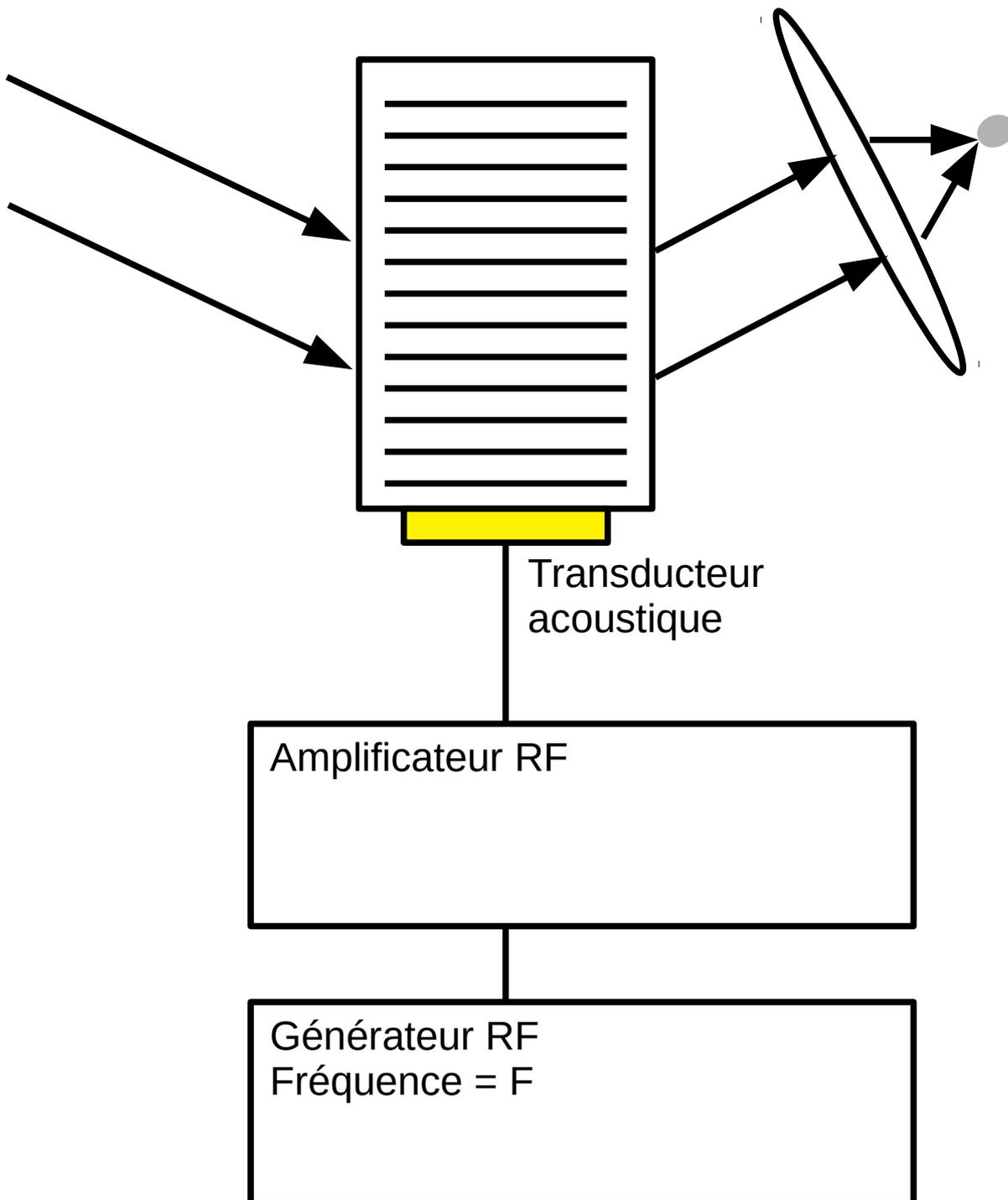


Vocabulaire acousto-optique :

« Résolution » (anglais : « resolution ») :

C'est le nombre maximale de points résolus que l'on peut générer avec le faisceau diffracté avec la fréquence RF compris entre $F - \Delta F$ et $F + \Delta F$.

(1/4)

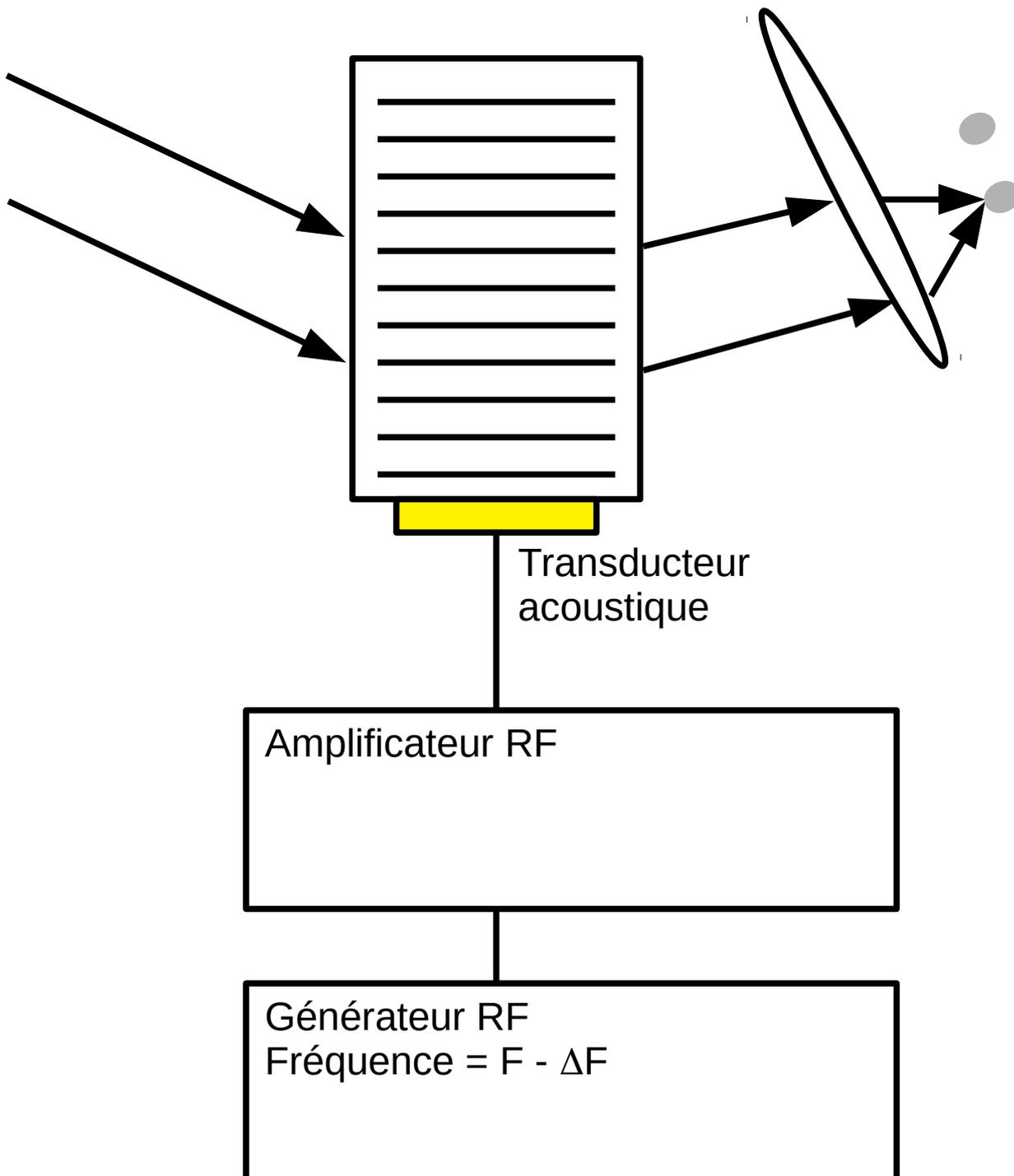


Vocabulaire acousto-optique :

« Résolution » (anglais : « resolution ») :

C'est le nombre maximale de points résolus que l'on peut générer avec le faisceau diffracté avec la fréquence RF compris entre $F - \Delta F$ et $F + \Delta F$.

(2/4)

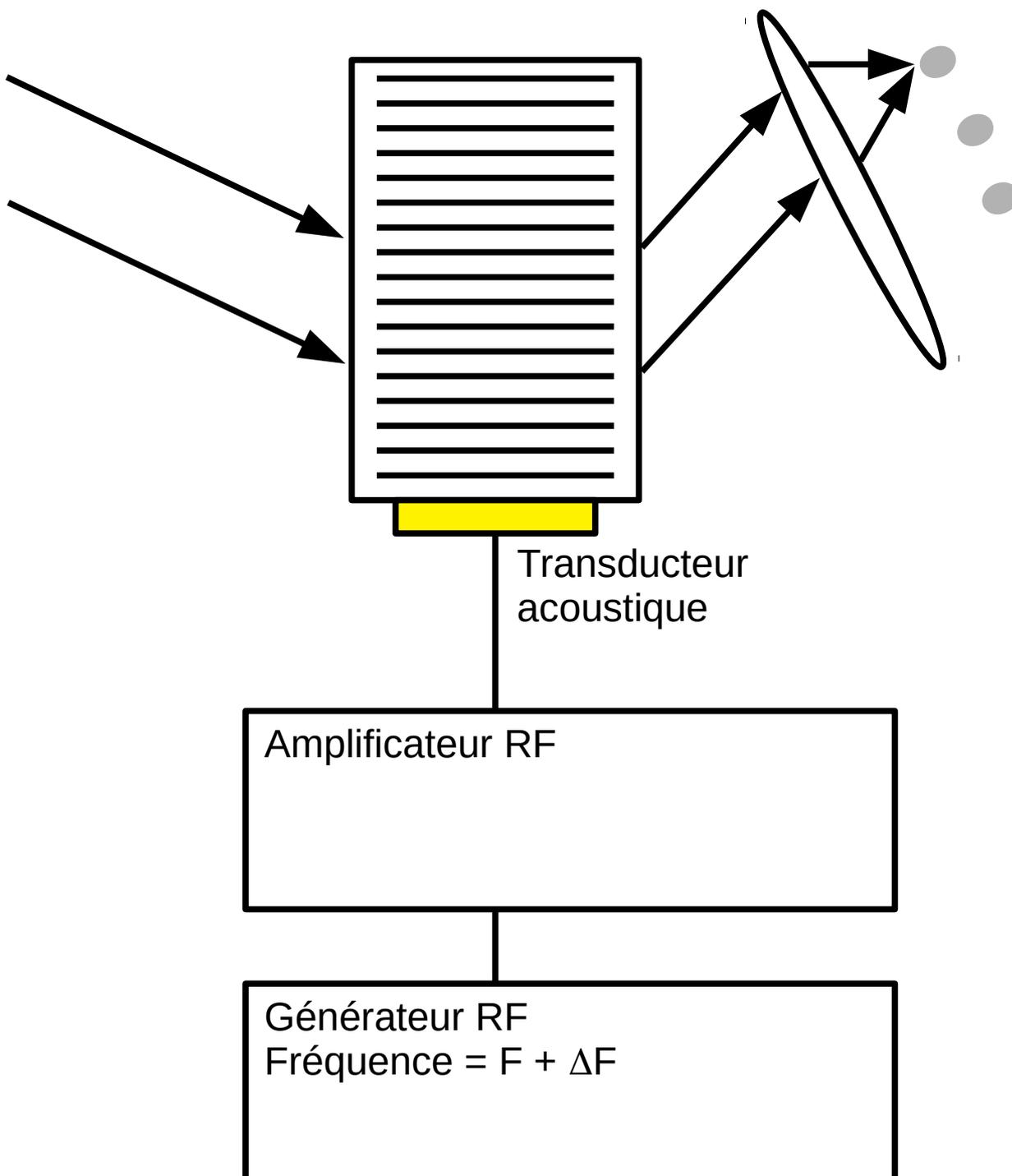


Vocabulaire acousto-optique :

« Résolution » (anglais : « resolution ») :

C'est le nombre maximale de points résolus que l'on peut générer avec le faisceau diffracté avec la fréquence RF compris entre $F - \Delta F$ et $F + \Delta F$.

