



SOURCES DE PUISSANCE RF

Jean Lesrel

lesrel@ipno.in2p3.fr

l'Ecole des accélérateurs
Bénodet
Décembre 2011

Deux trois notions avant de commencer

SOURCES DE PUISSANCE RF

Sources = très souvent Amplificateurs ou oscillateurs

Cela comprend le composant lui même mais aussi les alimentations nécessaires a son fonctionnement et souvent son préamplificateur, son système de refroidissement (à air, à eau ou les deux), les pompes à vide, le contrôle-commande, les mesures, les sécurités etc...

Pour travailler sur les sources de puissance il faut être:

électricien, électronicien, électrotechnicien, hydraulicien, vidicien, magnéticien, informaticien, radioprotechnicien, physicien et surtout démerdicien

Deux trois notions avant de commencer

SOURCE DE PUISSANCE RF

Puissance l'unité le Watt mais en on utilise aussi les dBm

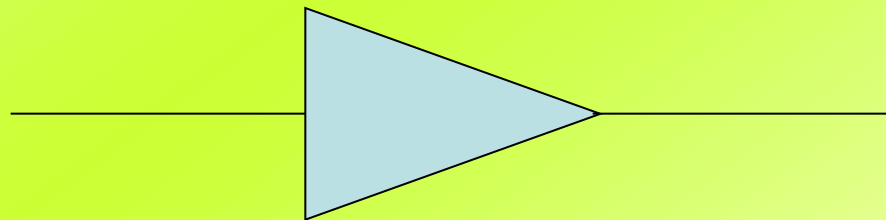
Les électroniciens n'étant pas très doué pour le calcul mental

Ils préfèrent additionner que multiplier

Puissance
d'entrée

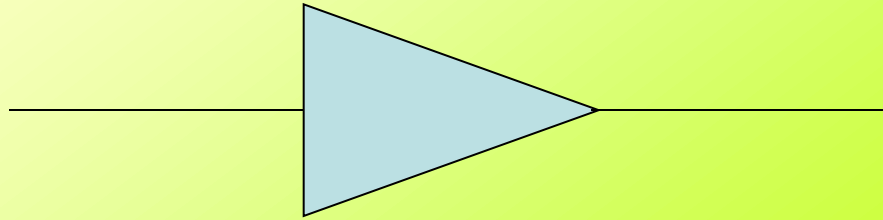
4,3 mW

2,58 W



?

Gain en
puissance = 80



Gain en puissance en dB

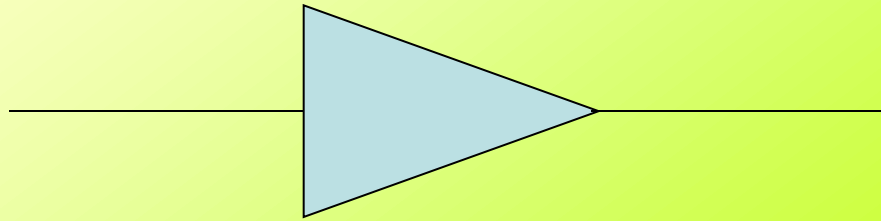
$$\text{Gain (dB)} = 10 \text{ Log}_{10} (\text{P}_{\text{sortie}}/\text{P}_{\text{entré}})$$

Gain en puissance de 10	10dB	
Gain en puissance de 100	20 dB	
Gain en puissance de 2	3 dB	(3,01 dB)
Gain en puissance de 4	6 dB	(6,02 dB)
Gain en puissance de 8	9 dB	(9,031 dB)
Gain en puissance de 80	19 dB	(19,031 dB)

Attention: pour les gains en tension c'est $20 \text{ Log}_{10} (\text{V}_{\text{sortie}}/\text{V}_{\text{entré}})$

$$P = V^2 / R \text{ et que } \text{Log}_{10} (x^2) = 2 \text{ Log} (x)$$

Puissance en
dBm



Gain en puissance en dB

$$\text{Puissance (dBm)} = 10 \text{ Log}_{10} (P \text{ en W} / 1 \text{ mW})$$

1 mW 0 dBm

10 mW 10 dBm

20 mW 13 dBm

100 mW 20 dBm

0,1 mW -10 dBm

1 W 30 dBm

1 μ W -30 dBm

1 nW -60 dBm

2 nW -57 dBm

4,3 mW 6,335 dBm

2,58 W 34,116 dBm

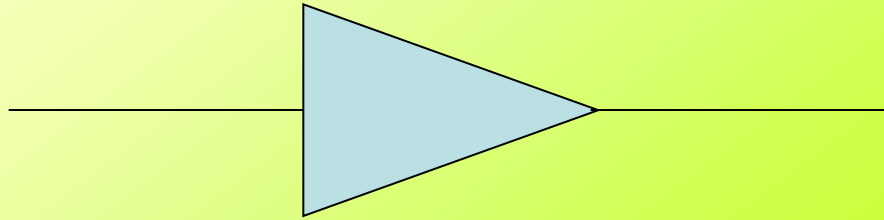
Il existe aussi les dBW mais pas souvent utilisés dans les accélérateurs

$$\text{Puissance (dBW)} = 10 \text{ Log}_{10} (P \text{ en W} / 1 \text{ W})$$

Puissance
d'entrée

4,3 mW

2,63 W



Gain en puissance = 80

?

344 mW

210 W

339 mW

209 W



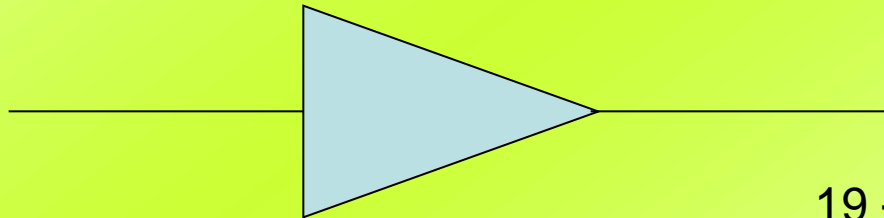
$$P (W) = 10^{(P_{dBm}/10)} \times 1 \text{ mW}$$



Puissance
d'entrée

≈ 6,3 dBm

≈ 34,2 dBm



Gain en puissance = ≈ 19 dB

$$19 + 6,3 = 25,3 \text{ dBm}$$

$$19 + 34,2 = 53,2 \text{ dBm}$$

Notion de continu et Pulsé

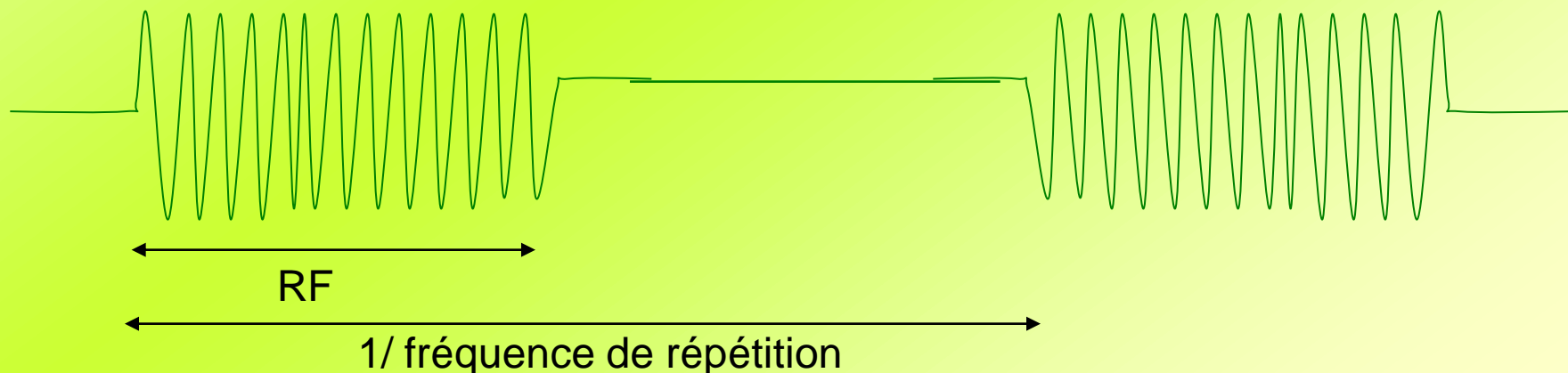
Suivant le type d'accélérateur, les sources de puissance peuvent être continues ou pulsées.

Continu (CW pour Continuous Wave) veut dire que la source délivre tout le temps de la RF.

Puissance moyenne = Puissance crête

Pulsé veut dire que la source délivre pendant un certain temps puis s'arrête et redélivre de la puissance au bout d'un autre temps (rapport cyclique)