(3/4)



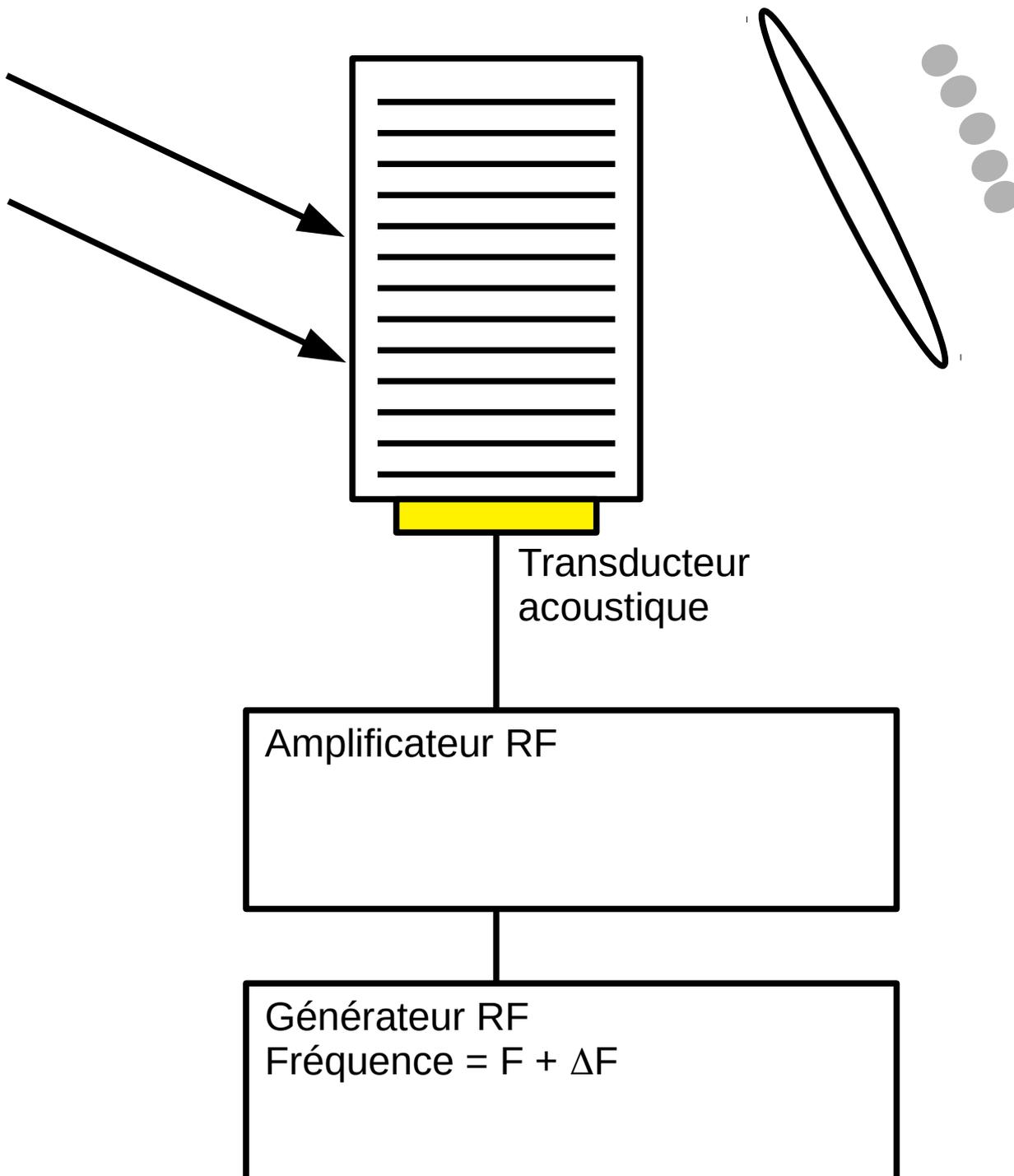
Vocabulaire acousto-optique :

« Résolution » (anglais : « resolution ») :

C'est le nombre maximale de points résolus que l'on peut générer avec le faisceau diffracté avec la fréquence RF compris entre $F - \Delta F$ et $F + \Delta F$.

Sur ce dessin, la résolution $N \sim 5$

(4/4)



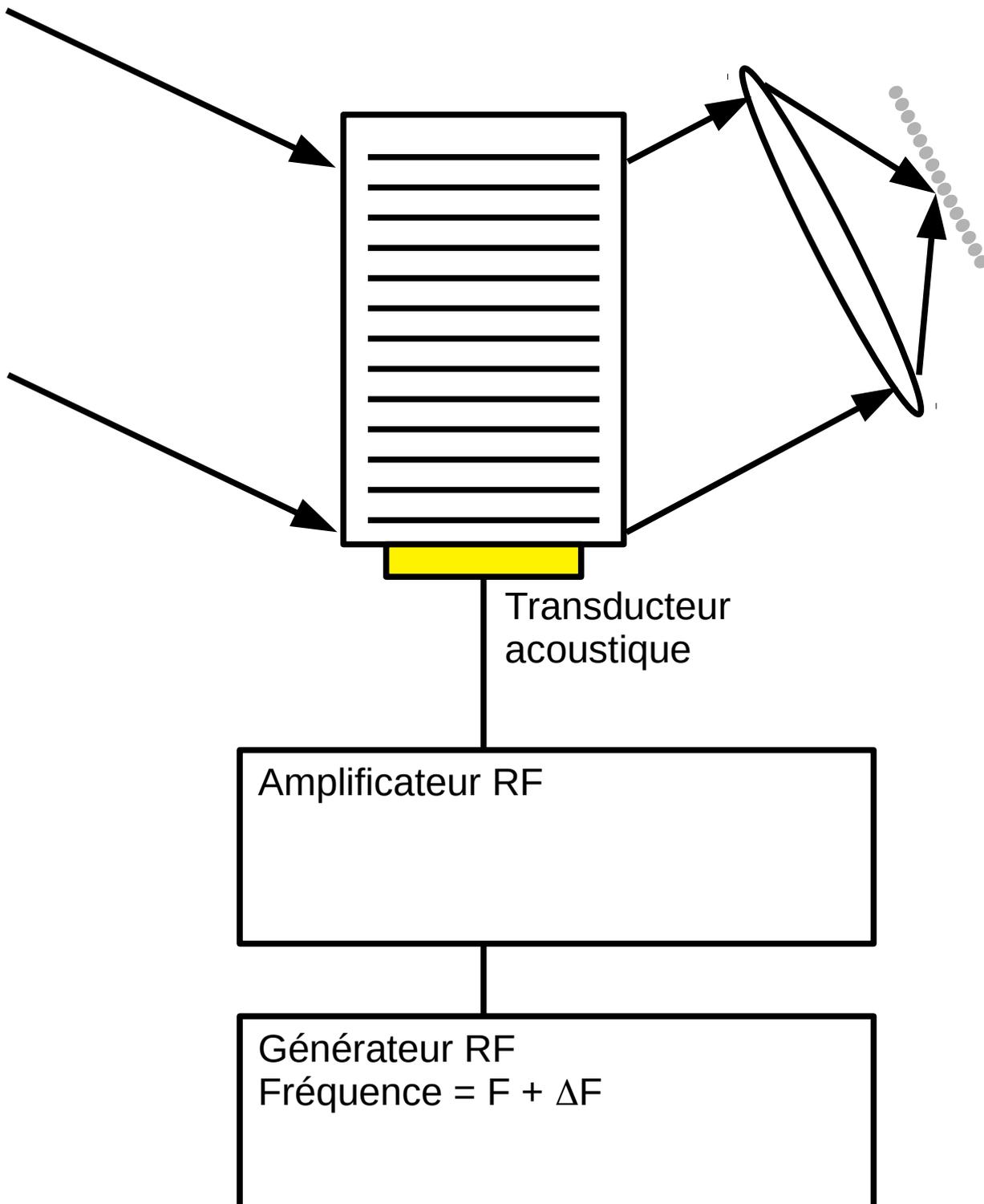
Vocabulaire acousto-optique :

« Résolution » (anglais : « resolution ») :

C'est le nombre maximale de points résolus que l'on peut générer avec le faisceau diffracté avec la fréquence RF compris entre $F - \Delta F$ et $F + \Delta F$.

La résolution est maximisée lorsque le faisceau remplit l'ouverture du dispositif [Souvenez-vous des faisceaux gaussiens – la taille du focus derrière la lentille est inversement proportionnelle au diamètre du faisceau incident sur la lentille!]

Sur ce dessin, la résolution $N \sim 15$



Vocabulaire acousto-optique :

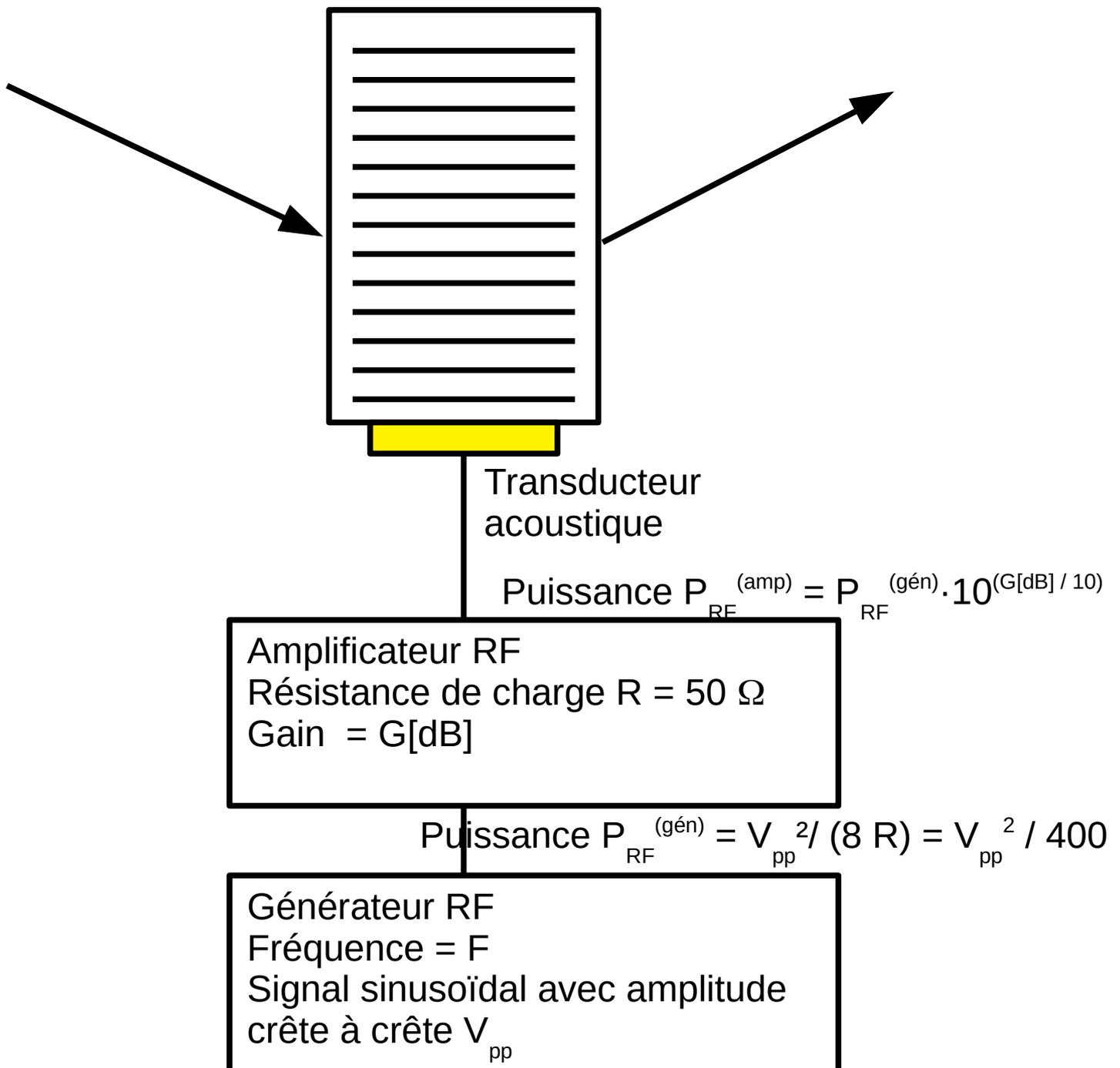
« Puissance RF » (anglais : « RF power ») :

C'est la puissance délivrée par l'amplificateur RF.

On peut parler de la puissance RF soit en sortie du générateur RF $P_{RF}^{(gén)}$; soit en sortie de l'amplificateur RF $P_{RF}^{(amp)}$.

Au niveau du générateur, on génère le signal RF avec l'amplitude crête-crête V_{pp} souhaité. La puissance dépend sur cette amplitude ainsi que la résistance de charge de l'amplificateur R qui est en général 50Ω .

Le gain G de l'amplificateur est en général donné dans sa fiche technique. G peut être fixe, ou réglable.