Puissance moyenne = Puissance crête x durée RF x fréquence de répétition

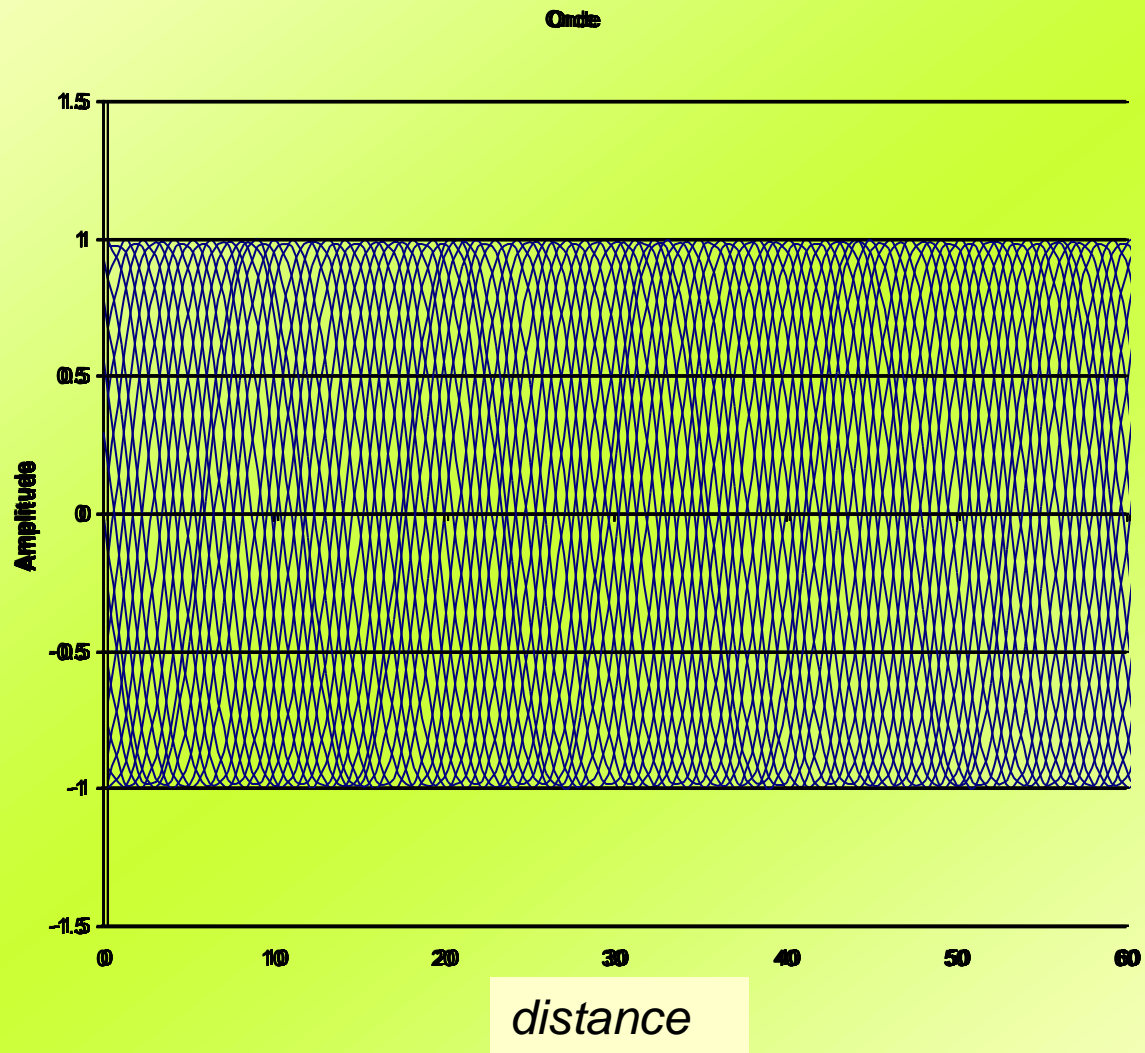


Deux trois notions avant de commencer

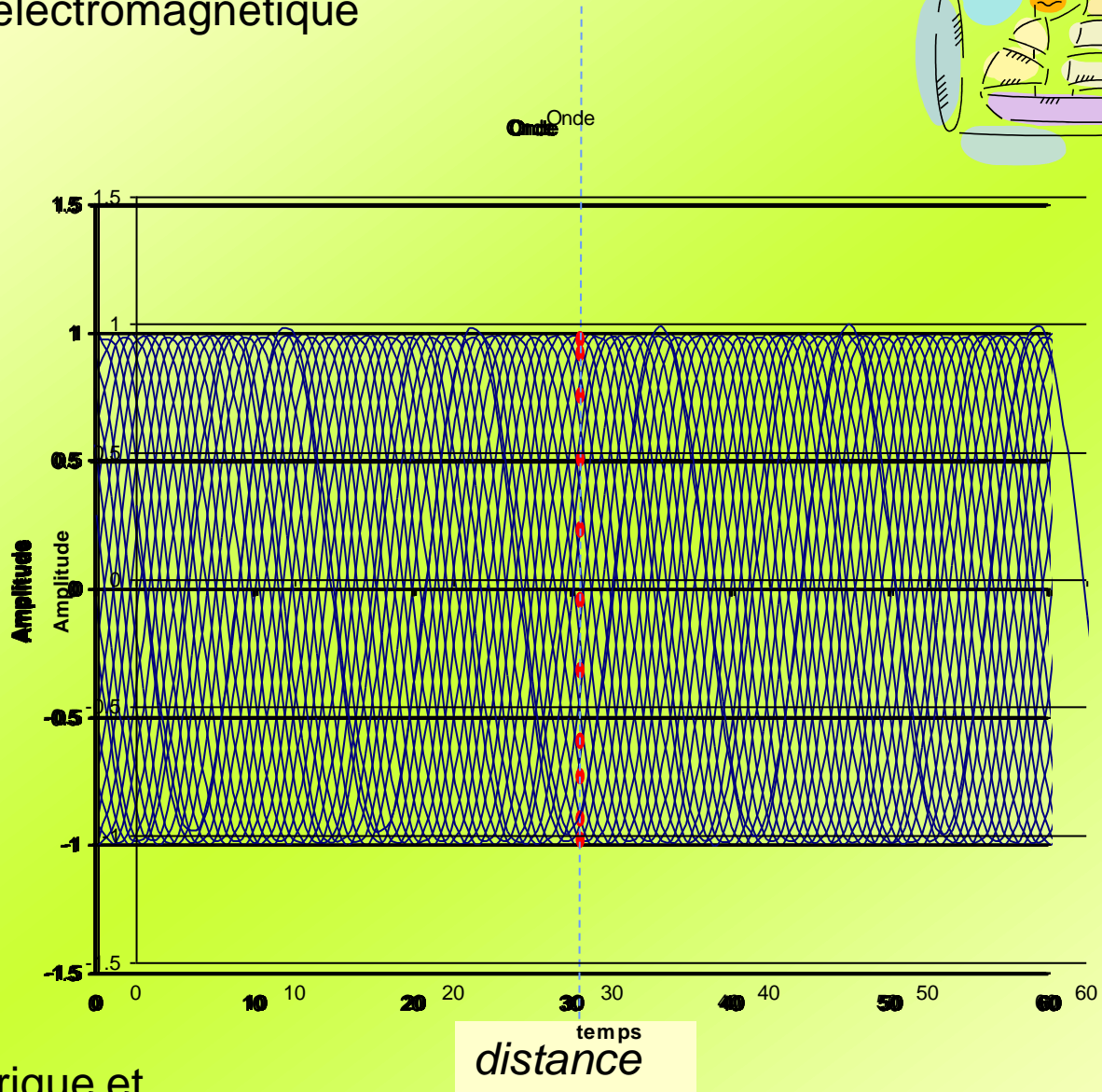
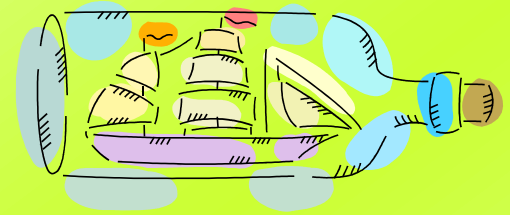
SOURCE DE PUISSANCE RF

Onde électromagnétique

Onde électromagnétique

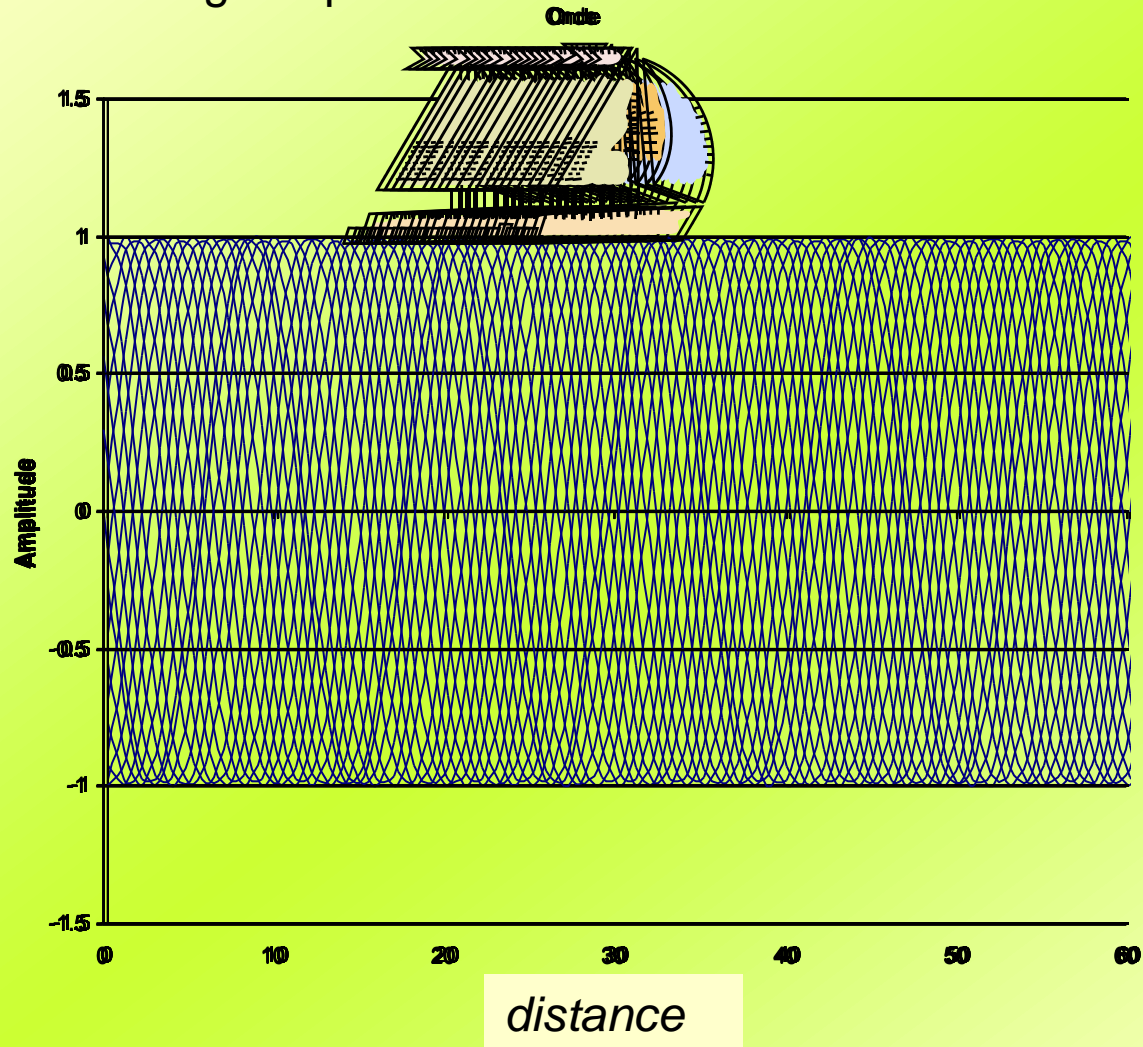


Onde électromagnétique



Champs électrique et
champs magnétique

Onde électromagnétique



L'énergie d'une onde électromagnétique est l'énergie d'un flux de photons ($h \cdot f$)

h constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js) et f la fréquence.

Ce sont les photons qui se déplacent

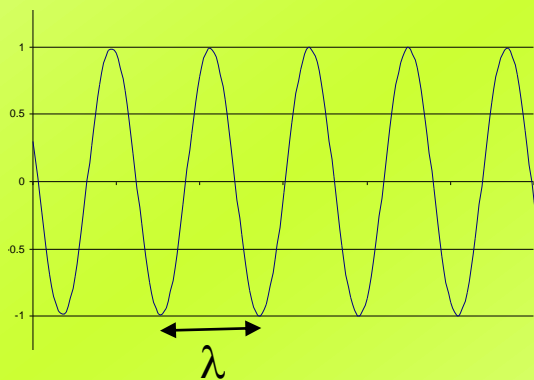
Onde électromagnétique

Pourquoi Sinusoïdale ?

Une onde sinusoïdale se propage dans un milieu homogène sans déformation, l'amplitude baisse (atténuation) la phase varie mais la forme reste la même et la fréquence reste identique (ce sont toujours les mêmes photons qui se déplacent, on en perd mais ils ont toujours la même énergie).

Longueur d'onde

Une onde électromagnétique de fréquence f se déplaçant dans l'espace à la vitesse de la lumière c , la longueur d'onde est définie par $\lambda = c/f$



Remarques : La longueur d'onde d'un signal RF est du même ordre de grandeur que les éléments employés pour le produire. Pas de simplification ni comme en électricité (élément ponctuel) ni comme en optique géométrique (élément grand devant λ) → modèle de Maxwell

Deux trois notions avant de commencer

SOURCE DE PUISSANCE RF

RF = Radio Frequency, Radio Fréquence, HF comme Haute Fréquence mais aussi Hyperfréquence

Vocabulaire pas très clair car chaque domaine d'utilisation utilise son propre vocabulaire.

Essayons d'y voir plus claire

Ondes VLF (Very Low Frequency)

3 kHz à 30 kHz

Radiocommunications sous-maritimes militaires, systèmes de radionavigation, émetteurs de signaux horaires

Ondes LF (Low Frequency)

30 kHz à 300 kHz

Ondes électromagnétiques naturelles des orages terrestres, radiocommunications maritimes et sous-maritimes, transmissions par courant porteur, radiodiffusion en OL, émetteurs de signaux horaires, systèmes de radionavigation

Ondes MF (Medium Frequency)

300 kHz à 3 MHz

Systèmes de radionavigation, radiodiffusion en OM, radiocommunications maritimes et aéronautiques, radioamateurs, signaux horaires

Ondes HF (High Frequency)

3 MHz à 30 MHz

Radiodiffusion internationale, radioamateurs, radiocommunications maritimes et aéronautiques, radiocommunications militaires et d'ambassades, transmissions gouvernementales, signaux horaires, CB en 27 MHz **CYCLOTRON**

Ondes VHF ([Very High Frequency](#))

30 MHz à 300 MHz

Radiodiffusion et télédiffusion, radiocommunications professionnelles, transmissions militaires, liaisons des secours publics, radionavigation et radiocommunications aéronautiques, radioamateurs, satellites météo **CYCLOTRON, LINAC, SYNCHROTRON**

Ondes UHF ([Ultra High Frequency](#))

300 MHz à 3 GHz

Télédiffusion, radiodiffusion numérique, radioamateurs, radiocommunications professionnelles, transmissions militaires y compris aéronautiques, liaisons gouvernementales, liaisons satellites, FH terrestres, radiolocalisation et radionavigation, services de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), usages spatiaux, satellites météo, téléphonie, Global System for Mobile Communications ou GSM (historiquement Groupe Spécial Mobile) et Universal Mobile Telecommunications System (*UMTS*), liaisons WI-FI et Bluetooth, systèmes radar **LINAC, SYNCHROTRON, ECR**

Ondes SHF ([Super High Frequency](#))

3 GHz à 30 GHz

FH terrestres et par satellite, systèmes radar, liaisons et FH militaires divers, [radioastronomie](#) et usages spatiaux, radiodiffusion et télédiffusion par satellite, liaisons [Wi-Fi](#), [fours à micro-ondes](#) **LINAC ECR**

Ondes EHF ([Extremely High Frequency](#))

30 GHz à 300 GHz

FH terrestres et par satellite, recherches spatiales, [radioastronomie](#), satellites divers, liaisons et FH militaires, radioamateurs, systèmes radar **ECR**

Les **Bandes de fréquences de la télévision terrestre** sont situées dans la **bande** de radiofréquence comprise entre 30 et 3000 MHz regroupant les très hautes fréquences (VHF) et ultra hautes fréquences (UHF).

Bande I
de 47 à 68 MHz

Bande II
de 87,5 à 108 MHz.

Cette bande est utilisée pour la diffusion de la radio en modulation de fréquence (appelée couramment « bande FM »).

Bande III
de 174 à 230 MHz (174 à 223 MHz en France).
Cette bande est utilisée pour la diffusion de la télévision

Bande IV
de 470 à 606 MHz,
utilisées pour la diffusion de la télévision analogique et digitale

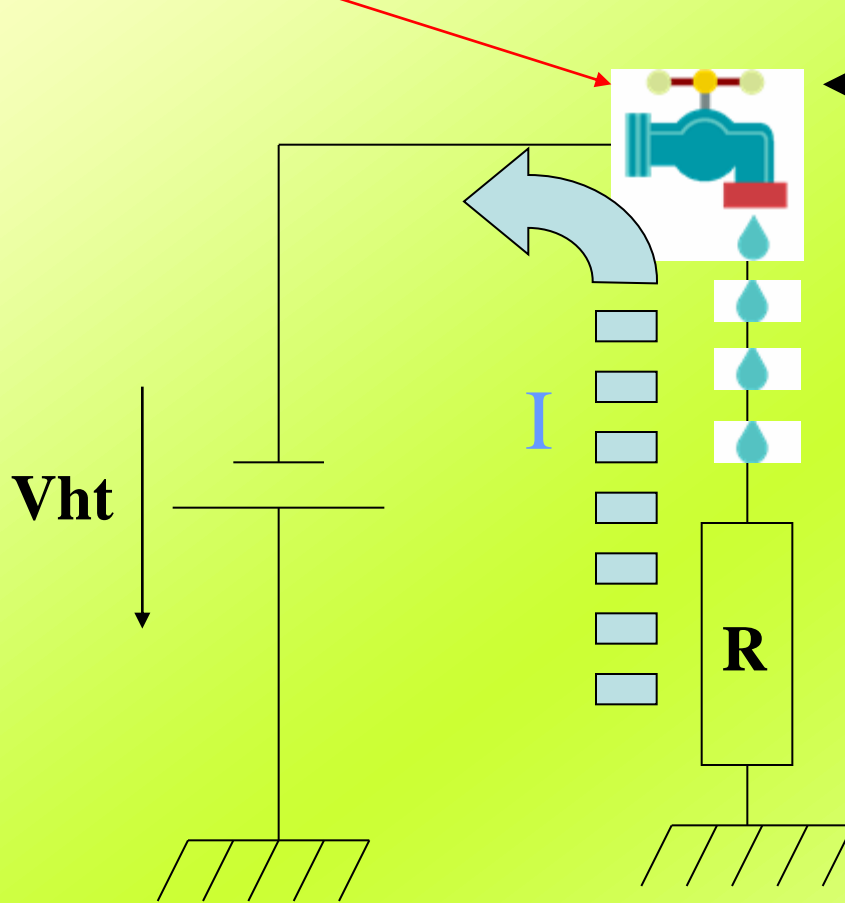
Bande V
de 606 à 862 MHz

Le nom des plages de fréquences utilisées dans le monde des **radars** provient de la Seconde Guerre mondiale. En effet, pour garder secret le développement de ce système, les militaires ont décidé de donner à ces plages des noms de code qui sont demeurés en usage depuis.