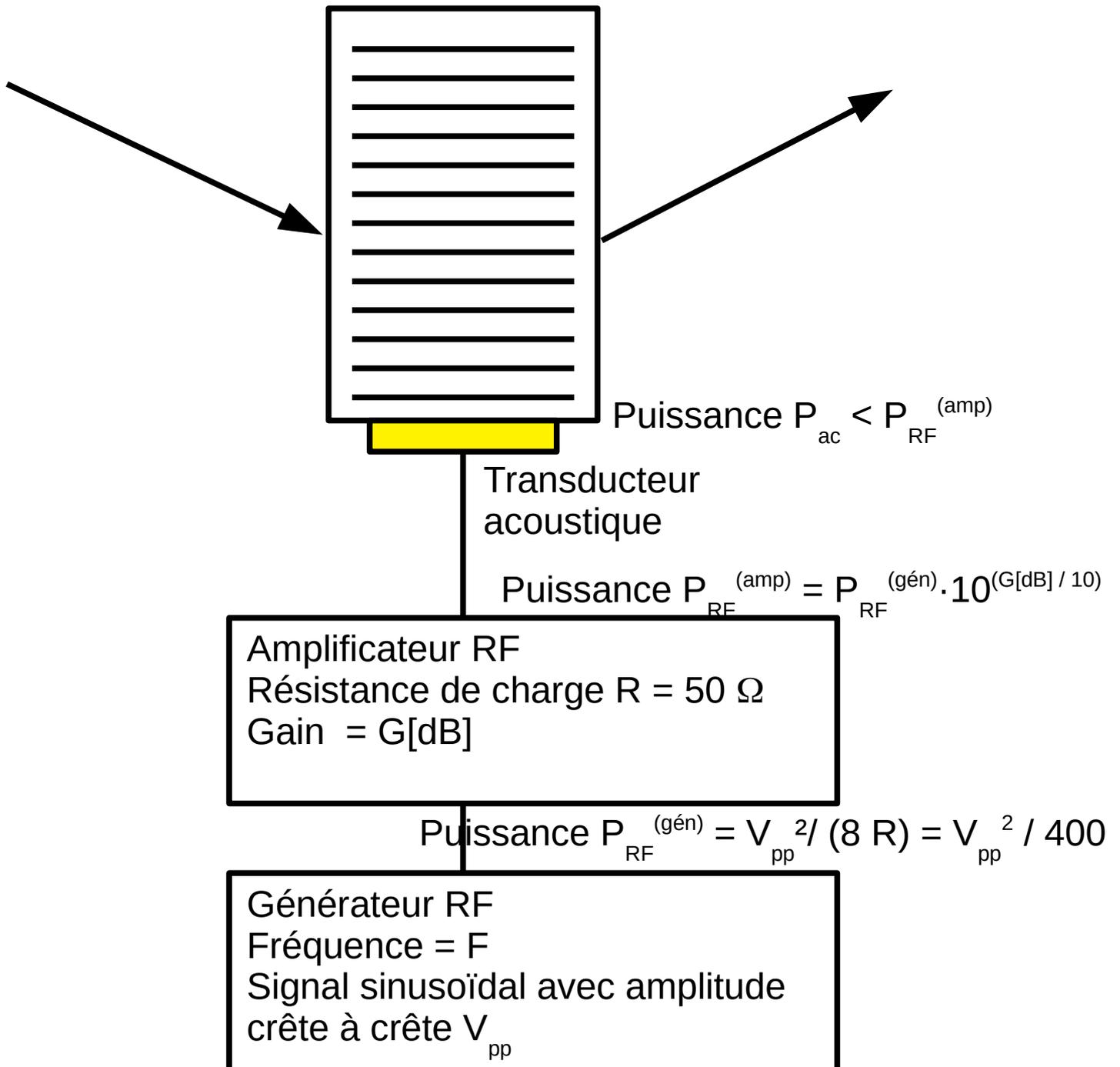


Vocabulaire acousto-optique :

« Puissance acoustique » (anglais : « acoustic power ») :

C'est la puissance P_{ac} délivré par le transducteur.

Puisque ce transducteur est alimenté par un signal RF avec la puissance $P_{RF}^{(amp)}$ la puissance acoustique P_{ac} est forcément $< P_{RF}^{(amp)}$, car le facteur de conversion du transducteur est forcément < 1 .



Principes physiques :

On a déjà pas mal déblayé les principes physiques de l'effet acousto-optique en cours.

Si vous voulez, vous pouvez lire Chapitre 3 du document « Acousto-optic theory ... », mais c'est optionnel ;

Le facteur Q rappelle l'épaisseur critique qu'on a vu en cours. En fait, si L dans l'expression $= e_{\text{crit}}$, alors $Q = 1$. Alors si $Q < 1$ on est dans le régime de Raman-Nath ; si $Q > 1$ on est dans le régime de Bragg...

La partie sur diffraction isotrope vs. Anisotrope est pour les ambitieux, ça sort du curriculum de PAF12.

Principes physiques :

On a déjà pas mal déblayé les principes physiques de l'effet acousto-optique en cours.

Si vous voulez, vous pouvez lire Chapitre 3 du document « Acousto-optic theory ... », mais c'est optionnel ;

Le facteur Q rappelle l'épaisseur critique qu'on a vu en cours. En fait, si L dans l'expression $= e_{\text{crit}}$, alors $Q = 1$. Alors si $Q < 1$ on est dans le régime de Raman-Nath ; si $Q > 1$ on est dans le régime de Bragg...

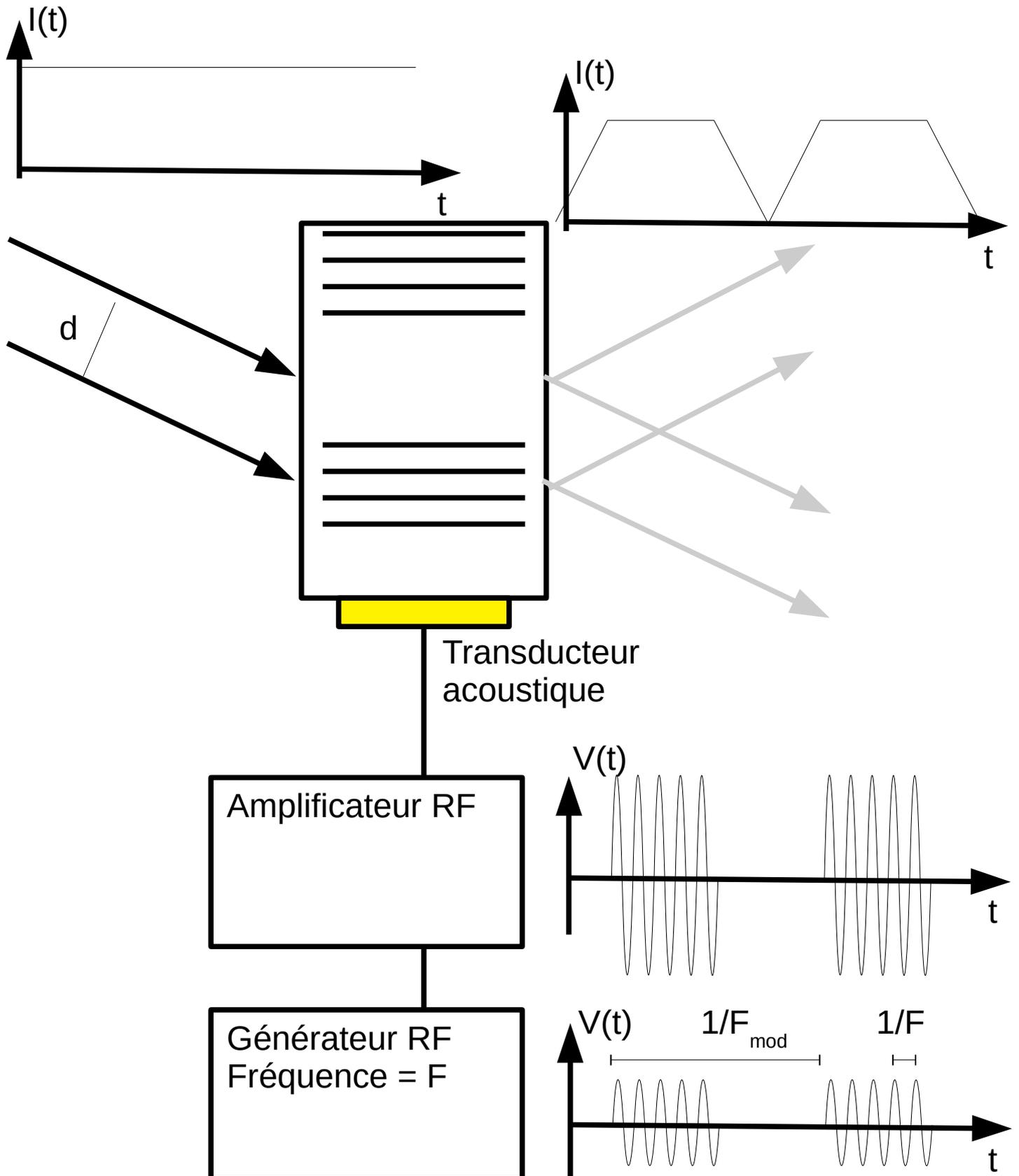
La partie sur diffraction isotrope vs. Anisotrope est pour les ambitieux, ça sort du curriculum de PAF12.

Modulateur acousto-optique :

C'est l'un des dispositifs acousto-optique le plus courant.

Il est toujours utilisé avec une fréquence RF constante ; l'angle de déviation reste donc toujours le même

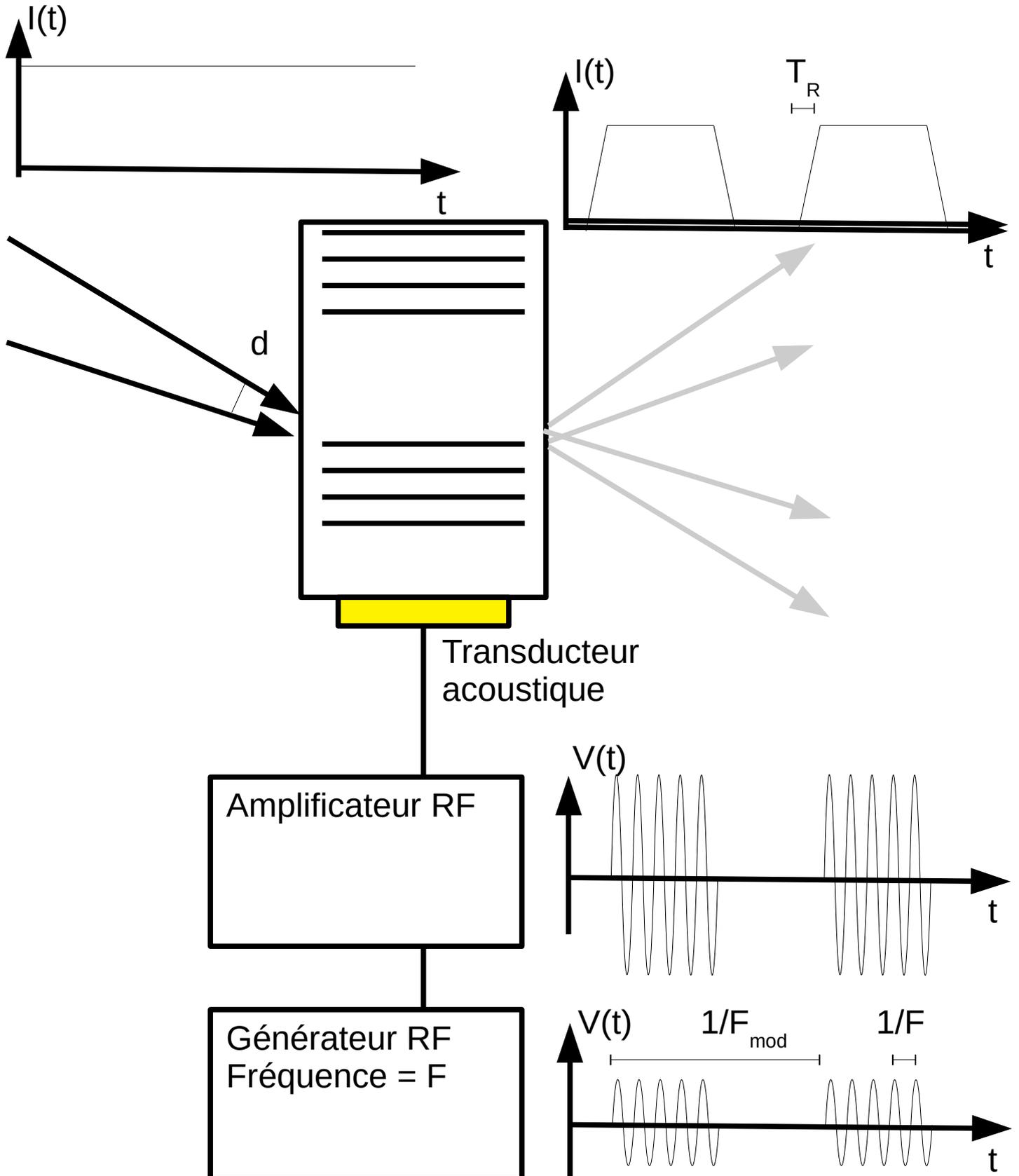
Il sert principalement à moduler l'intensité d'un faisceau à la fréquence F_{mod} :



Modulateur acousto-optique :

Dans leur fiche technique est spécifié leur « temps de montée » T_R .