Bande P	< 300 MHz	Primitif
Bande L	1 à 2 GHz	Long
Bande S	2 à 4 GHz	Short
Bande C	4 à 8 GHz	Compromis en S et X
Bande X	8 à 12 GHz	
Bande Ku	12 à 18 GHz	Under K
Bande K	18 à 27 GHz	de l'allemand Kurtz (court)
Bande Ka	27 à 40 GHz	Above K
Bande Q	40 à 60 GHz	
Bande V	50 à 75 GHz	
Bande E	60 à 90 GHz	
Bande W	75 à 110 GHz	

Principe des sources de puissance RF

Système de modulation de courant



Exemple

$V_{ht} = 40 \text{ kV}$ $R = 10\,000 \Omega$ donc
 $I = 4 \text{ A max}$

Modulation max 4 A crête à crête
soit 1,4 A efficace

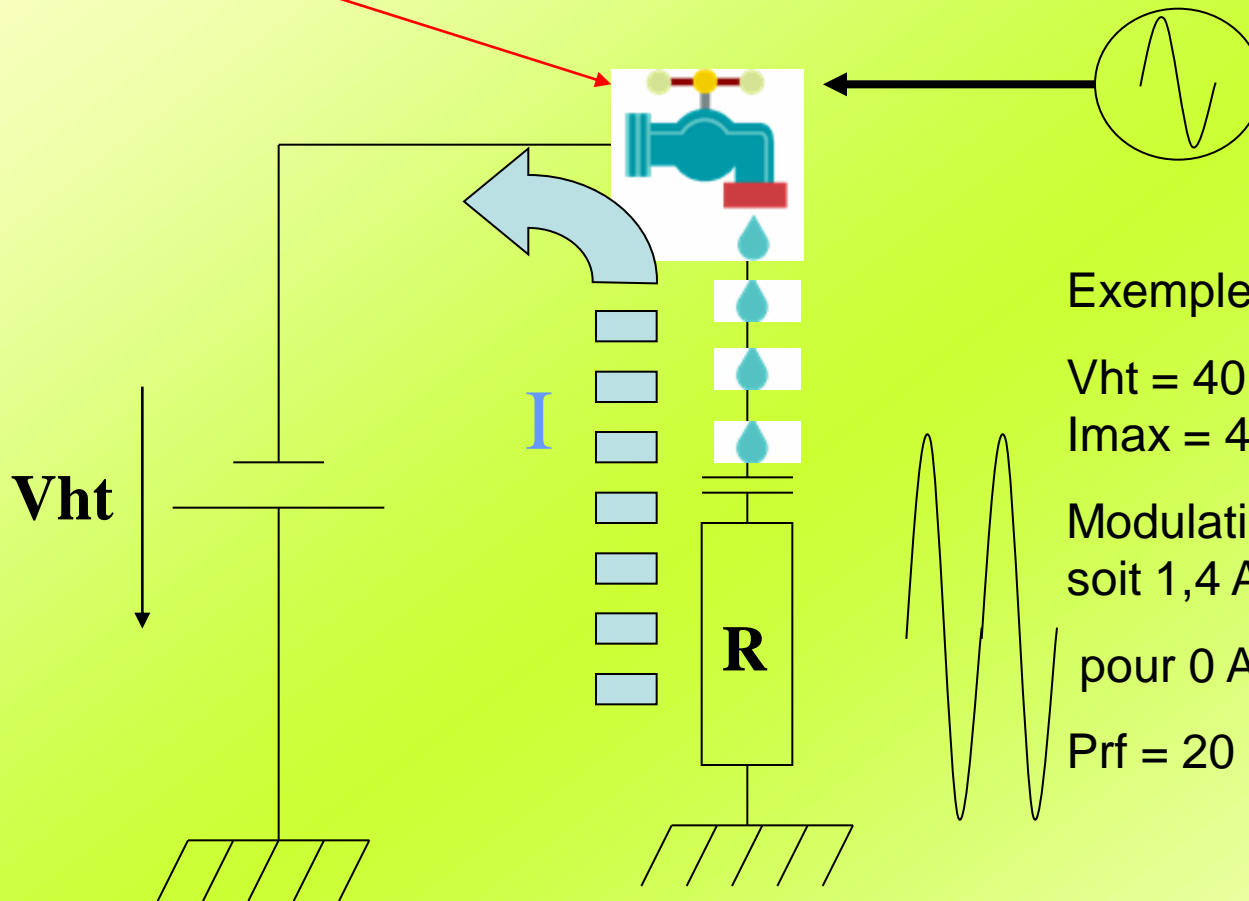
pour 2 A moyen

$P_{rf} = 20 \text{ kW HF}$ pour 116 kW Alim

17 % de rendement

Principe des sources de puissance RF

Système de modulation de courant



Exemple

$V_{ht} = 40 \text{ kV}$ $R = 10\,000 \Omega$ donc
 $I_{max} = 4 \text{ A}$

Modulation max 4 A crête à crête
soit 1,4 A efficace

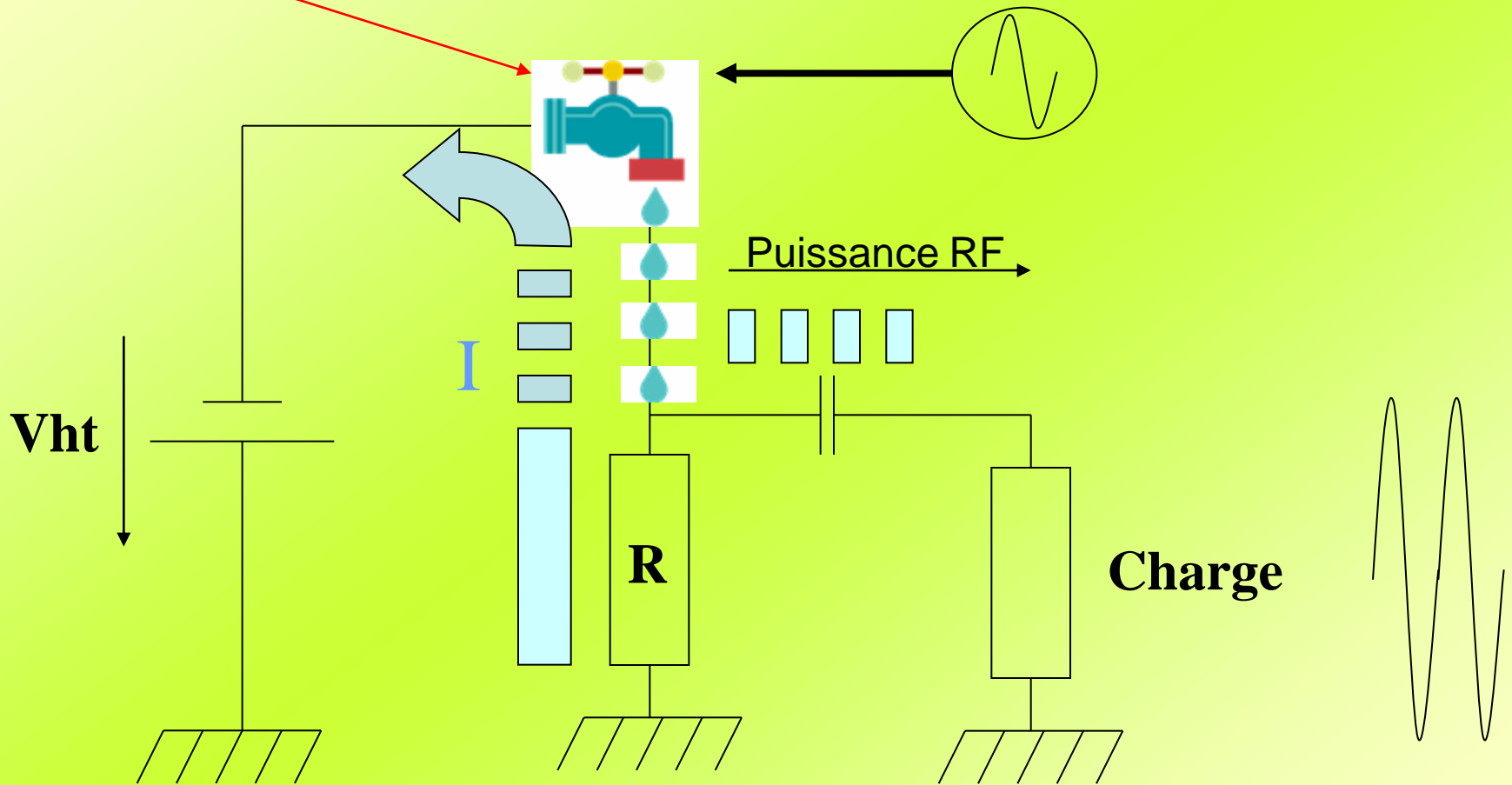
pour 0 A moyen

$P_{rf} = 20 \text{ kW}$ pour 20 kW

100% de rendement

Principe des sources de puissance RF

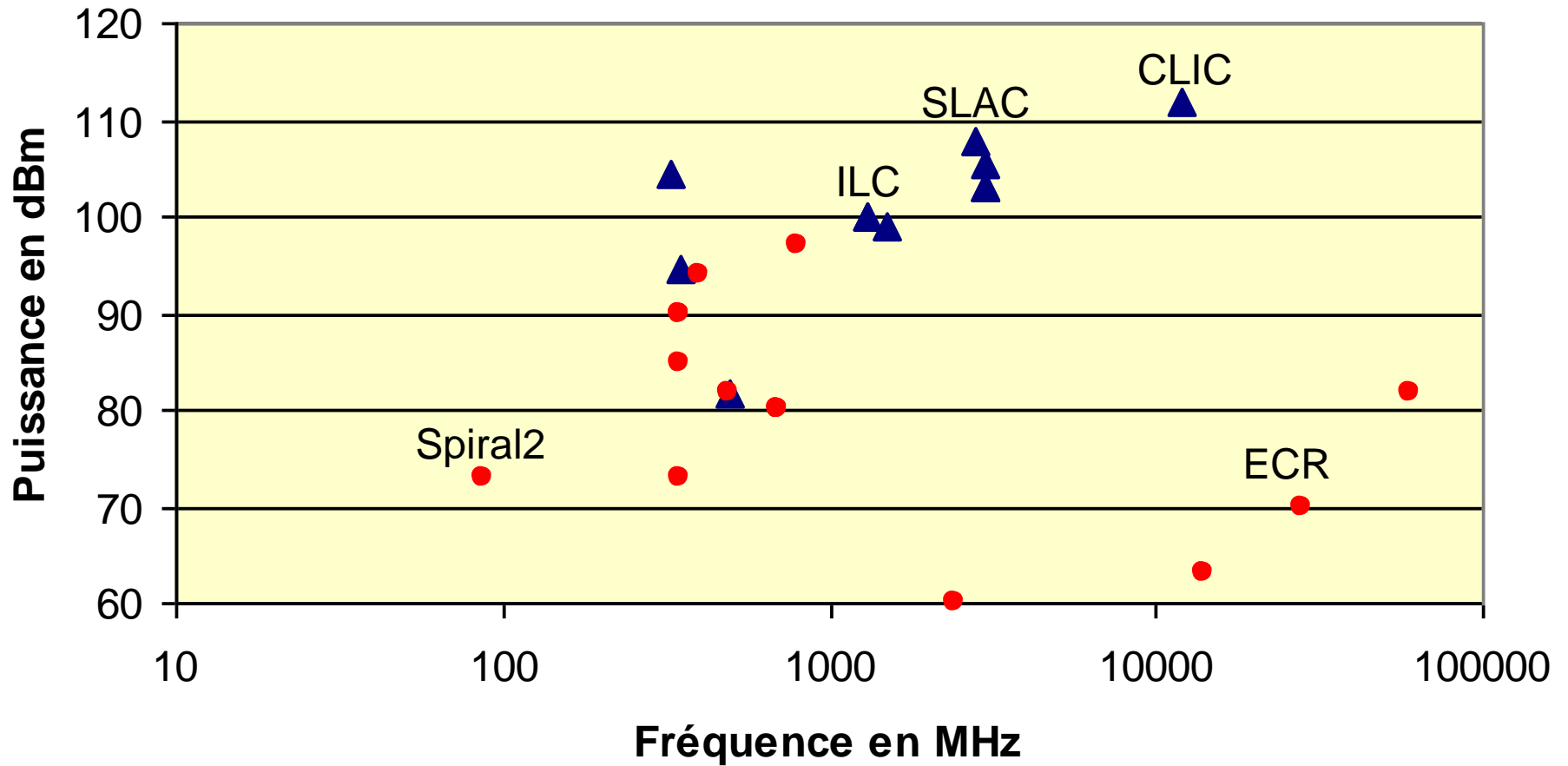
Système de modulation de courant



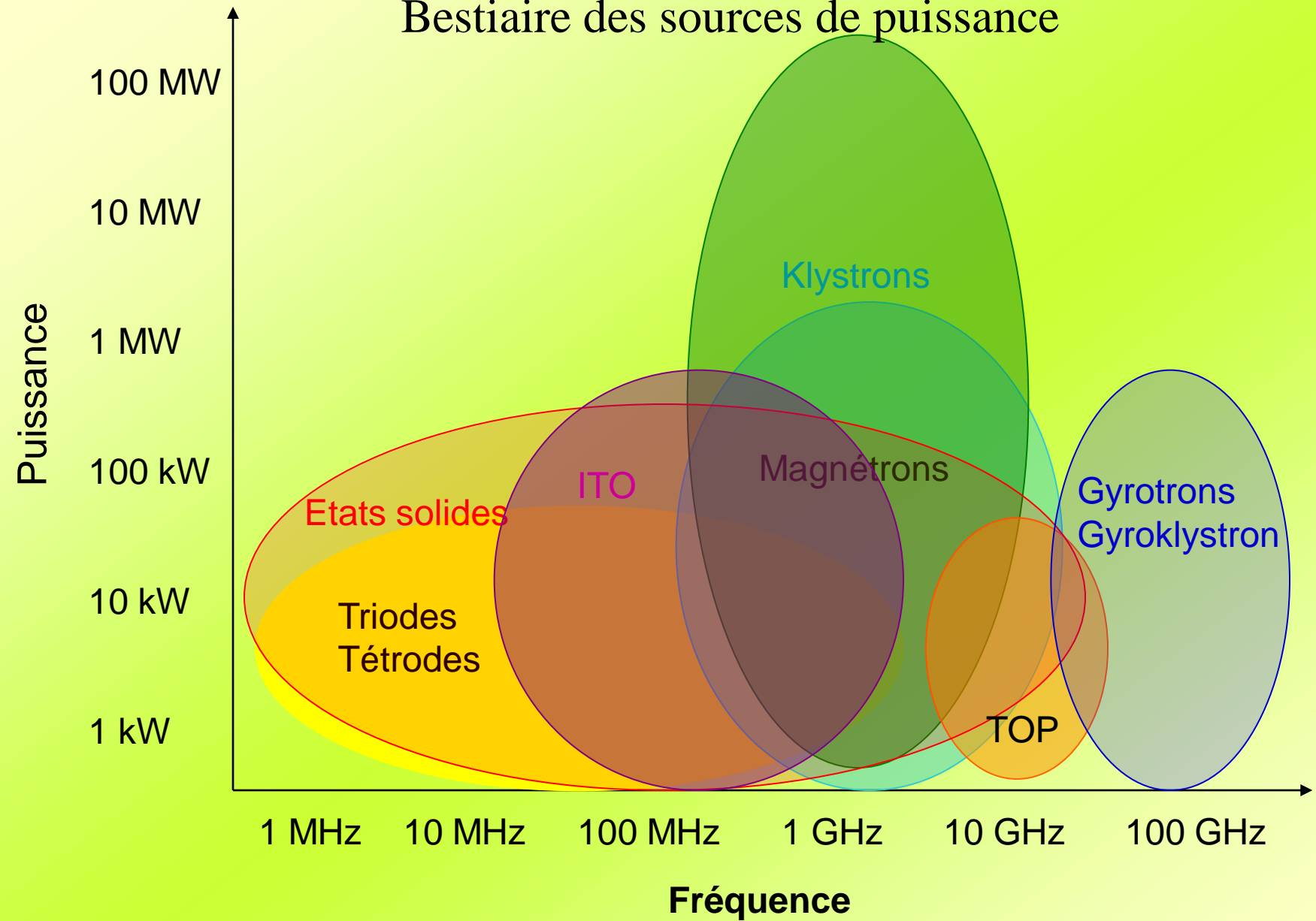
La réalité est entre les deux

20 à 80 % de rendement

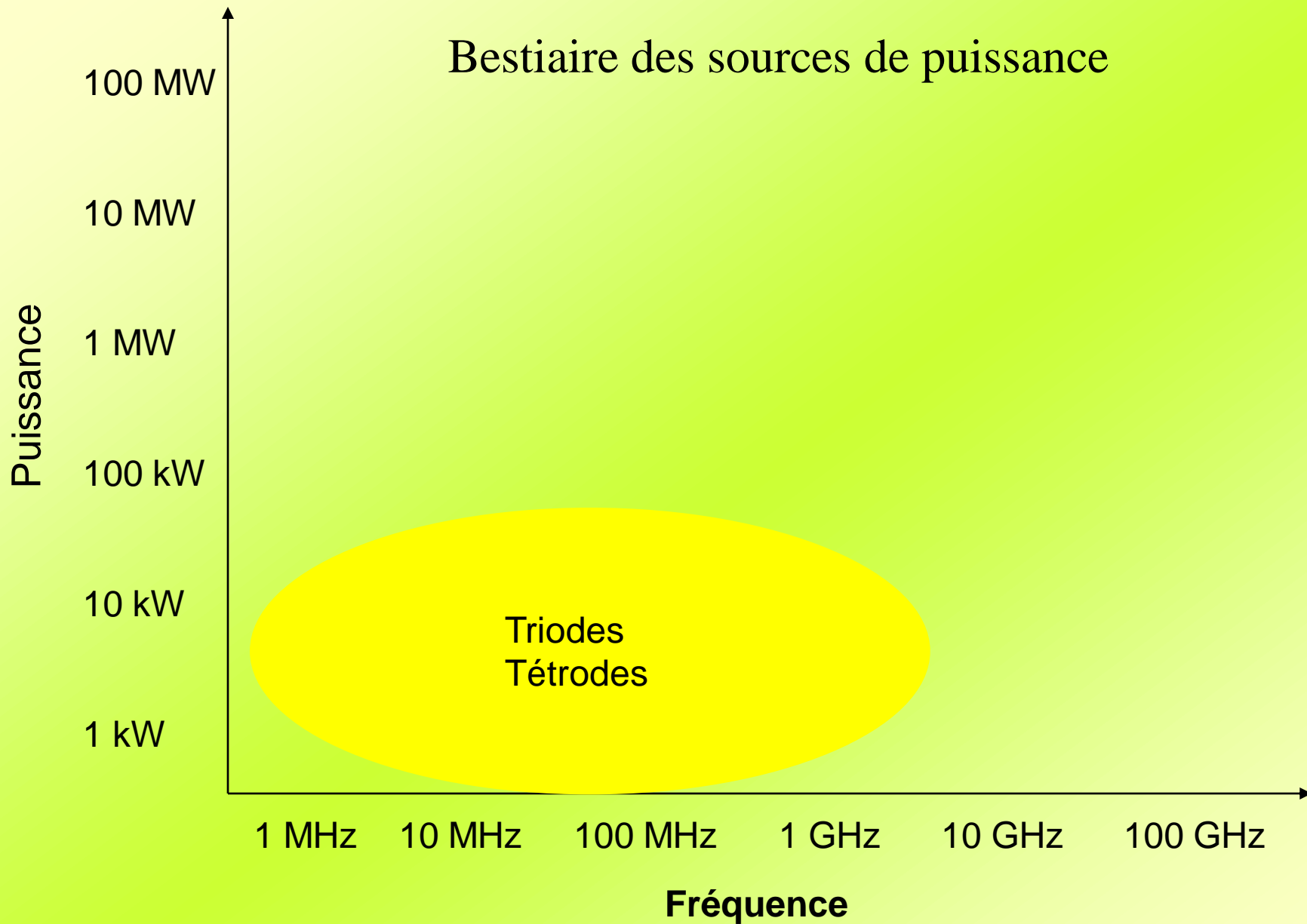
Bestiaire des besoins des accélérateurs



Bestiaire des sources de puissance



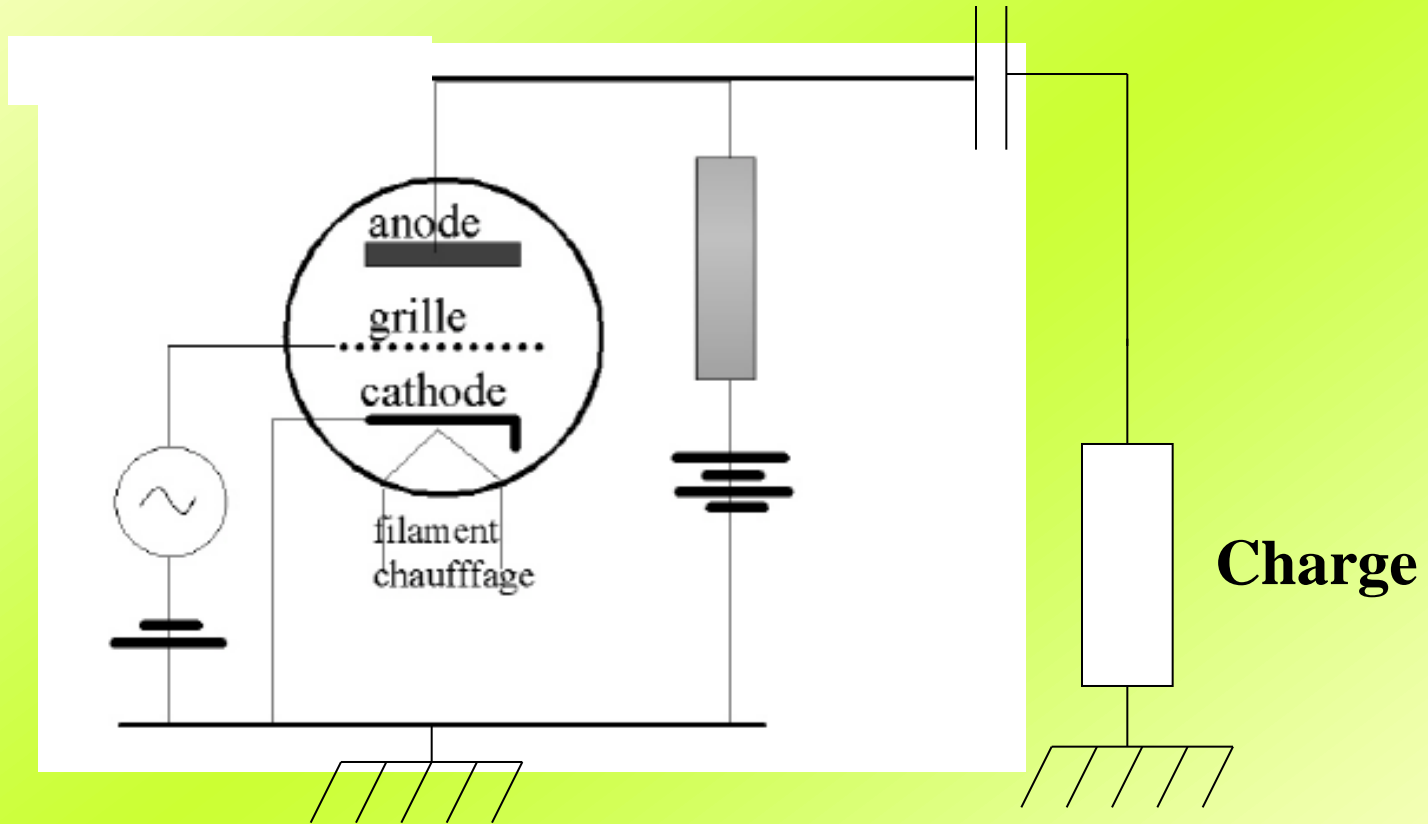
Bestiaire des sources de puissance





= Grille

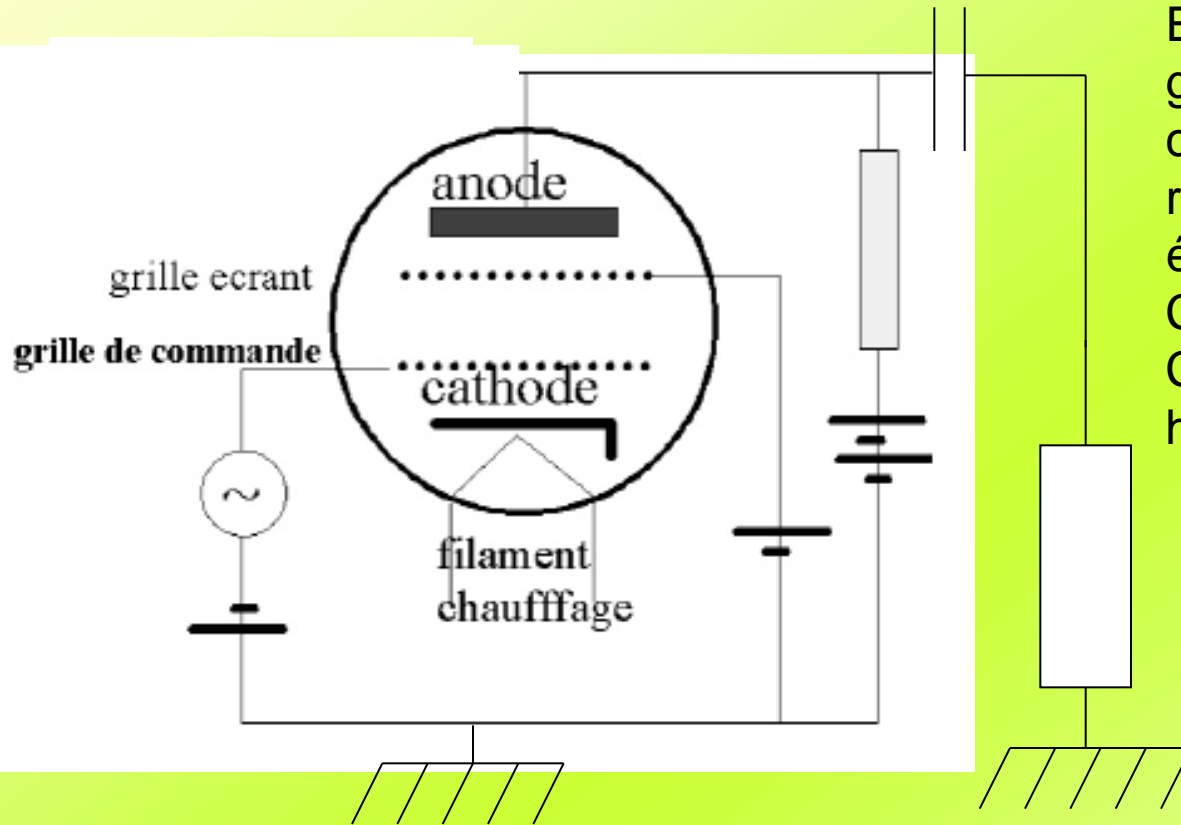
La triode





= Grille

La tédrode



En ajoutant une nouvelle grille entre la grille de commande et l'anode, on réalise un écran électrostatique qui réduit la Capacité grille anode Ce qui permet de monter plus haut en fréquence