En général le faisceau est focalisé dans le cristal afin de réduire le temps de montée



C'est tout pour cette semaine, on finira de regarder les différentes déclinaisons de dispositifs acousto-optiques la semaine prochaine :

Modulateur acousto-optique ;

Défecteur acousto-optique ;

Filtre accordable acousto-optique ;

Décaleur de fréquence acousto-optique.

Ok, c'est parti pour la dernière partie, la séance cours TD du 4 mars 2020.

ATTENTION, J'ai corrigé quelques imprécisions sur les diapos 6-10 ci-dessus sur la bande-passant RF et l'angle de déflexion maximale.

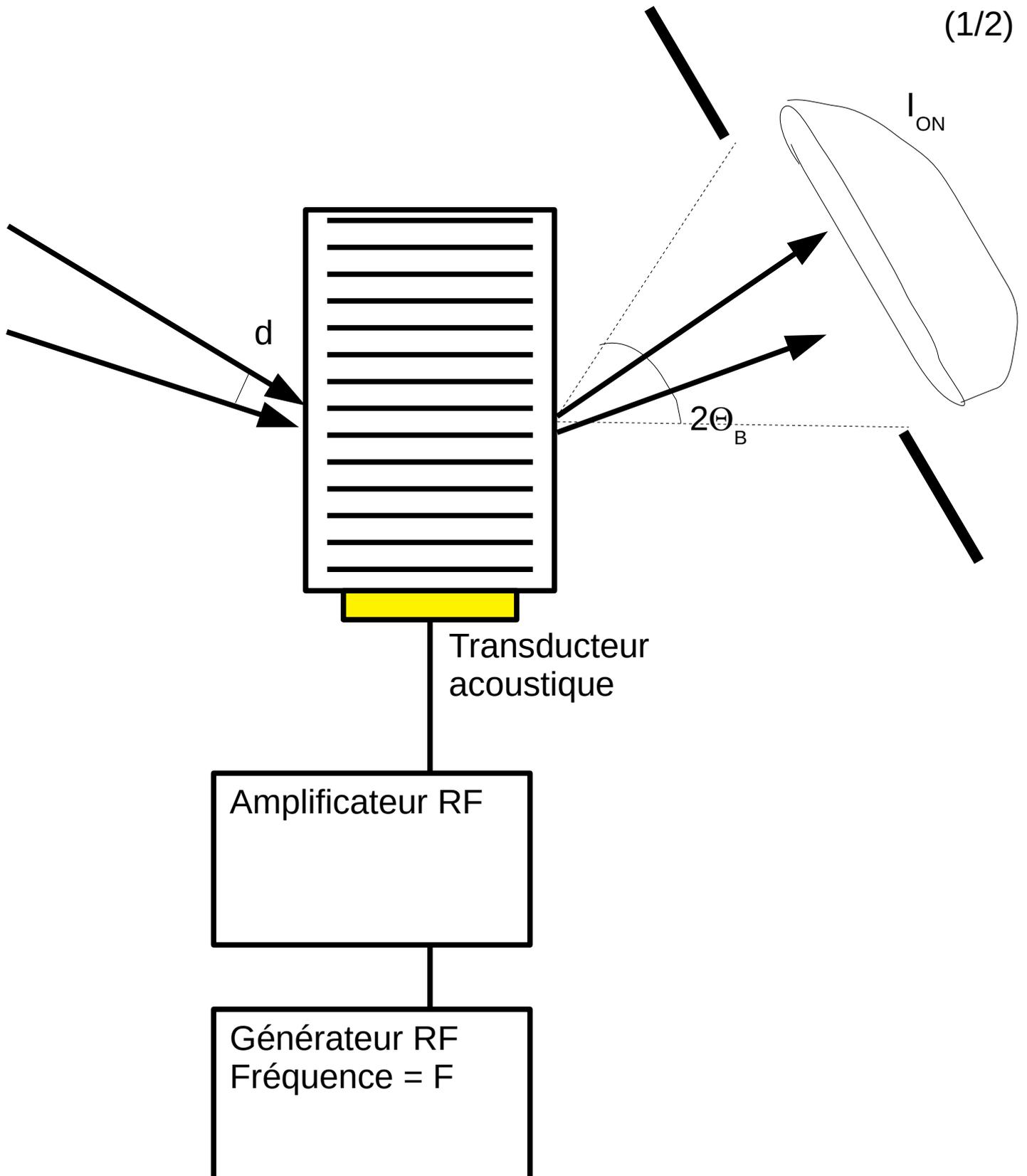
Sur le programme cette fois :

:

- Modulateur acousto-optique ;
- Déflecteur acousto-optique ;
- Filtre accordable acousto-optique ;
- Décaleur de fréquence acousto-optique.

Modulateur acousto-optique :

On utilise parfois le « rapport de contraste » (anglais : « contrast ratio ») CR. Et on peut parler de CR statique ou dynamique. Dans le doc « AO theory » la description est un peu confusing. Suffit de dire que : CR statique = la même chose que le rapport d'extinction défini sur un diapo précédent. C'est à dire le rapport I_{ON} / I_{OFF} mesuré sur une puissancemètre derrière une cache qui isole au mieux l'ordre 1, c'est à dire qui laisse passer les angle diffractés entre 0 et $2\theta_B$.

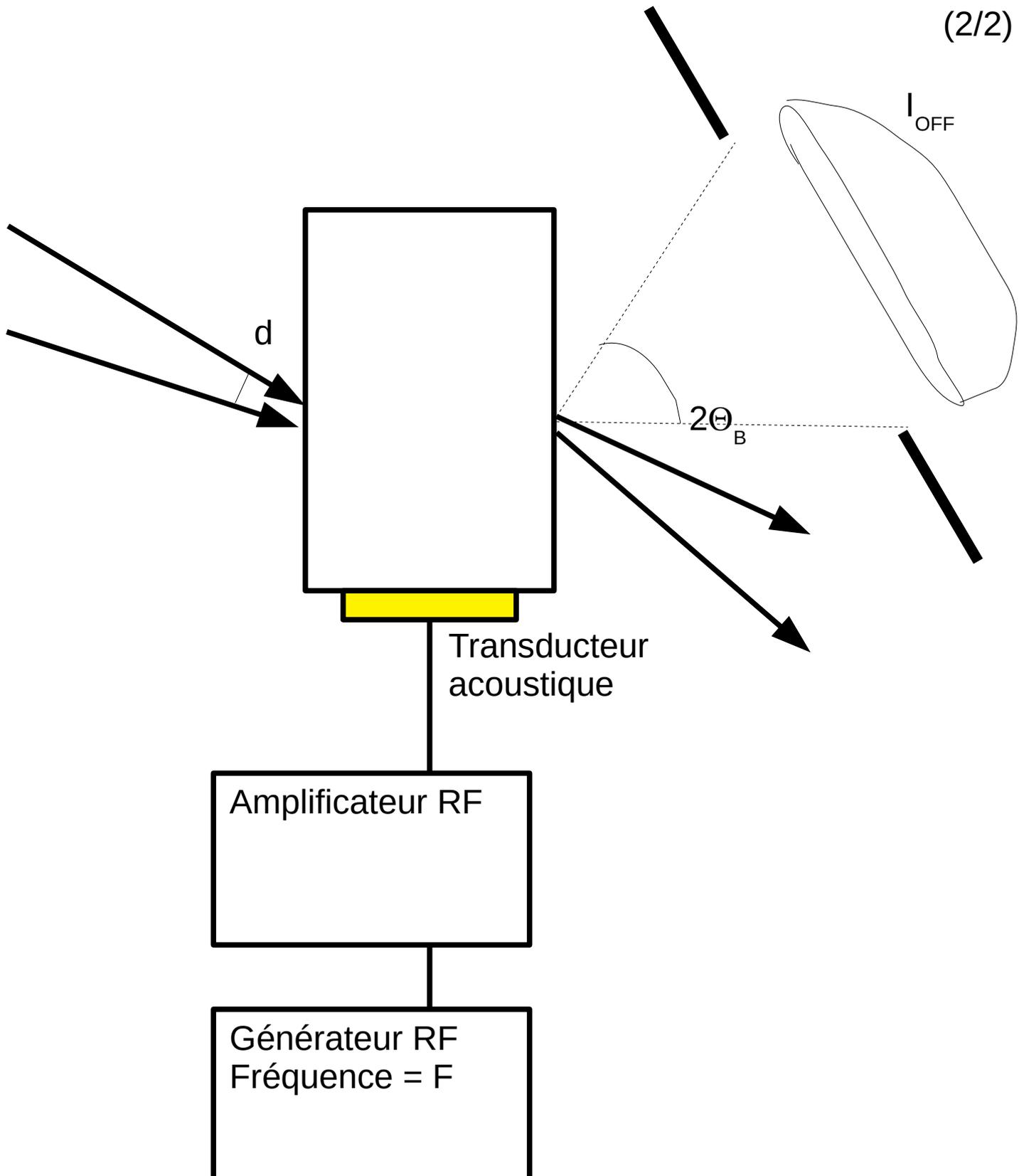


Modulateur acousto-optique :

On utilise parfois le « rapport de contraste » (anglais : « contrast ratio ») CR. Et on peut parler de CR statique ou dynamique. C'est une mesure du pouvoir de séparation entre l'ordre 0 et 1.

Dans le doc « AO theory » la description est un peu confusing. Suffit de dire que :
CR statique = la même chose que le rapport d'extinction défini sur un diapo précédent. C'est à dire le rapport I_{ON} / I_{OFF} mesuré sur une puissancemètre derrière une cache qui isole au mieux l'ordre 1, c'est à dire qui laisse passer les angle diffractés entre 0 et $2\theta_B$.

À noter que le CR statique diminue lorsque le diamètre du faisceau diminue (car divergence augmente inversement avec le diamètre)



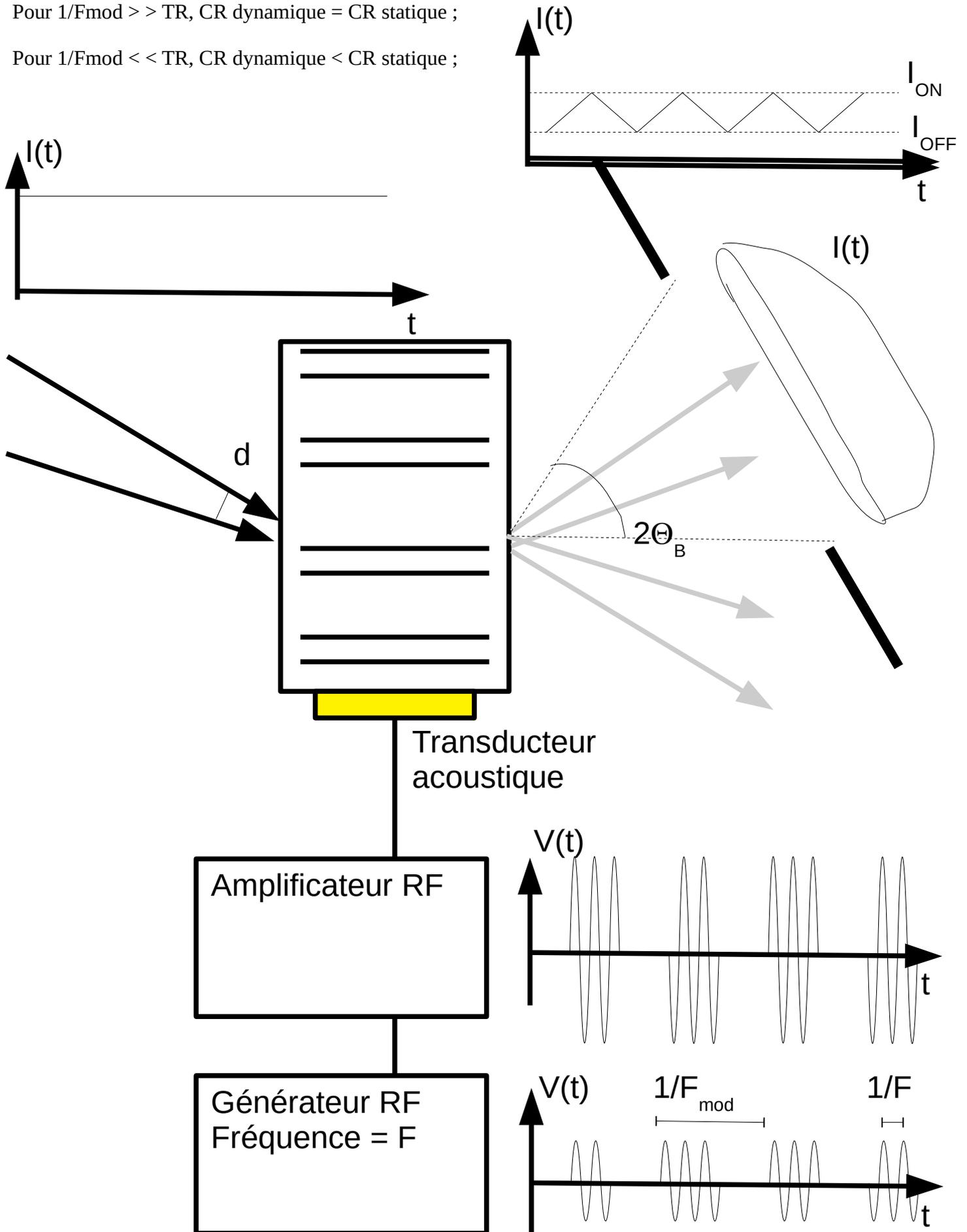
Modulateur acousto-optique :

On peut aussi parler du CR dynamique lorsque le signal RF est modulé.