Charge

TH 781



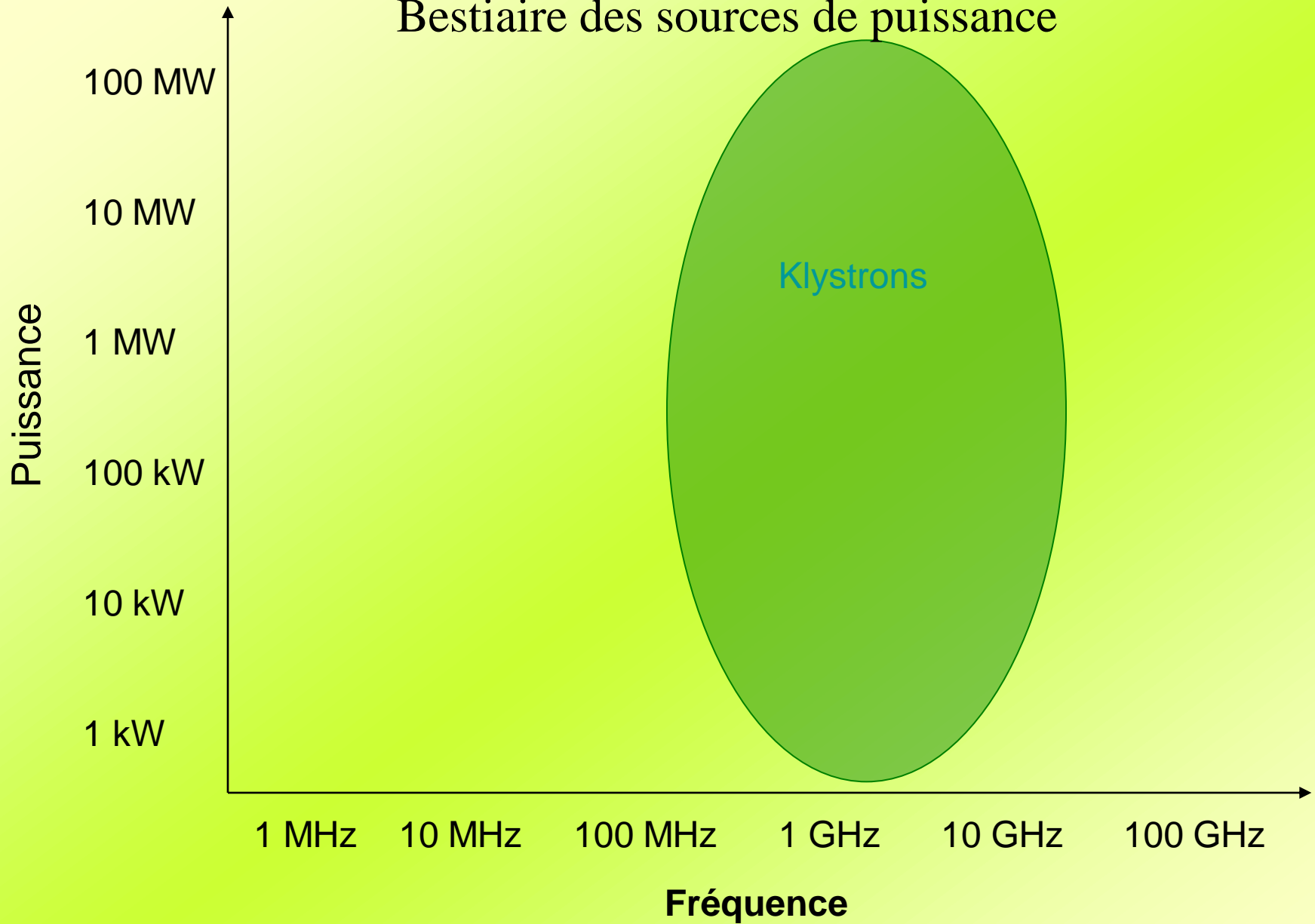
TH 713



TH 628



Bestiaire des sources de puissance

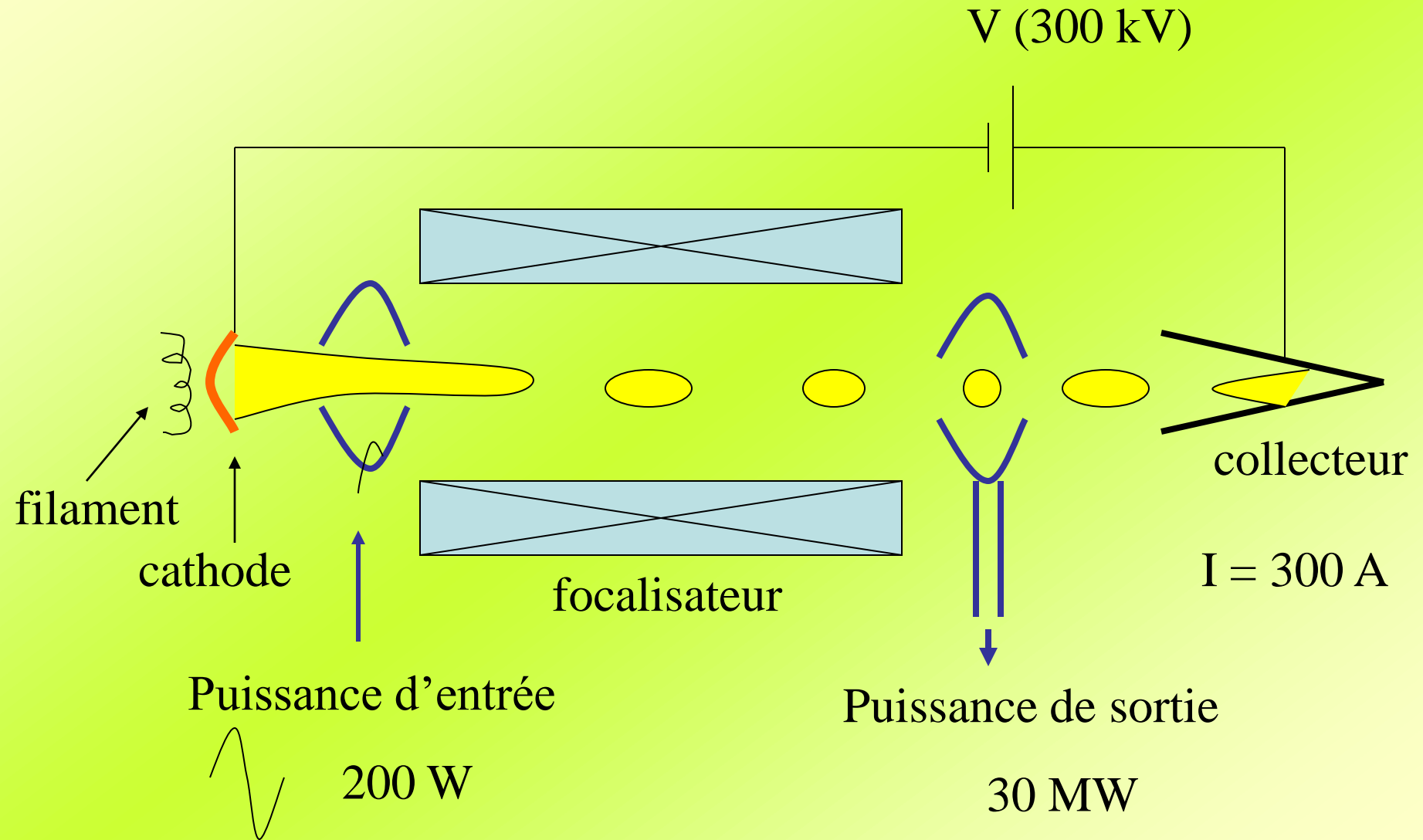


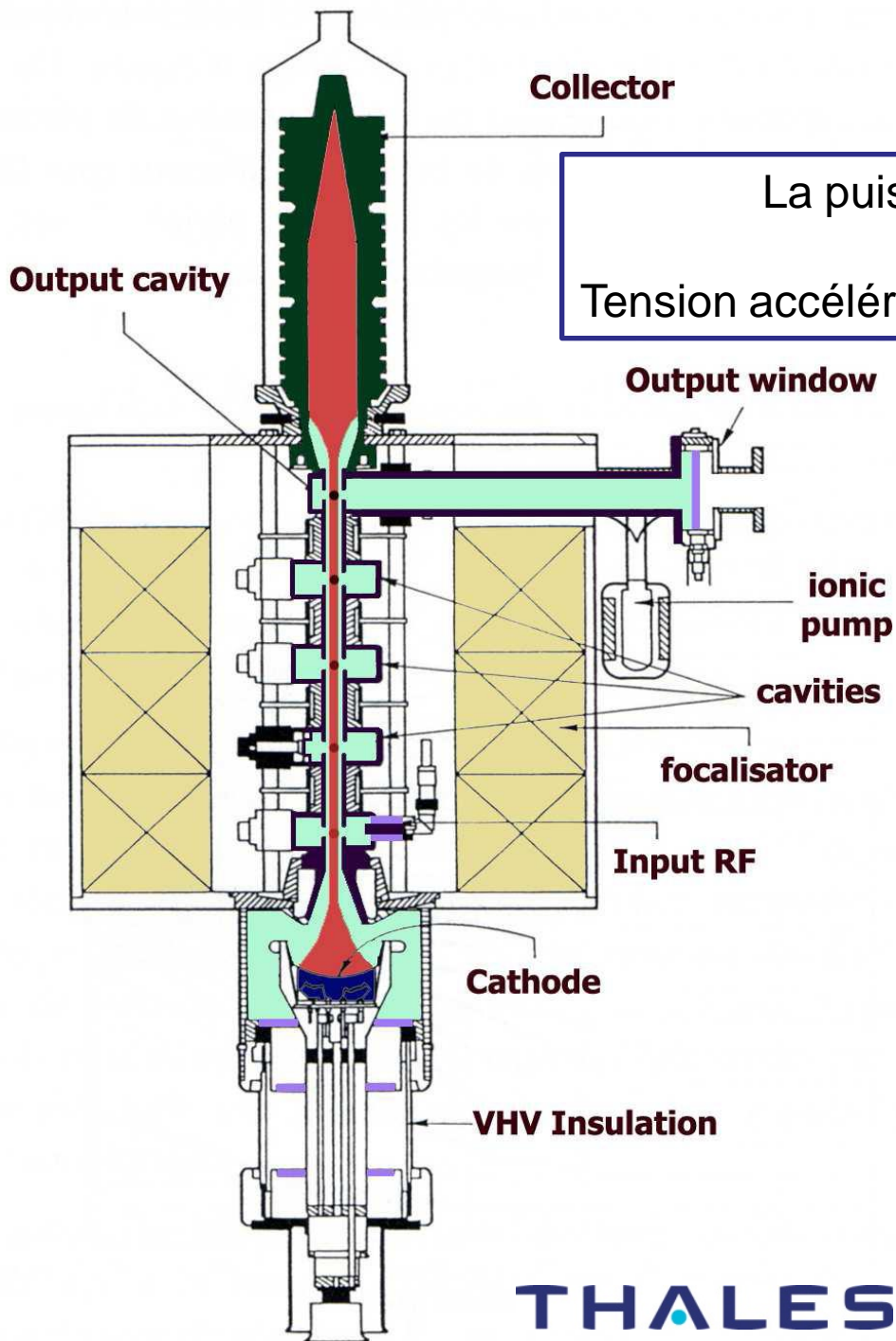


= Cavité

Le Klystron

Gain = 150 000





La puissance RF max de sortie =
 Tension accélératrice x Courant faisceau x rendement

Typiquement en pulsé (qq μ s)
 Tension accélératrice 250 kV
 Courant faisceau 200 A
 Rendement 40 %
 Soit 20 MW

Typiquement en CW
 Tension accélératrice 100 kV
 Courant faisceau 20 A
 Rendement 65 %
 Soit 1,3 MW

Le Klystron

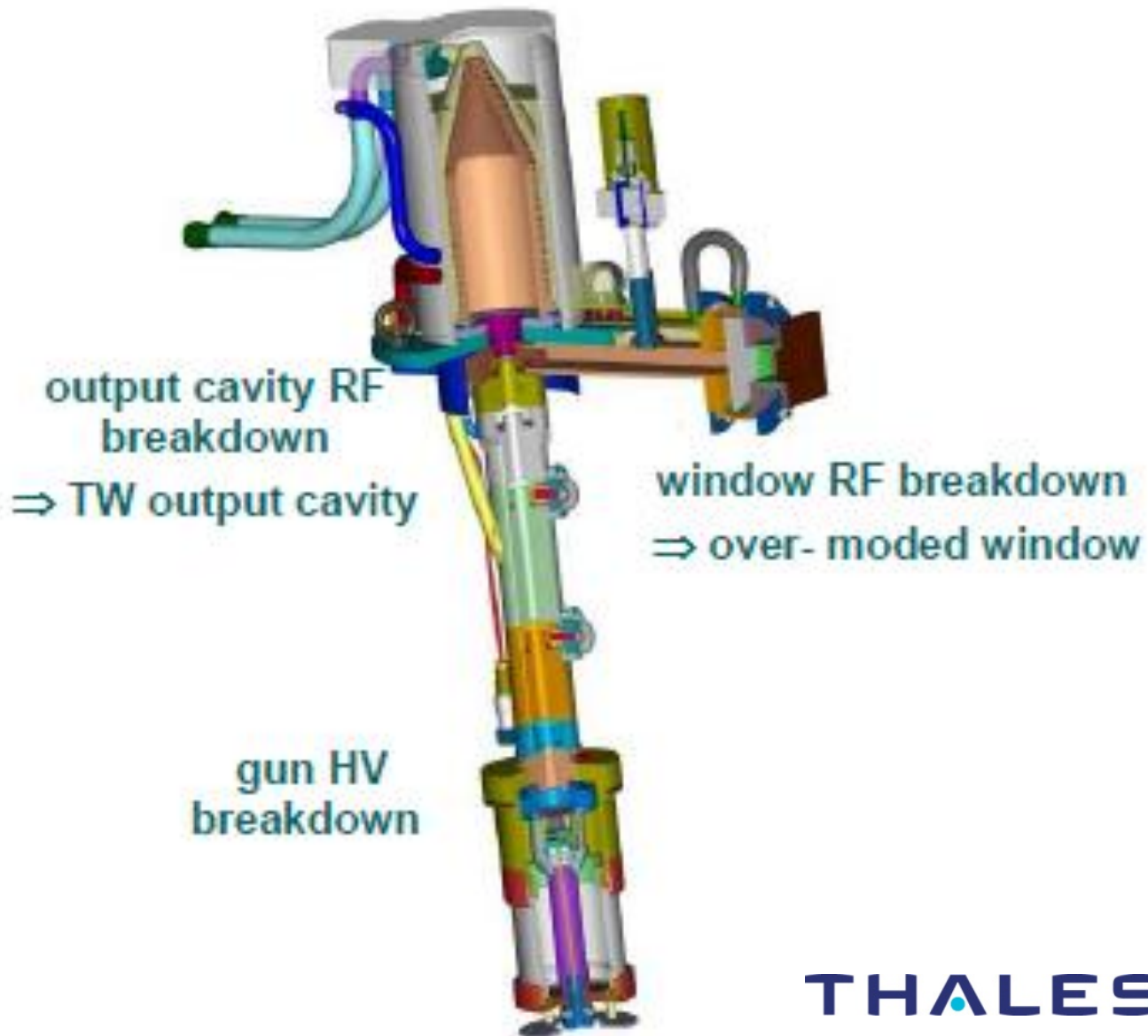
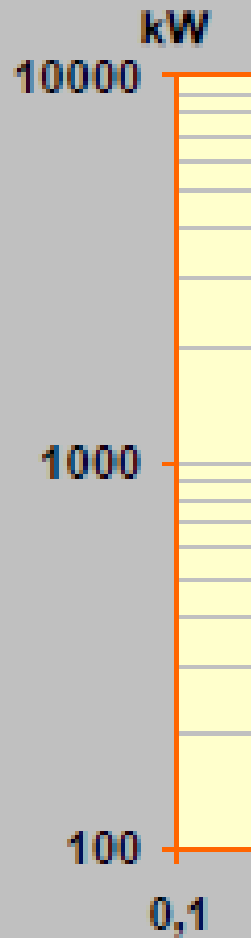


TH 2089B - Superklystron, extremely high output power (1.3 MW CW) and high efficiency.