C'est toujours $CR = I_{ON} / I_{OFF}$ mais I_{ON} et I_{OFF} sont redéfinis comme sur le dessin en-dessous :

Pour $1/F_{mod} \gg TR$, CR dynamique = CR statique ;

Pour $1/F_{mod} \ll TR$, CR dynamique < CR statique ;



Modulateur acousto-optique :

La description mathématique la plus complète du modulateur acousto-optique est le « fonction de transfert de modulation » (anglais : « modulation transfer function ») : $MTF(F_{mod})$.

$MTF(F_{mod})$ est donné en fonction de la fréquence F_{mod} d'une modulation **sinusoïdale** de la fréquence RF.

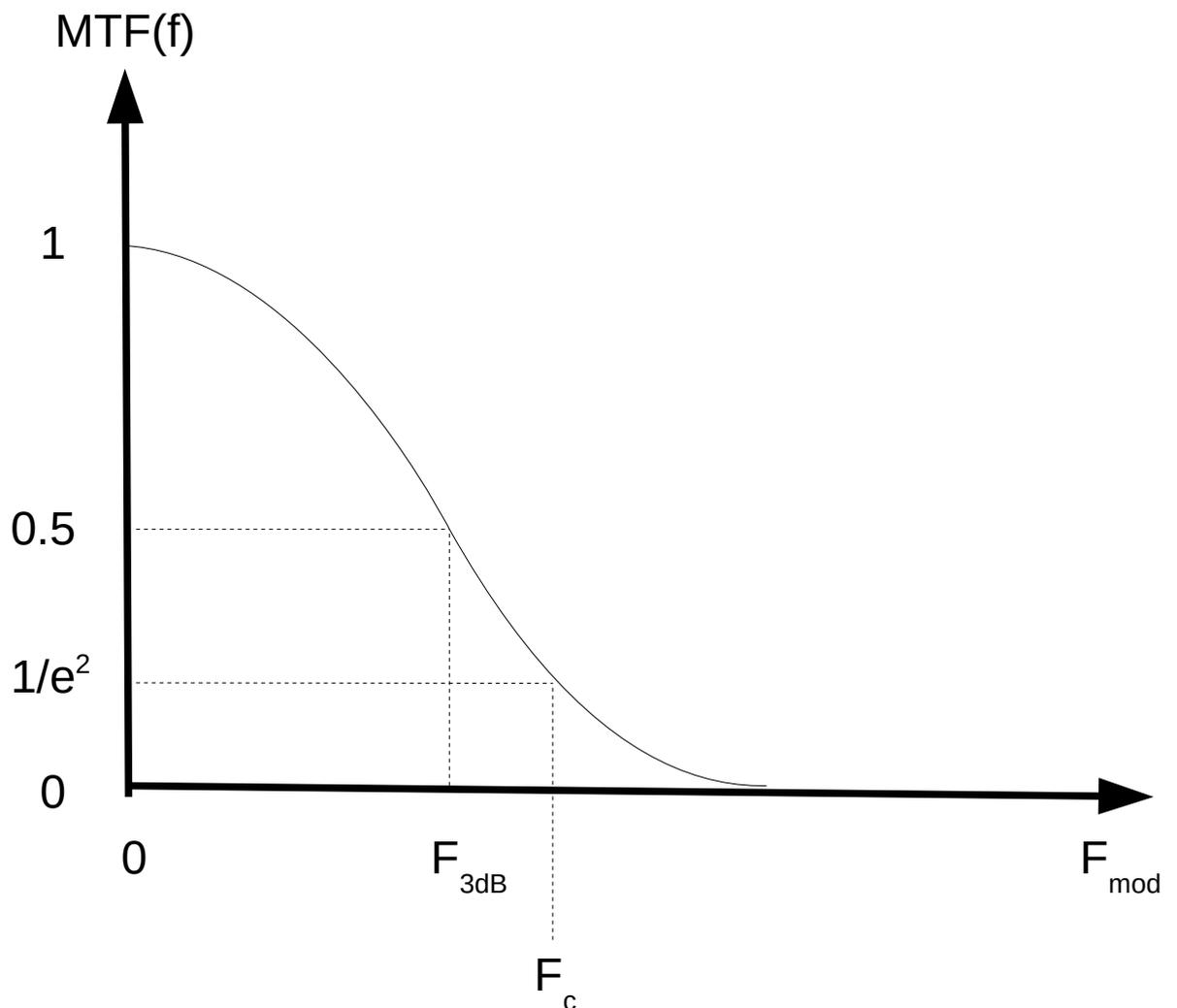
Il peut être mesuré comme :

$$MTF = (I_{ON} - I_{OFF}) / (I_{ON} + I_{OFF})$$

Il peut aussi être calculé comme c'est fait dans le doc « AO theory » (valable pour un faisceau gaussien)

Si on se rappelle les filtres analogiques du cours Traitement du Signal, on peut juste retenir que :

MTF = le module carré du gain complexe du modulateur acousto-optique.



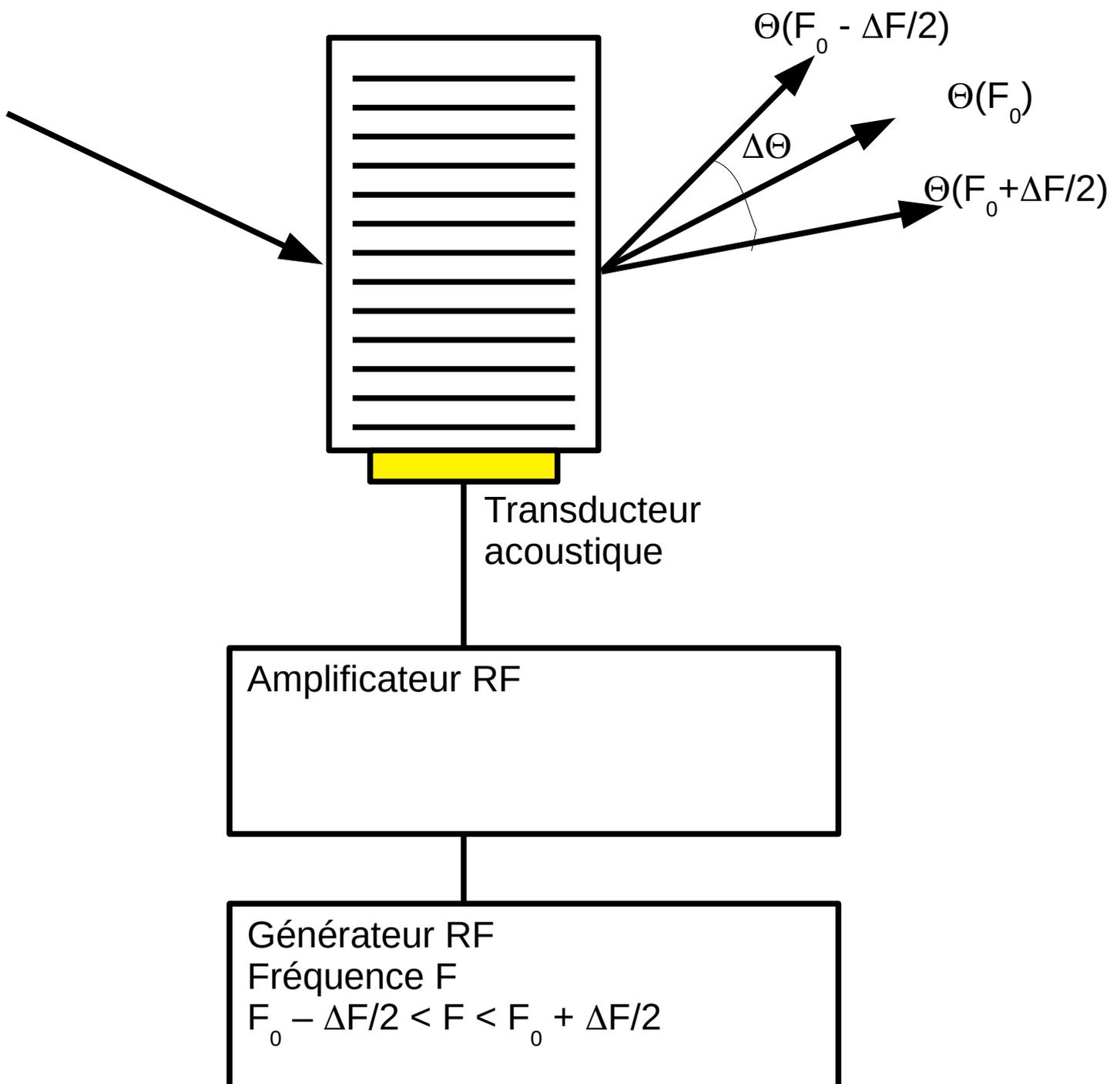
Défecteur acousto-optique :

C'est un autre composant acousto-optique très courant.

Il est utilisé avec une puissance RF constante ;

Et une fréquence RF compris entre $(F_0 - \Delta F/2)$ et $(F_0 + \Delta F/2)$;

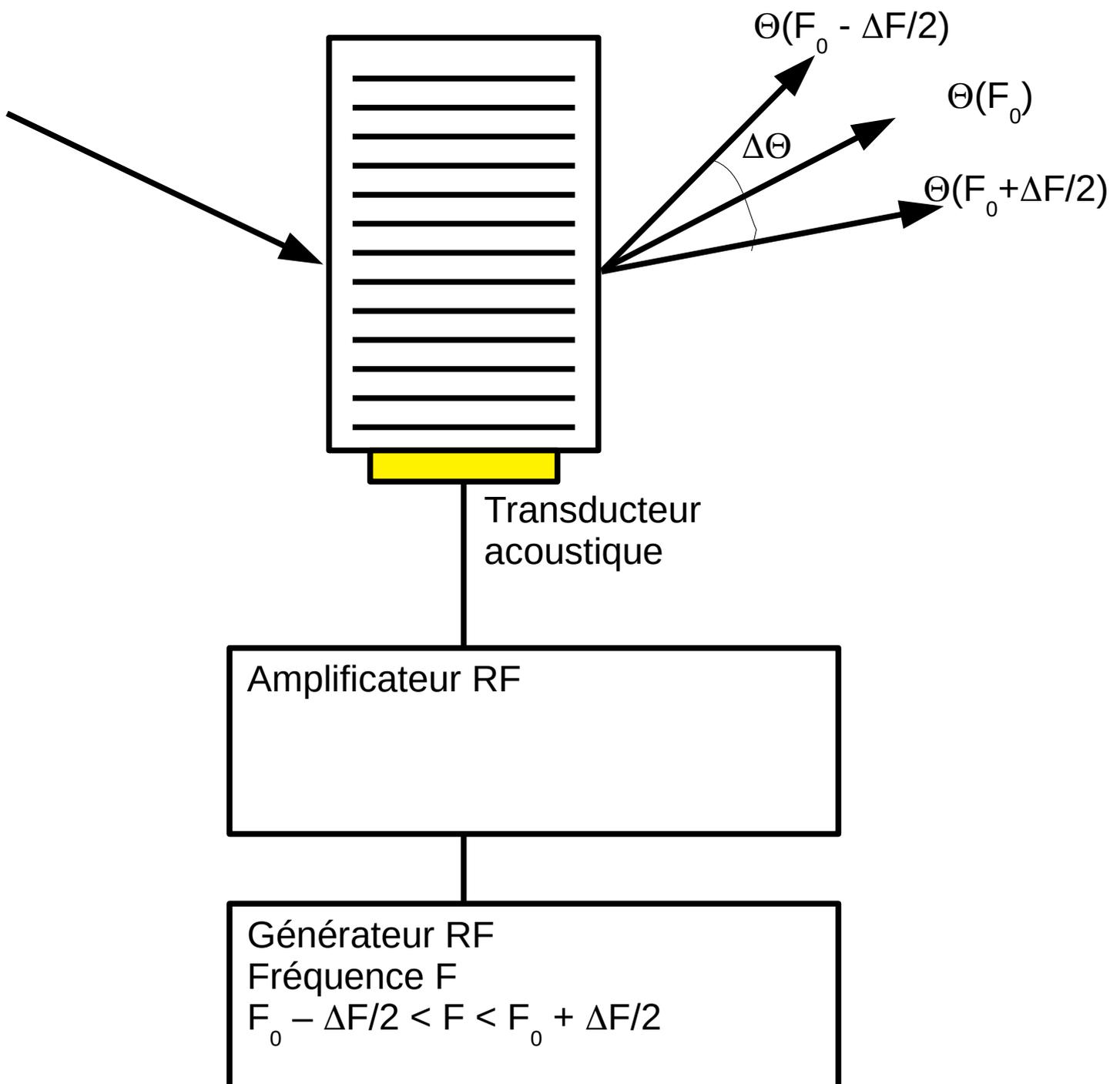
Il est souvent utilisé pour réaliser un balayage angulaire rapide d'un faisceau optique.



Défecteur acousto-optique :

Dans leur fiche technique on peut trouver leur « temps d'accès » (anglais : « access time »). C'est la même chose que le temps de montée qu'on a déjà vu ; c'est le temps que l'onde acoustique met à traverser le faisceau optique.

La différence est uniquement au niveau terminologique : Le faisceau diffracté par un défecteur acousto-optique a toujours (presque) intensité constante. Pas d'intensité qui monte, pas de temps de monté. On parle à la place du temps d'accès, qui donne le temps que l'angle de diffraction met à changer lorsque la fréquence RF est changée abruptement.



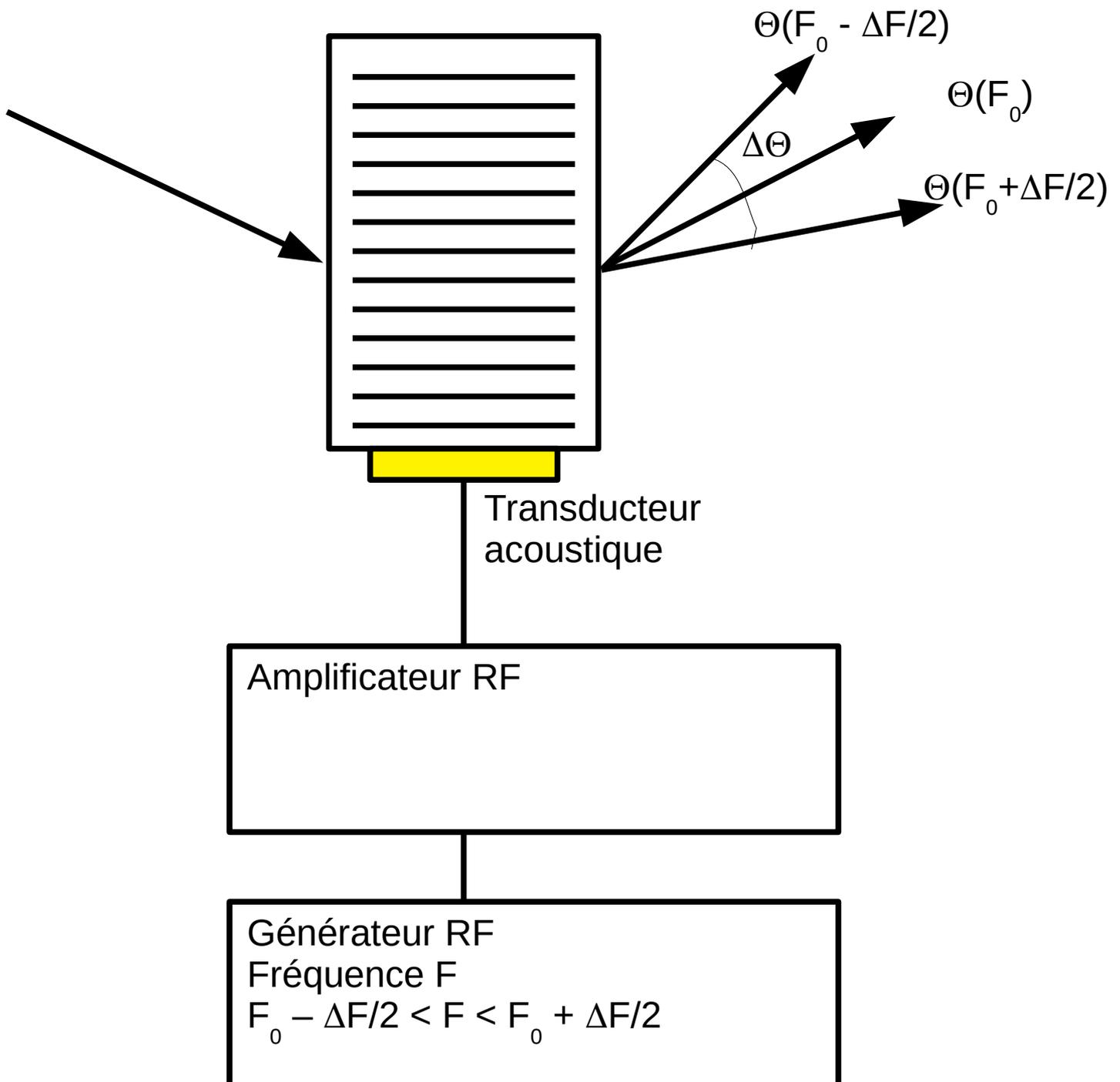
Défecteur acousto-optique :

Dans leur fiche technique on peut également trouver leur « résolution » .

On peut décliner la résolution en « résolution statique » et « résolution dynamique ».

La résolution statique est exactement la résolution qu'on a vu plus haut. D'ailleurs une manière de calculer la résolution N est :

$N = \Delta\Theta / \text{DIV}_0$; ou $\Delta\Theta$ est l'angle de déflexion maximal et DIV_0 la divergence du faisceau optique.



Défecteur acousto-optique :

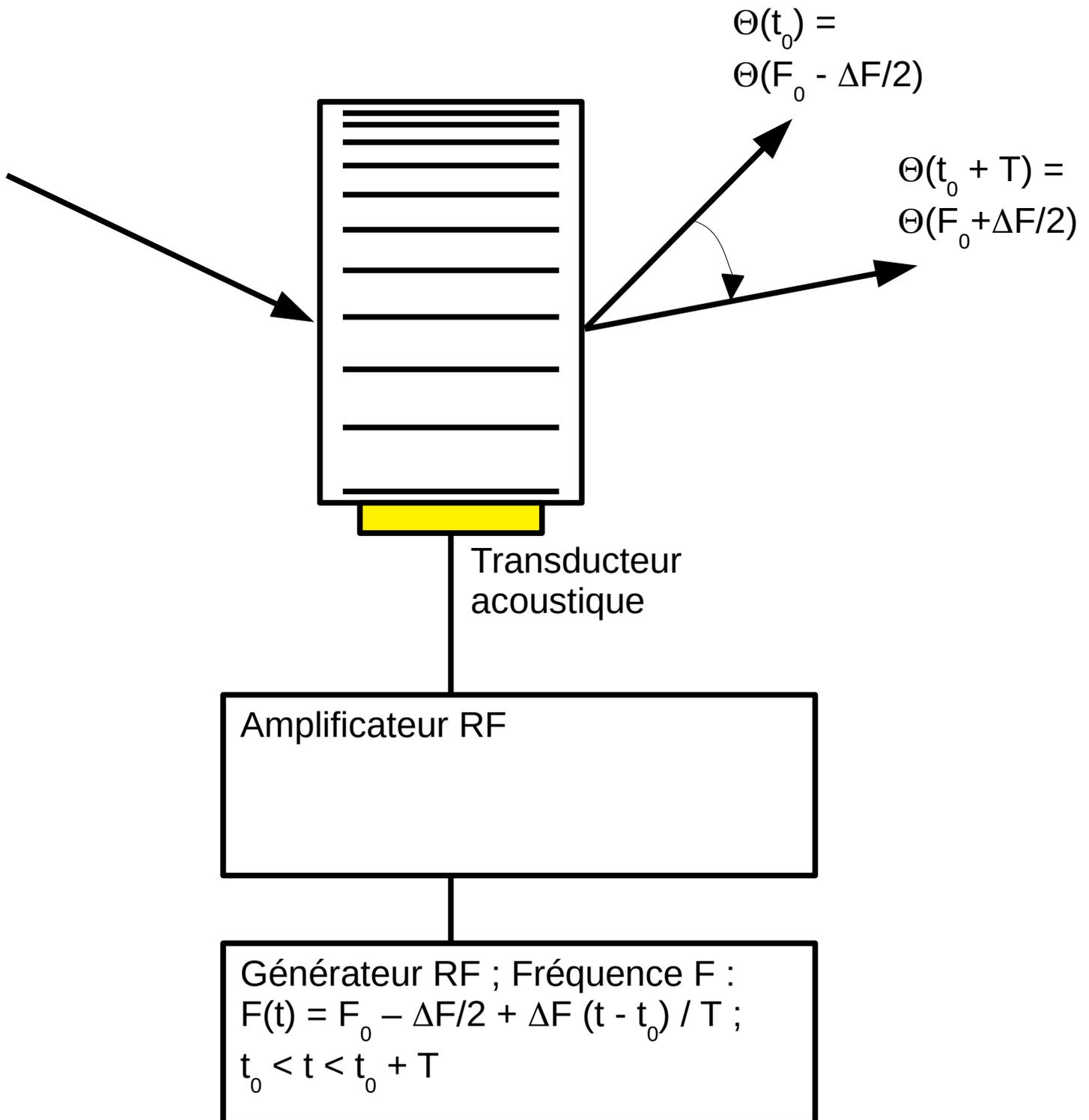
Lorsque la fréquence RF est variée continument entre $F - \Delta F/2$ et $F + \Delta F/2$ en T (le « sweep time ») il faut prendre en compte le temps d'accès du défecteur en calculant la résolution. Dans cette situation où la fréquence RF change linéairement dans le temps, on parle de « résolution dynamique » .

C'est un peu long (vous pouvez regarder dans le doc), mais la résolution dynamique N_d est :

$$N_d = N (1 - T_a / T) + 1$$

Où N : résolution statique ; T_a : temps d'accès ; T : sweep time .

En fait, on peut aussi montrer que la dérive de la fréquence RF est équivalent à mettre une lentille cylindrique dans le faisceau diffracté.



Défecteur acousto-optique :

Efficacité et bande-passante :

On rappelle la notion de bande passante RF ΔF , et l'angle de déflexion maximal $\Delta\Theta$, tous deux définis comme sur un diapo plus précédent.

Les deux sont des caractéristiques importantes du défauteur acousto-optique.

Infos bonus :

On avait considéré les ondes acoustiques longitudinales en cours. C'est en général ce type d'onde acoustique qui est utilisé par les **modulateurs** acousto-optiques. Il se trouve que ça donne un DF assez faible, mais un temps de montée court, car les ondes acoustiques longitudinales ont une vitesse acoustique élevée.