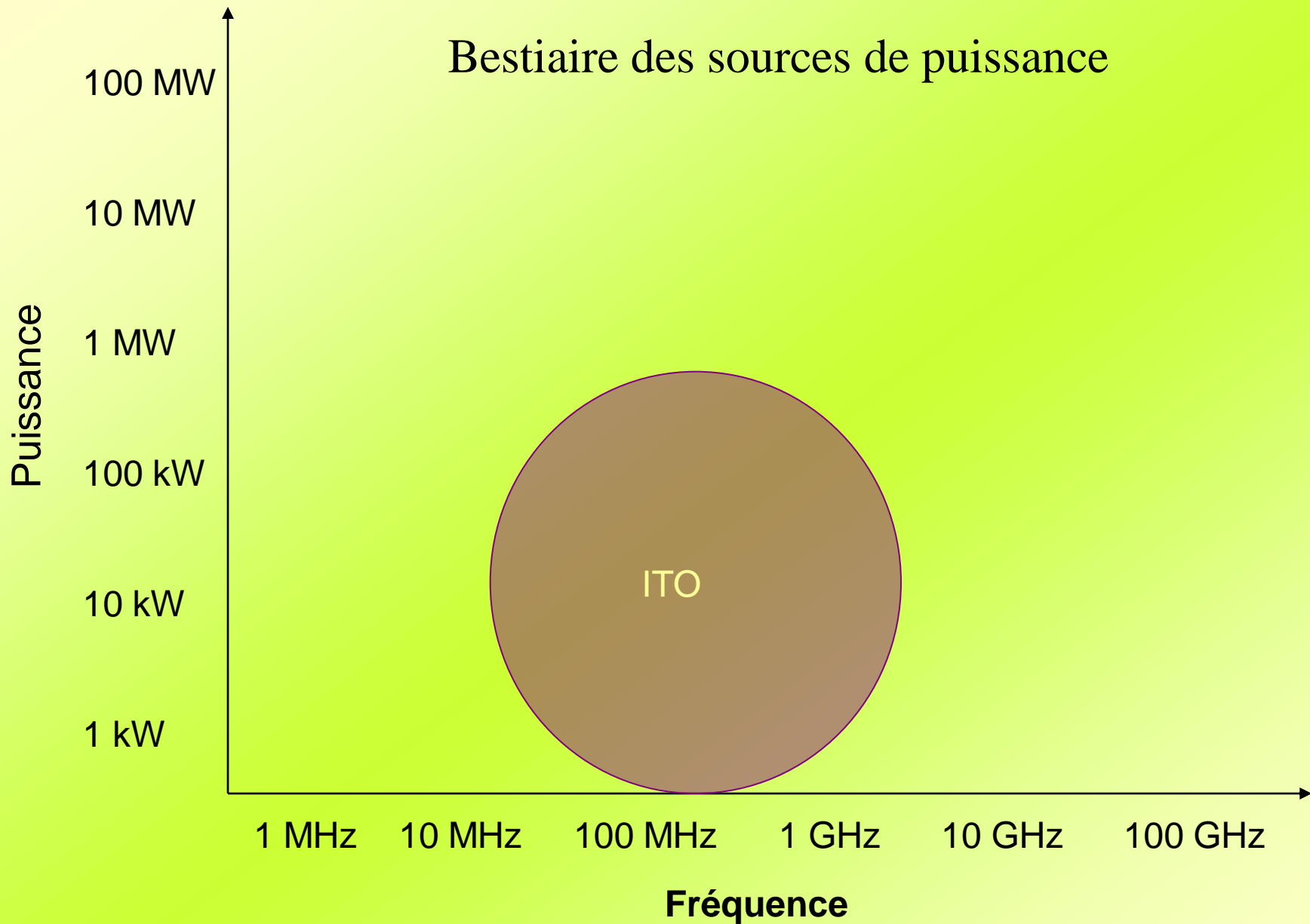
Photo of TH1801 Tube
(top) and Cathode (bottom)

Les limitations en puissance



THALES

Bestiaire des sources de puissance

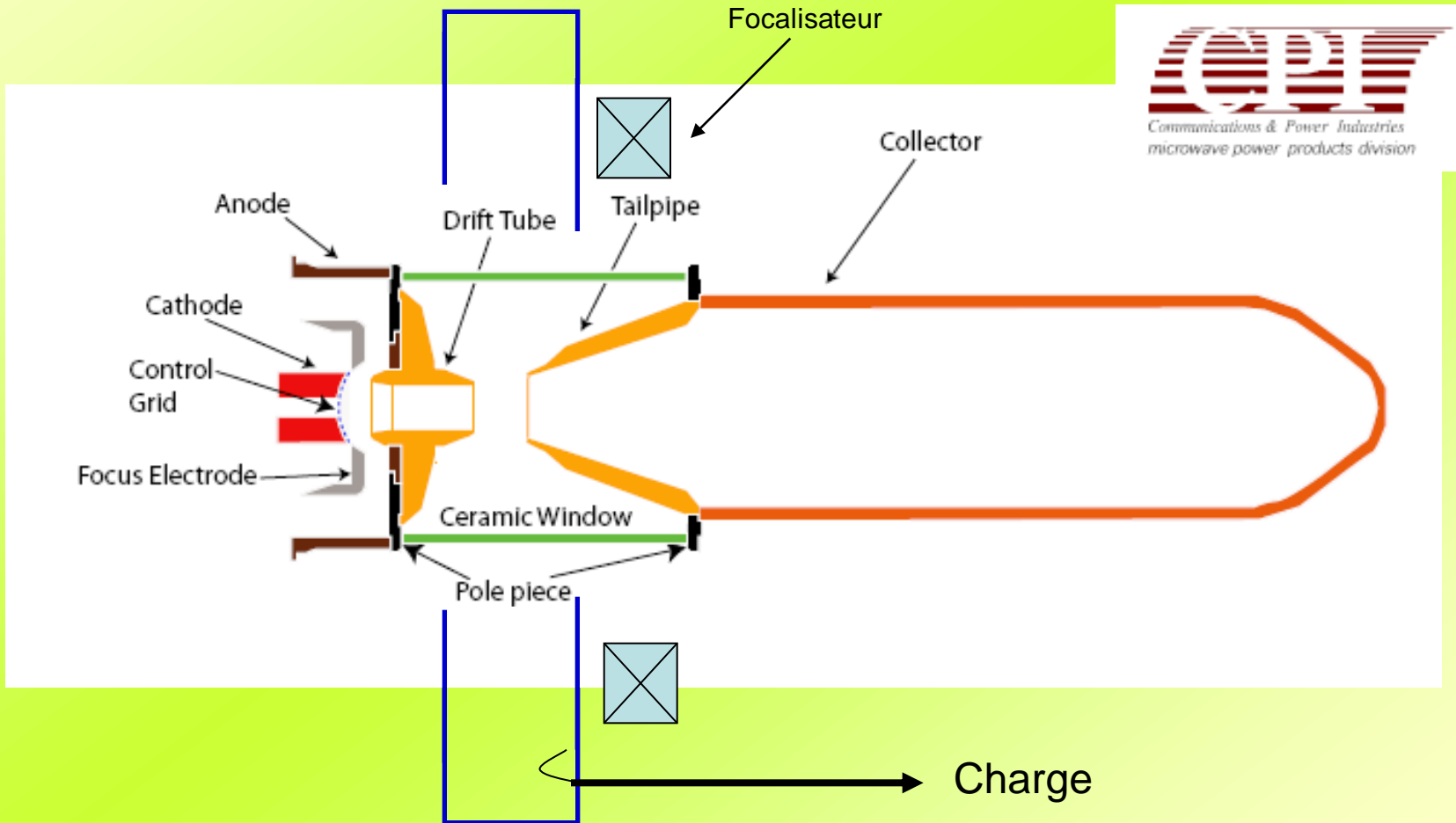




= Grille

L'IOT

IOT (Inductive Output Tube) aussi appelé aussi Klystrode



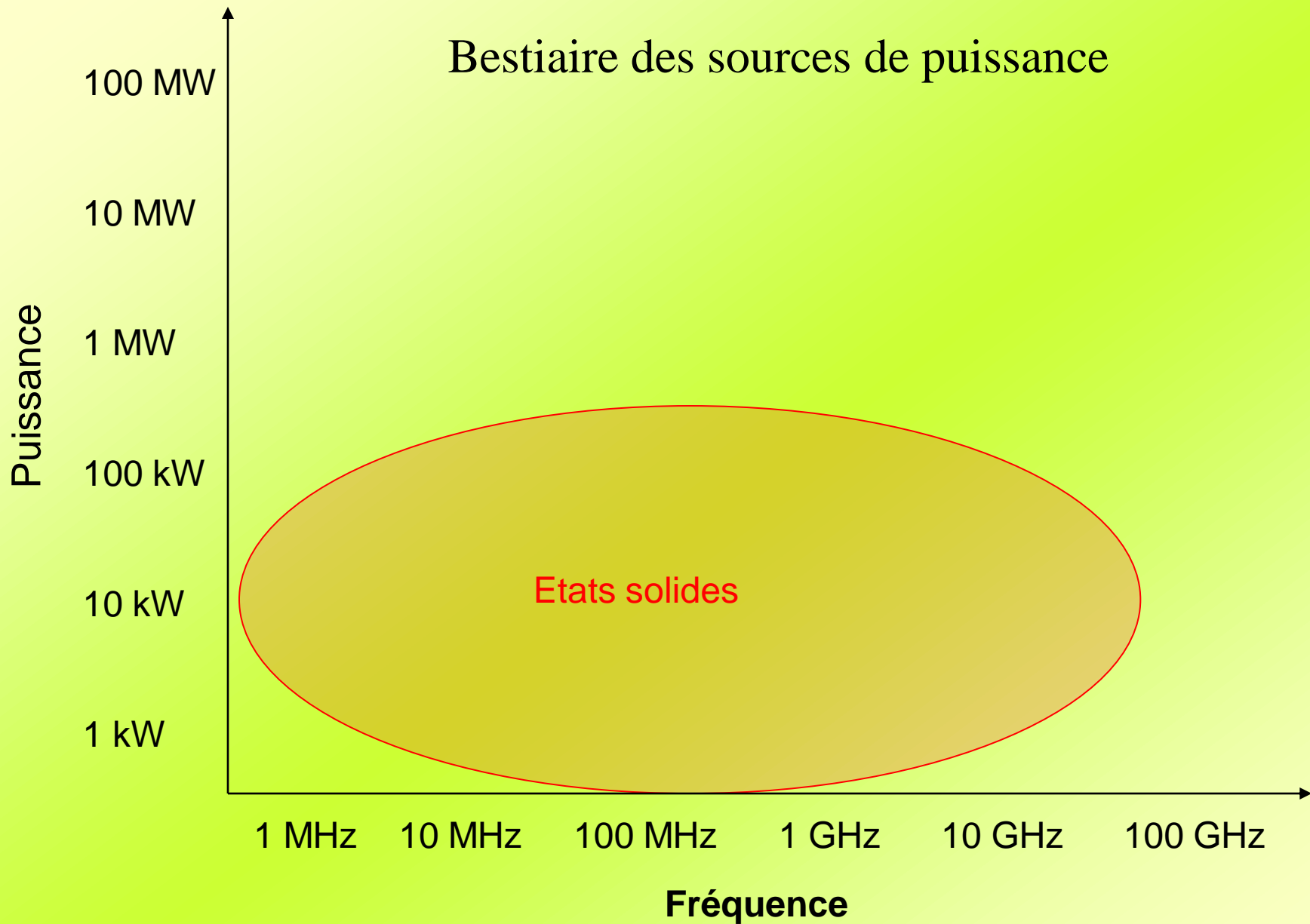


= Grille

L'IOT



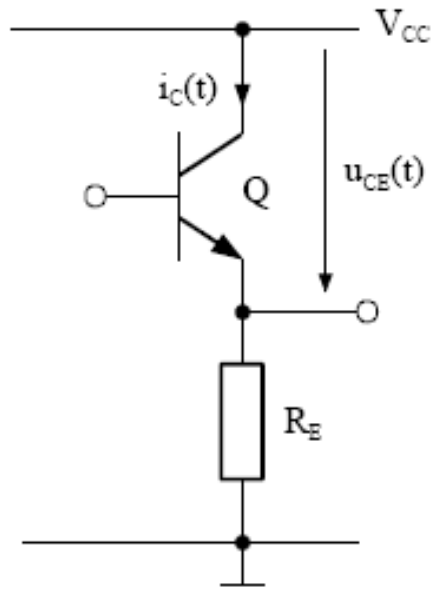
Bestiaire des sources de puissance



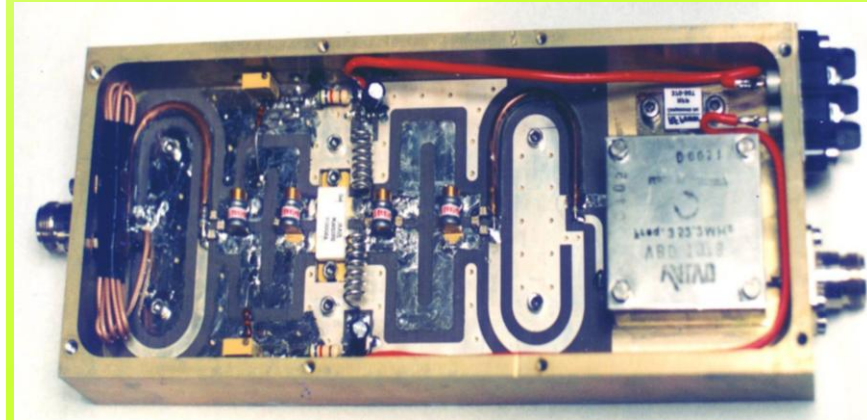


= transistor

L'état solide



Amplificateur Classe A collecteur commun (étage de sortie)



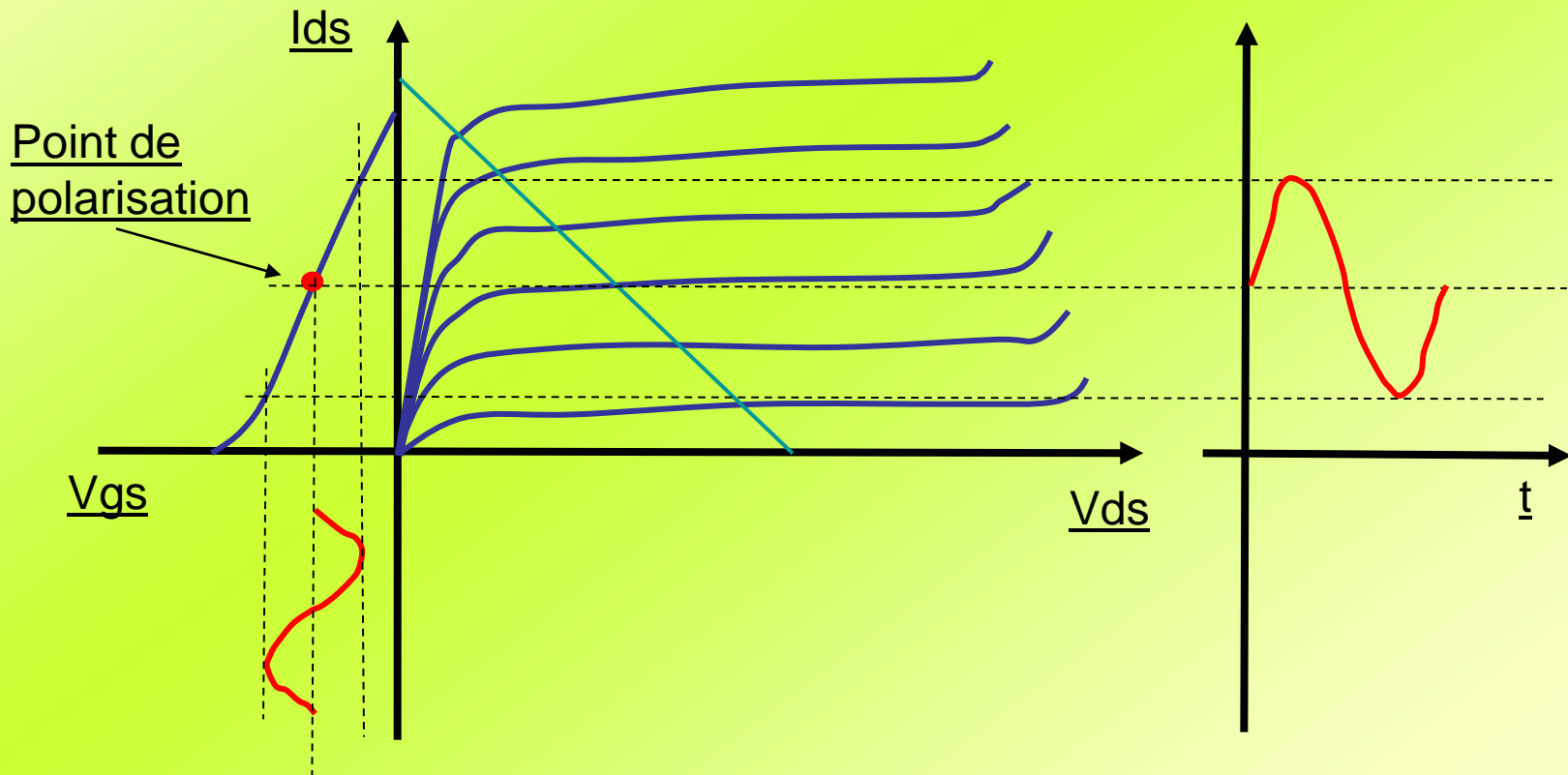
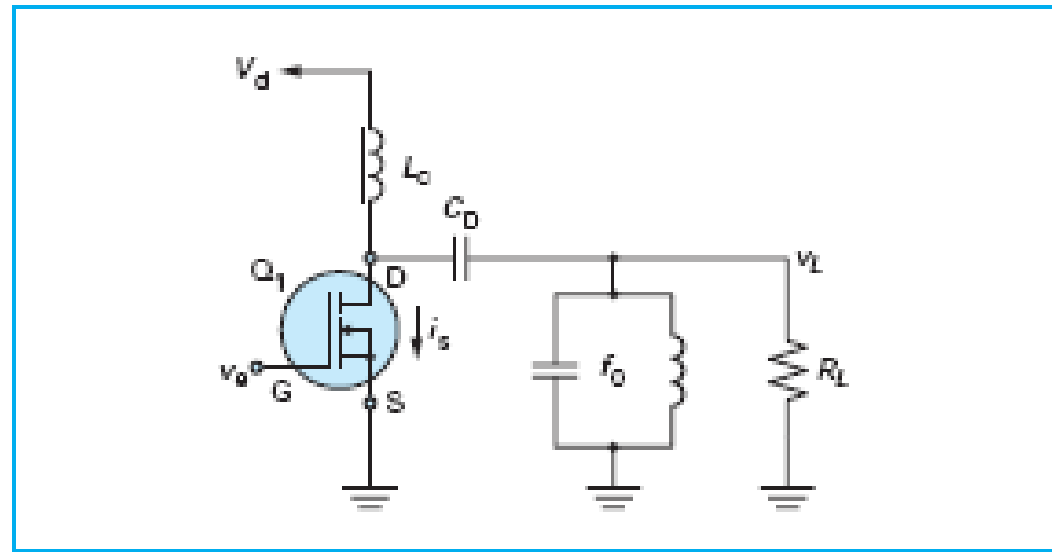
Module amplificateur
352,2 MHz – 315 W
Transistors MOSFET



= transistor

Classes d'amplification

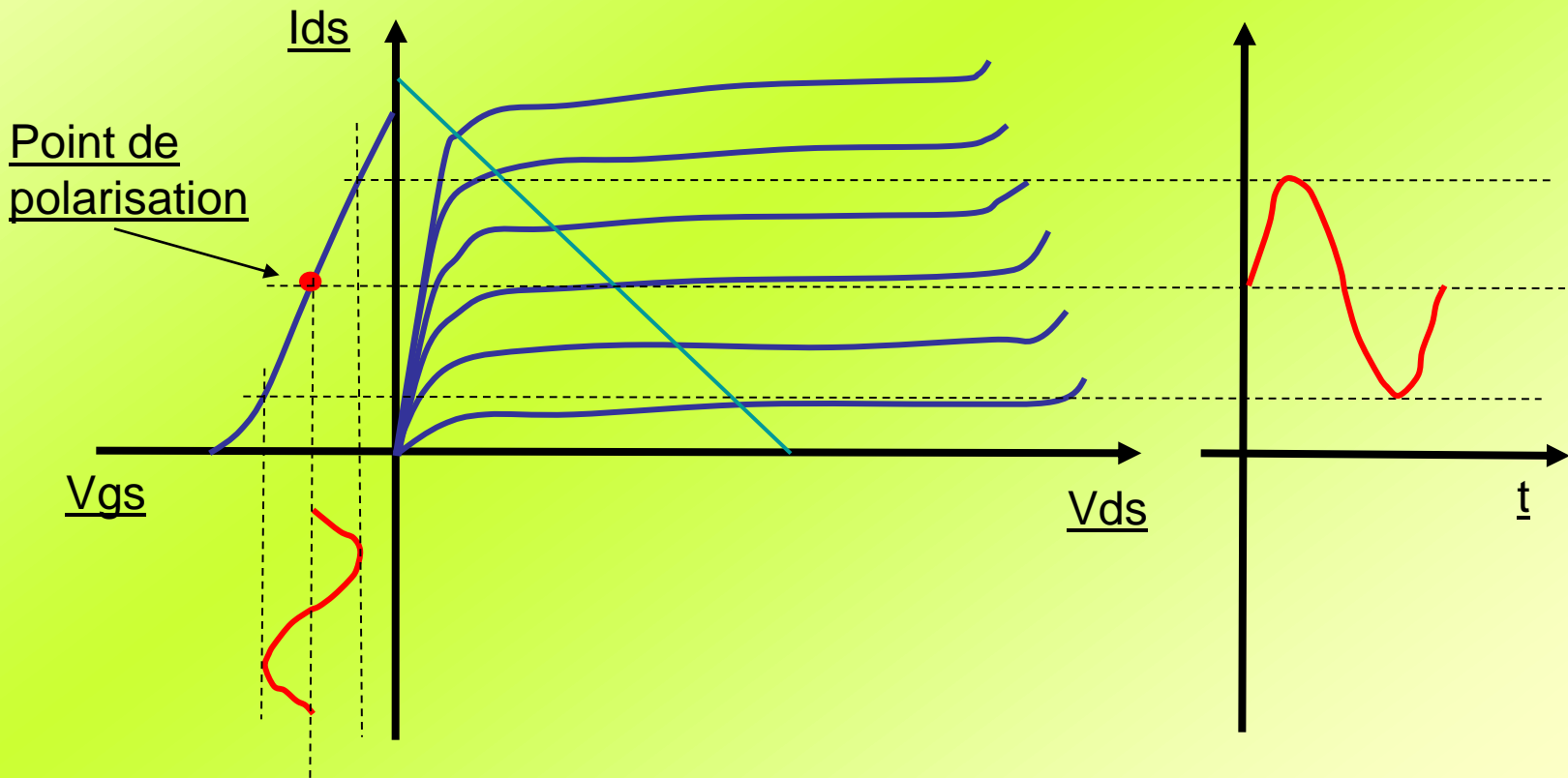
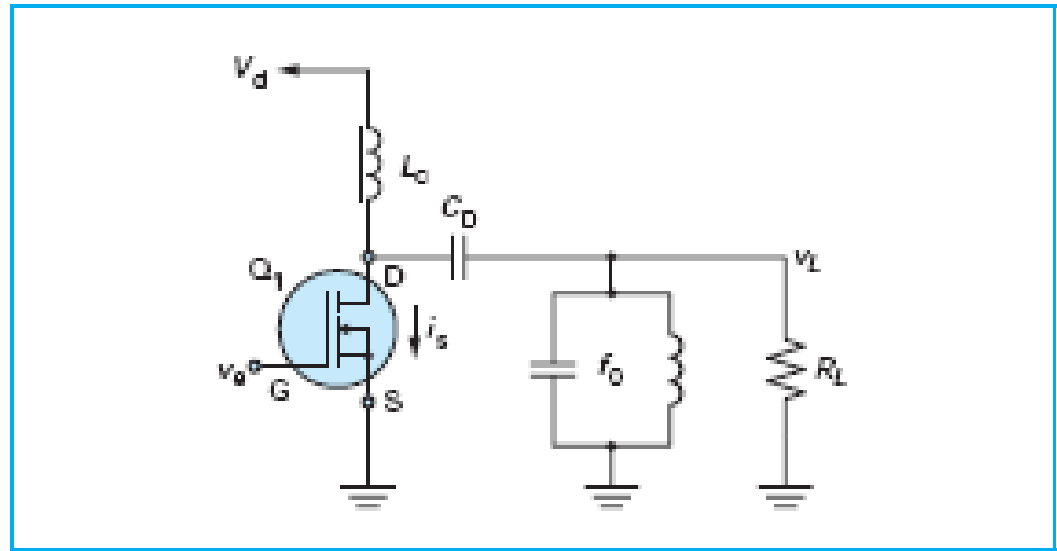
La classe de fonctionnement est déterminé par l'angle de conduction du signal sinusoïdale.