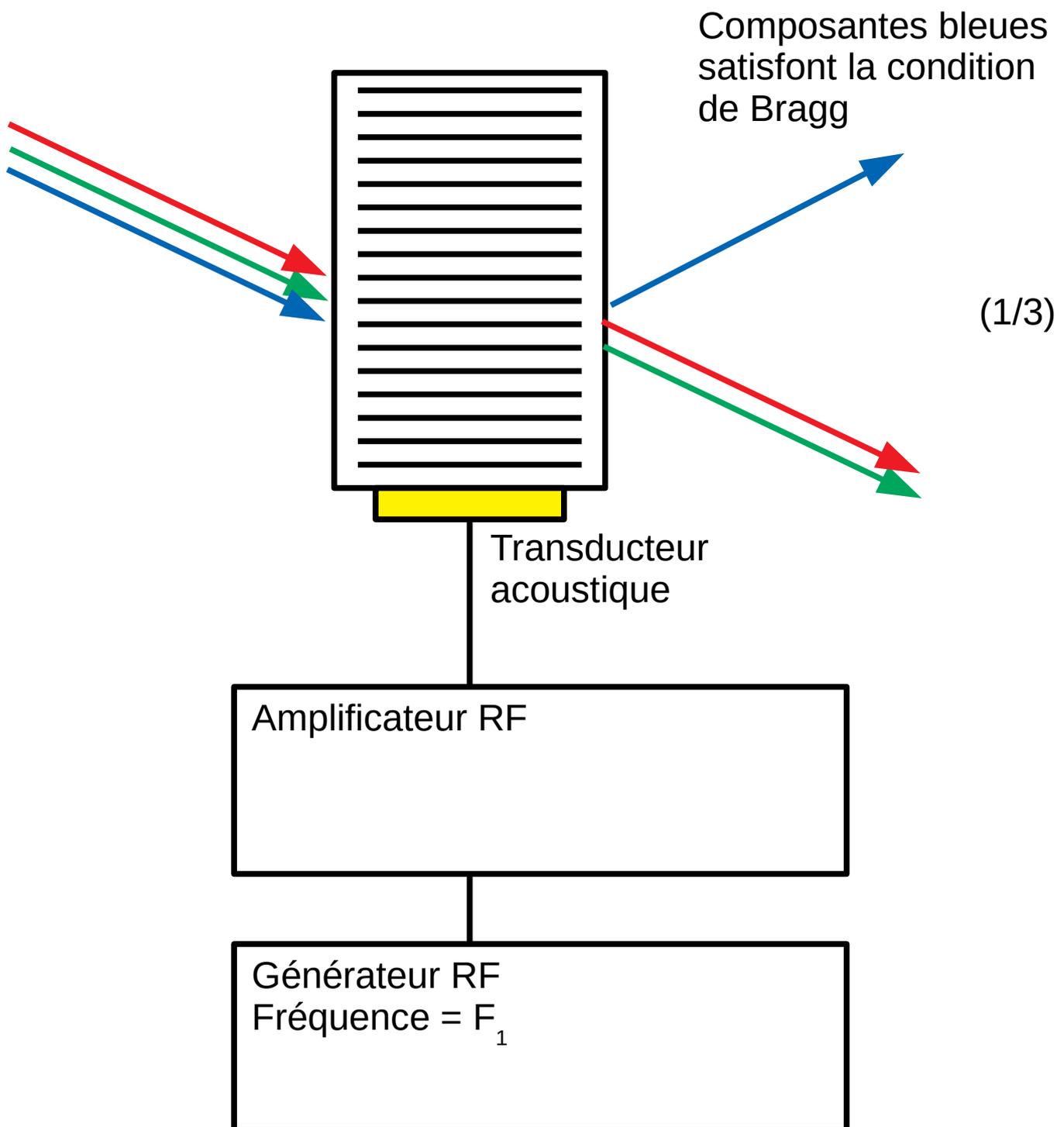
Par contre, les **défecteurs** acousto-optiques marchent en général avec une onde acoustique de cisaillement. Il se trouve que ça donne un ΔF plus élevé, ce qui maximise $\Delta\Theta$ et donc N. Par contre les ondes acoustiques de cisaillement ont des vitesses acoustiques plus faibles, donc ça donne des temps d'accès plus élevés.

Filtre accordable acousto-optique (anglais : AOTF, acousto-optic tunable filter):

Une autre utilisation très répandue de l'effet acousto-optique est comme filtre spectral accordable en longueur d'onde. Ces dispositifs, disponible commercialement, sont les « filtres accordables acousto-optiques ». Ils sont utilisés par exemple dans des microscopes de fluorescence, où ils filtrent le spectre d'une source de lumière blanche, afin d'éclairer l'échantillon uniquement avec les composantes spectrales qui correspondent à une bande d'absorption d'un marqueur fluorescent.

Les AOTF existent en plusieurs variations.

Une simple variation est tout simplement un modulateur acousto-optique où le faisceau optique incident est spectralement large (et non mono-chromatique comme on avait supposé jusqu'à présent) :

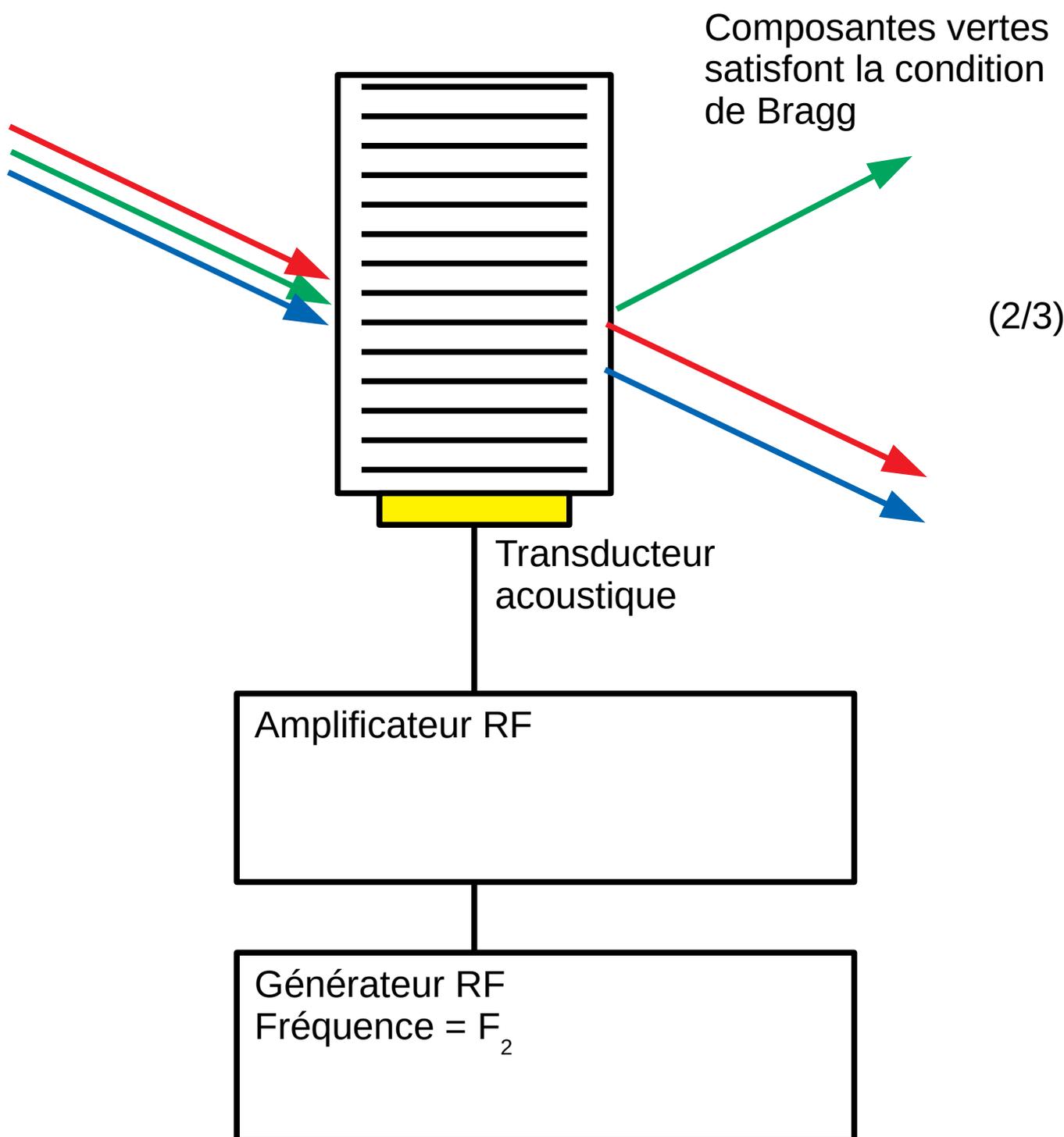


Filtre accordable acousto-optique (anglais : AOTF, acousto-optic tunable filter):

Une autre utilisation très répandue de l'effet acousto-optique est comme filtre spectral accordable en longueur d'onde. Ces dispositifs, disponible commercialement, sont les « filtres accordables acousto-optiques ». Ils sont utilisés par exemple dans des microscopes de fluorescence, où ils filtrent le spectre d'une source de lumière blanche, afin d'éclairer l'échantillon uniquement avec les composantes spectrales qui correspondent à une bande d'absorption d'un marqueur fluorescent.

Les AOTF existent en plusieurs variations.

Une simple variation est tout simplement un modulateur acousto-optique où le faisceau optique incident est spectralement large (et non mono-chromatique comme on avait supposé jusqu'à présent) :

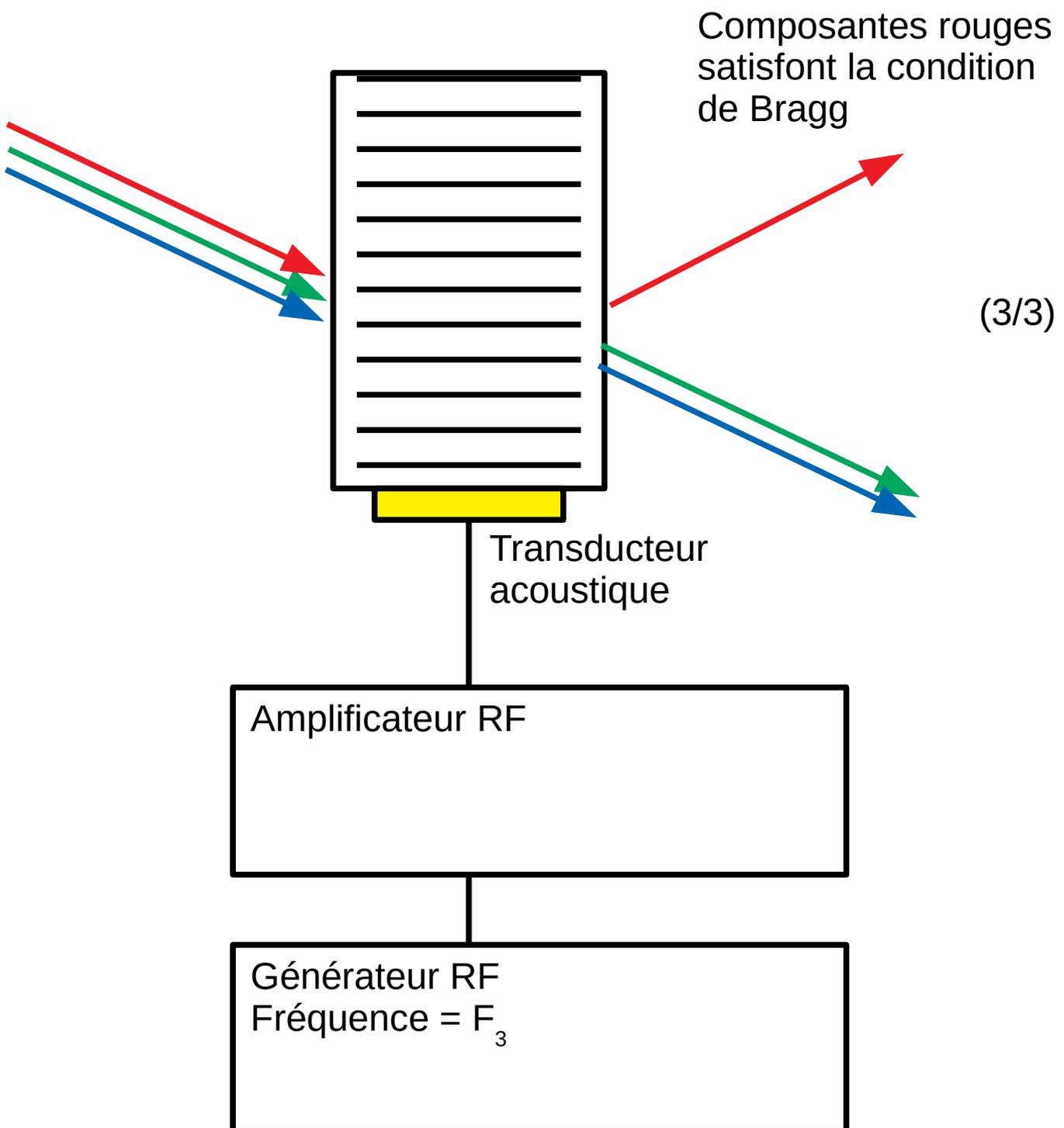


Filtre accordable acousto-optique (anglais : AOTF, acousto-optic tunable filter):

Une autre utilisation très répandue de l'effet acousto-optique est comme filtre spectral accordable en longueur d'onde. Ces dispositifs, disponible commercialement, sont les « filtres accordables acousto-optiques ». Ils sont utilisés par exemple dans des microscopes de fluorescence, où ils filtrent le spectre d'une source de lumière blanche, afin d'éclairer l'échantillon uniquement avec les composantes spectrales qui correspondent à une bande d'absorption d'un marqueur fluorescent.

Les AOTF existent en plusieurs variations.

Une simple variation est tout simplement un modulateur acousto-optique où le faisceau optique incident est spectralement large (et non mono-chromatique comme on avait supposé jusqu'à présent) :

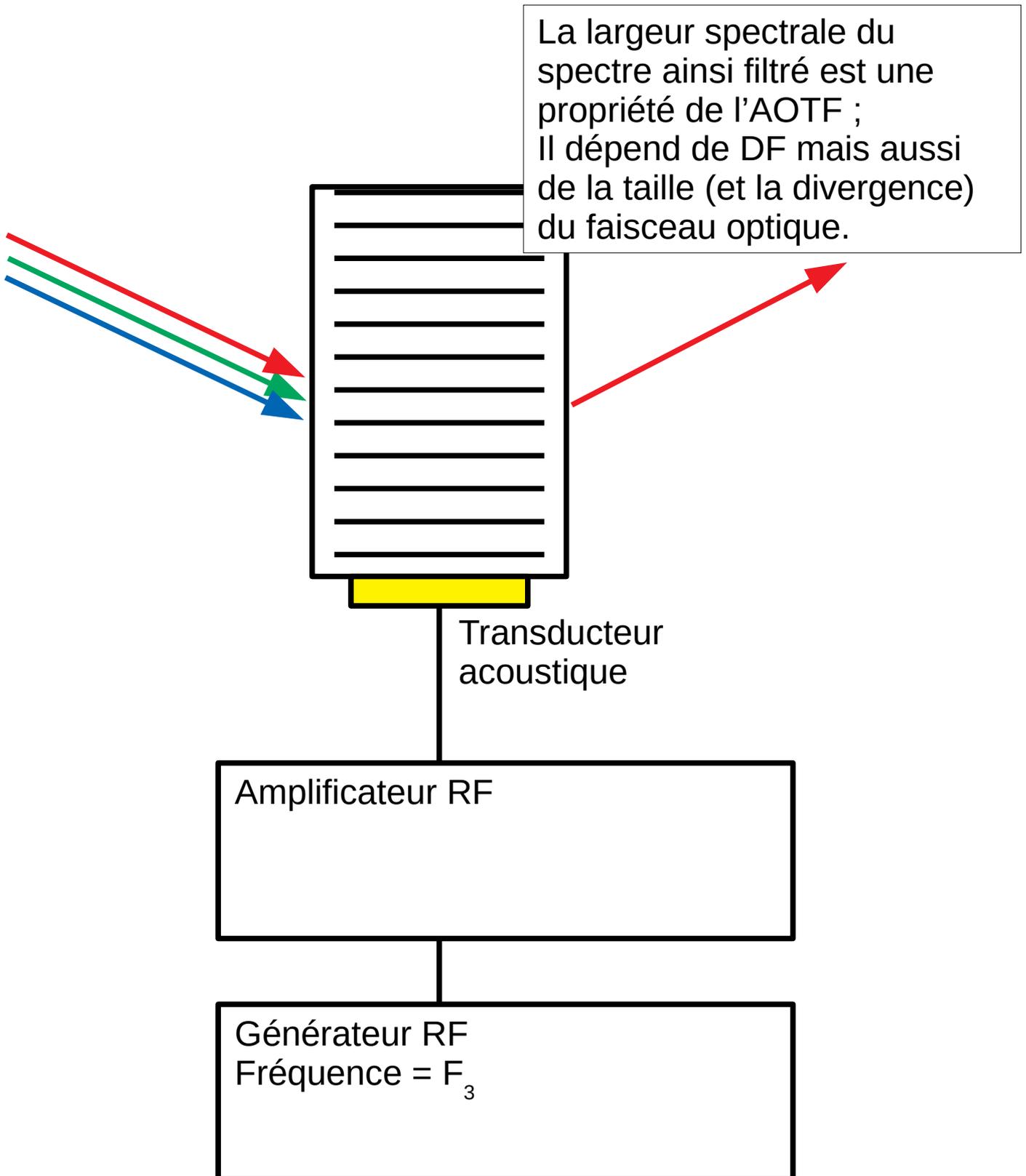


Filtre accordable acousto-optique (anglais : AOTF, acousto-optic tunable filter):

Une autre utilisation très répandue de l'effet acousto-optique est comme filtre spectral accordable en longueur d'onde. Ces dispositifs, disponible commercialement, sont les « filtres accordables acousto-optiques ». Ils sont utilisés par exemple dans des microscopes de fluorescence, où ils filtrent le spectre d'une source de lumière blanche, afin d'éclairer l'échantillon uniquement avec les composantes spectrales qui correspondent à une bande d'absorption d'un marqueur fluorescent.

Les AOTF existent en plusieurs variations.

Une simple variation est tout simplement un modulateur acousto-optique où le faisceau optique incident est spectralement large (et non mono-chromatique comme on avait supposé jusqu'à présent) :



Décaleur de fréquence acousto-optique (anglais : Acousto-optic frequency shifter) :

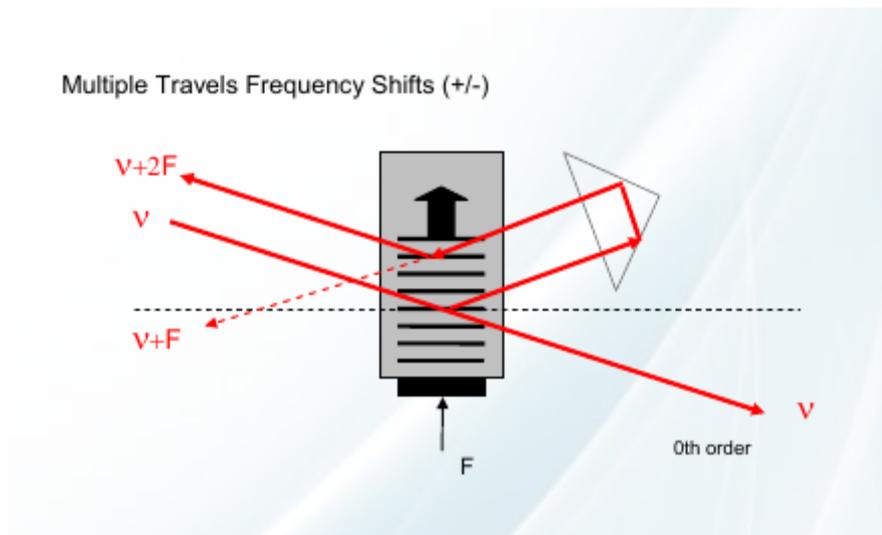
Le dernier exemple de dispositif acousto-optique qu'on va regarder est le décaleur de fréquence.

Rappelons d'abord que la diffraction sur un réseau mobile (tel que celui créé par effet acousto-optique) occasionne une **déflexion** d'un faisceau optique mais aussi simultanément un **décalage de fréquence**.

Le décaleur de fréquence acousto-optique est adapté à ces situations où on veut pouvoir balayer la fréquence optique d'un faisceau mono-chromatique sans que sa direction ne change.

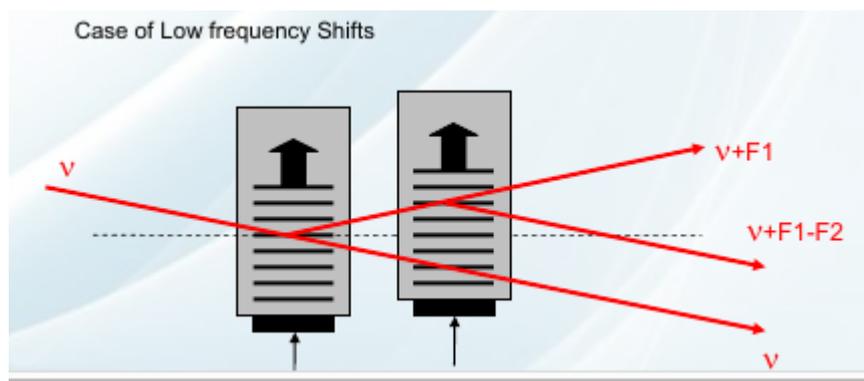
Par rapport au modulateur ou le déflexeur, le décaleur doit donc s'affranchir de la déflexion. En général ça oblige à utiliser une configuration avec deux passages dans le réseau acoustique.

Si on cherche de décalages fréquentiels de l'ordre de la fréquence RF, typiquement 10 MHz – 1GHz, on peut utiliser cette configuration. Le signe du décalage fréquentiel est le même à chaque passage :



Si on cherche des décalages fréquentiels encore inférieurs, < 10 MHz, on peut utiliser cette configuration. Les deux configuration de diffraction sont inverses. Donc au passage dans le premier cristal, le signe du décalage fréquentiel est positif (F_1) ; au passage dans le deuxième, le signe du décalage fréquentiel est négatif ($-F_2$).

Le décalage totale est donc $F_1 - F_2$.



Notons que le décaleur de fréquence est capable de réaliser de très petit décalages (disons 1 MHz) par rapport à la fréquence optique (env. 500 THz) : $1 \text{ MHz} / 500 \text{ THz} = 5 \cdot 10^8$!
C'est utile par exemple en spectroscopie atomique où les raies sont très fines .

Exercice 1 : Mise en œuvre d'un défecteur acousto-optique DTSXY-400

Voir la fiche de spécifications du défecteur DTSXY-400. On souhaite l'utiliser dans un microscope optique à balayage.

- [...]
- Vérifier que la résolution et temps d'accès donnés soient cohérents avec les propriétés du matériau.
- [...]
- Quelle cadence d'images qu'on peut atteindre avec la résolution maximale 500 x 500 ?
- [...]
- Quelle cadence d'images peut-on atteindre si on accepte une réduction de la résolution d'un facteur 2 ?
- [..]

Exercice 1 : Mise en œuvre d'un défecteur acousto-optique DTSXY-400

Voir la fiche de spécifications du défecteur DTSXY-400. On souhaite l'utiliser dans un microscope optique à balayage.

[...]

- Vérifier que la résolution et temps d'accès donnés soient cohérents avec les propriétés du matériau.

On prend l'exemple de la série 400 (ie pas la 250 dont les specs paraissent également dans le doc)

Dans la fiche technique on trouve

Temps d'accès : $T_a = 1.5 \mu\text{s} / \text{mm}$; vu l'unité il est entendu que c'est $T_a / d = 1.5 \mu\text{s} / \text{mm}$ où d est le diamètre du faisceau optique.

Vitesse acoustique pour le TeO₂ [onde acoustique de cisaillement] : $V_{ac} = 650 \text{ m/s}$;

Sur les diapos précédents on a vu que le temps d'accès :

$$T_a = d / v_{ac} \Rightarrow T_a / d = 1 / v_{ac} = 1 / 650 \text{ m/s} = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ s} / \text{m} = 1.5 \mu\text{s} / \text{mm} ; \text{OK}$$

Dans la fiche technique on trouve

Résolution 500×500 ; c'est en deux dimension, sur les diapos précédent on avait vu la résolution en une dimension N . Vu que ce défecteur DTSXY-400 n'est que deux défecteurs collés à 90° , on comprends $N = 500$ pour chaque défecteur.

Scan angle 49 mrad^2 à $\lambda = 1064 \text{ nm}$; donc l'angle de déflexion maximale $\Delta\theta = 49 \text{ mrad}$;

Active aperture $7.5 \times 7.5 \text{ mm}^2$; c'est l'ouverture qui peut accueillir le faisceau, on peut donc travailler avec des faisceaux de diamètre maximal 7.5 mm , soit waist $w_0 = 3.75 \text{ mm}$.

On a vu précédemment que la résolution (statique) :

$$N = \Delta\theta / \text{DIV}_0 ; \text{ où } \text{DIV}_0 \text{ est la divergence du faisceau ;}$$

Selon l'optique gaussienne, la divergence d'un faisceau focalisé avec waist w_0 est :

$$\text{DIV}_0 = \lambda / (\pi w_0) = 1.064 / 3.14 / 3750 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ rad} ;$$

Donc

$$N = \Delta\theta / \text{DIV}_0 = 0.049 / 9 \cdot 10^{-5} = 544 \sim 500 ; \text{OK.}$$

- Quelle cadence d'images qu'on peut atteindre avec la résolution maximale 500×500 ?

Pour balayer $N \times N$ points il faut balayer N lignes contenant N points chacun.

On trouve d'abord le temps minimal qu'il faut pour balayer une seule ligne, le « sweep time » T .

Rappelons la résolution dynamique N_d :

$$N_d = N (1 - T_a / T) + 1 \Rightarrow$$

$$T = T_a / [1 - (N_d - 1) / N] = 7.5 \cdot 1.5 / [1 - (500 - 1) / 500] = 5625 \mu\text{s} ;$$

Le temps pour une image

$$500 \cdot 5625 \mu\text{s} = 2.813 \text{ s}$$

Cadence d'images :

$$1 / 2.813 \text{ s} = 0.36 \text{ Hz.}$$

- Quelle cadence d'images peut-on atteindre si on accepte une réduction de la résolution d'un facteur 2 ?

Comme au-dessus, mais avec $N_d = 250$:

$$T = 22.5 \mu\text{s} ;$$

Le temps pour une image

$$250 \cdot 22.5 \mu\text{s} = 5625 \mu\text{s} ;$$

Cadence d'images :

$$1 / 5625 \mu\text{s} = 178 \text{ Hz.}$$