= transistor

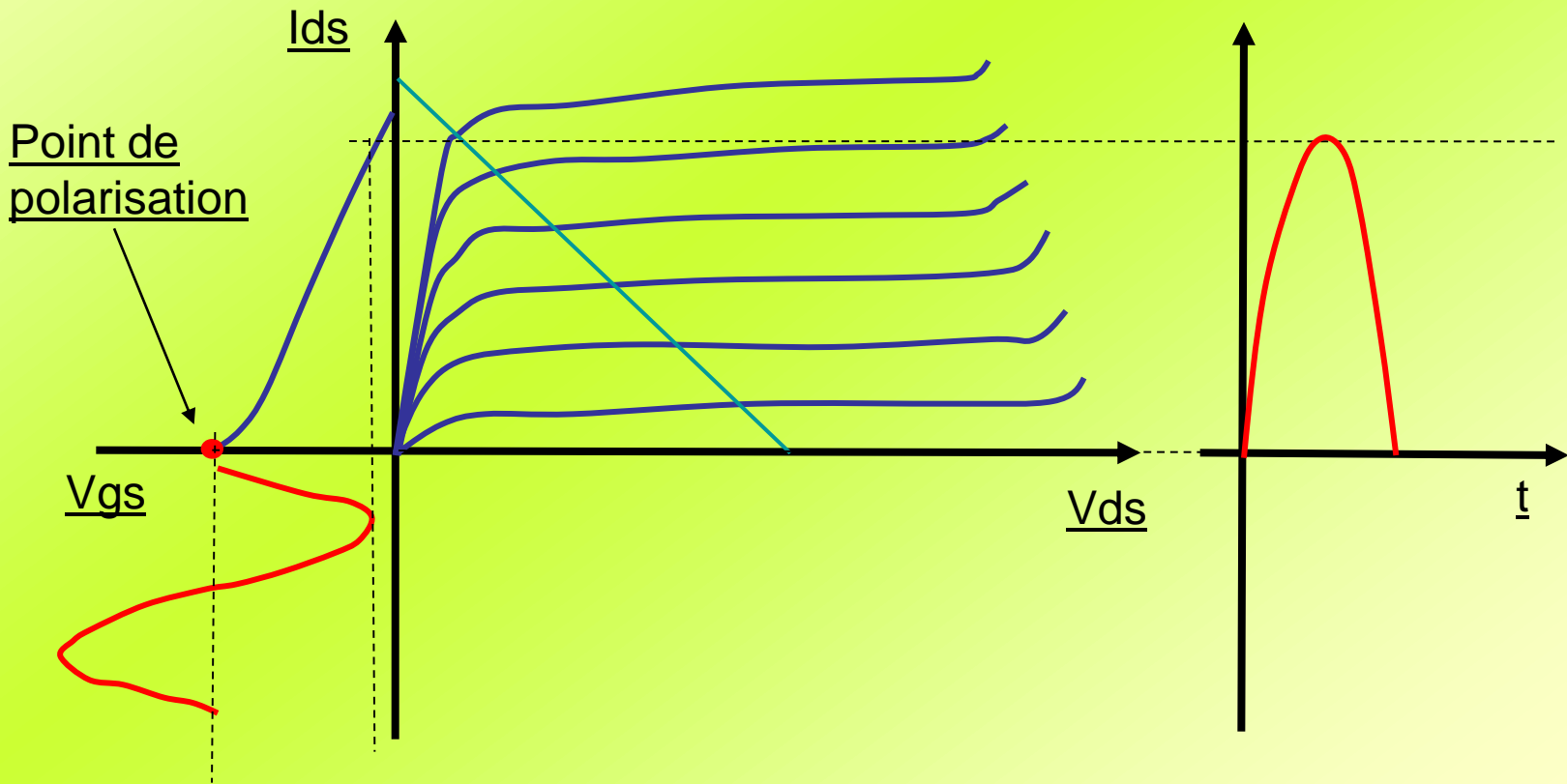
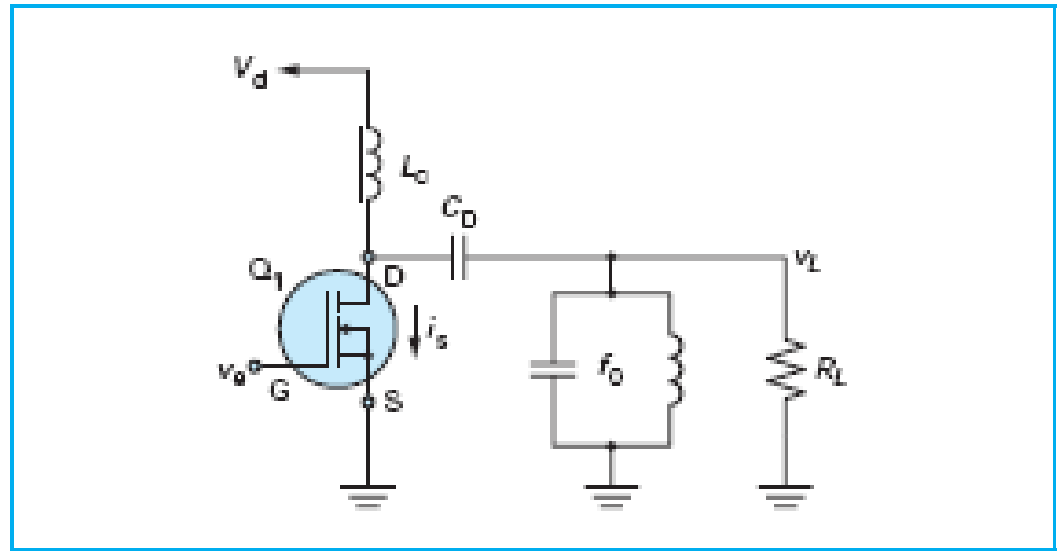
Classe A





= transistor

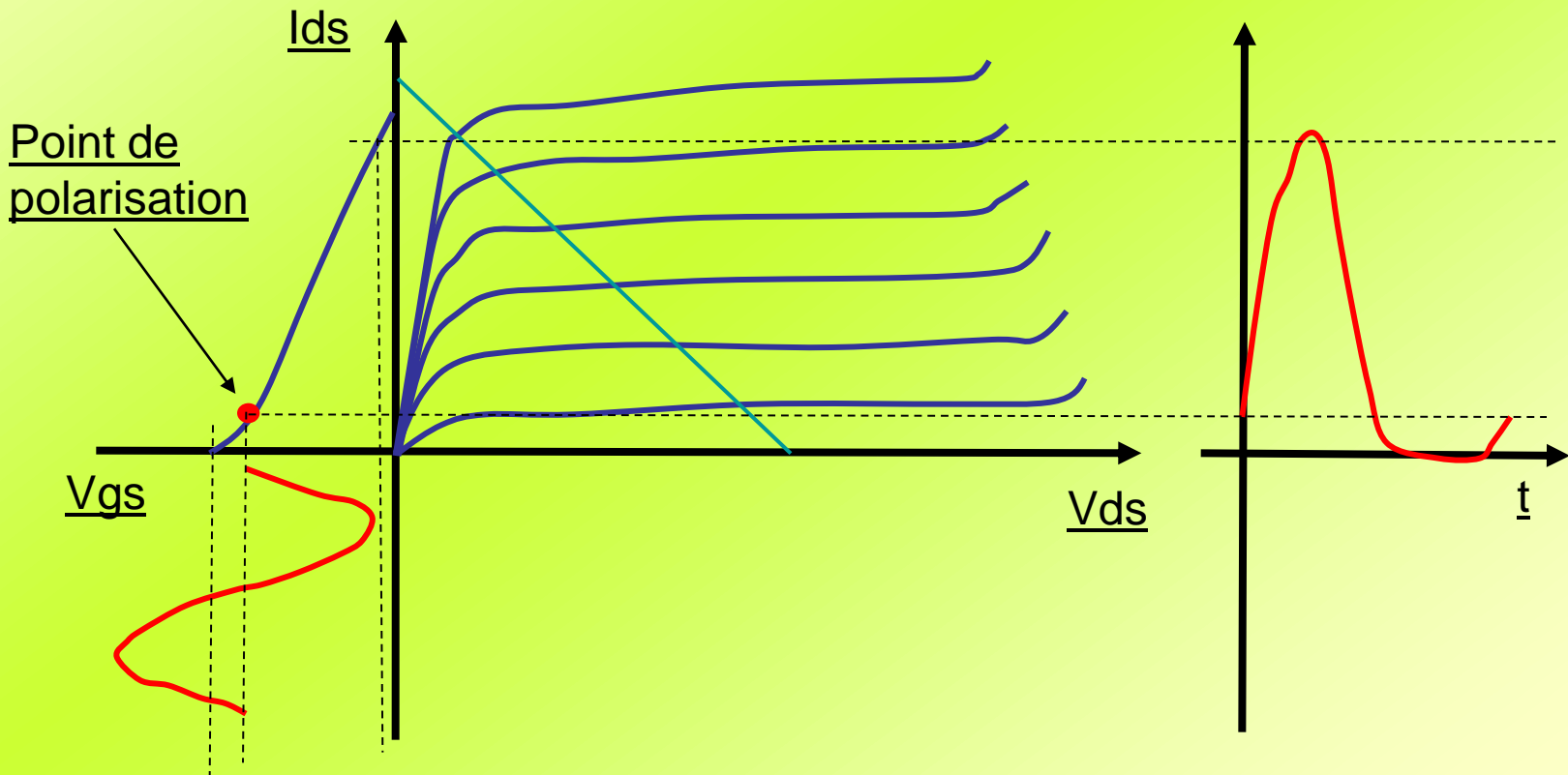
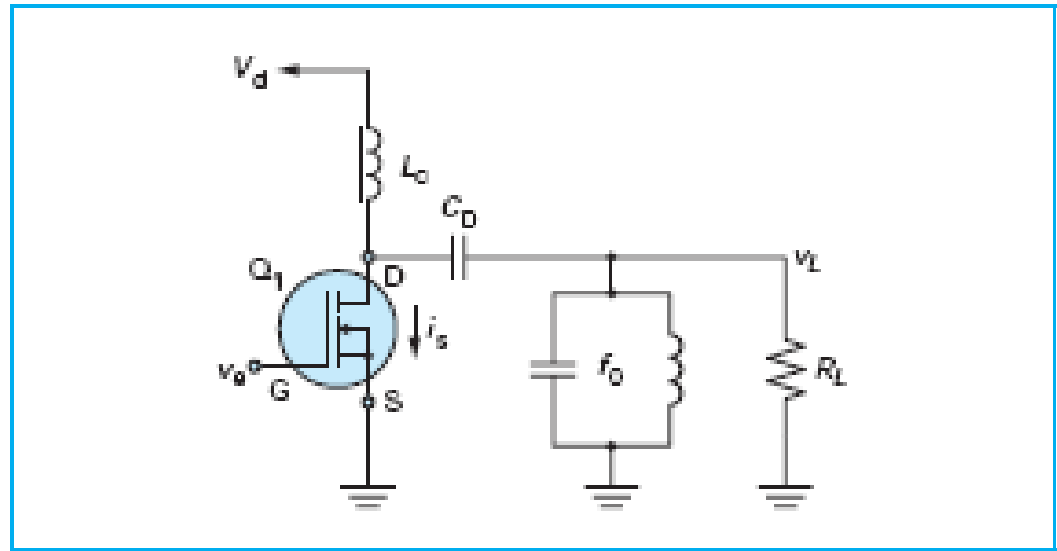
Classe B





= transistor

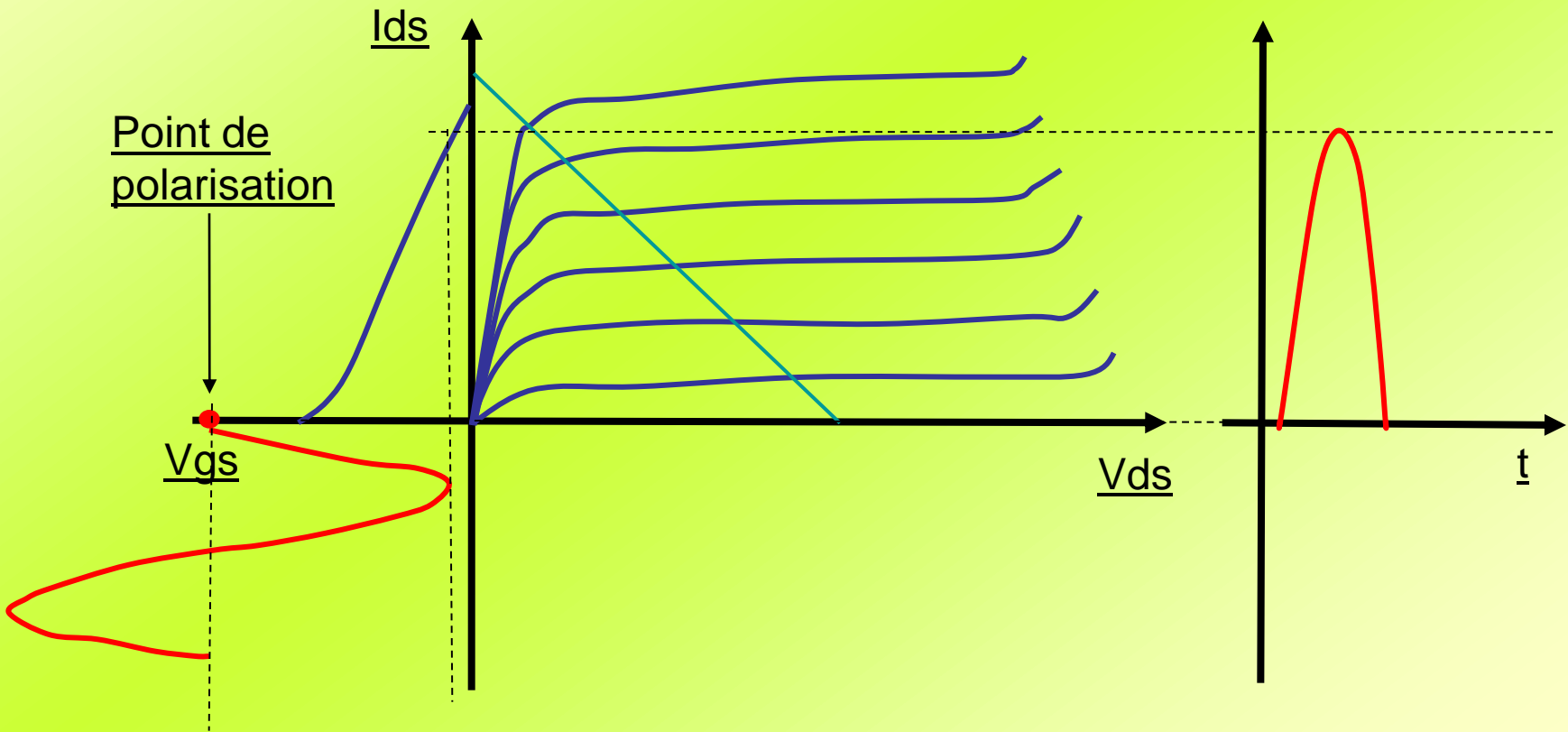
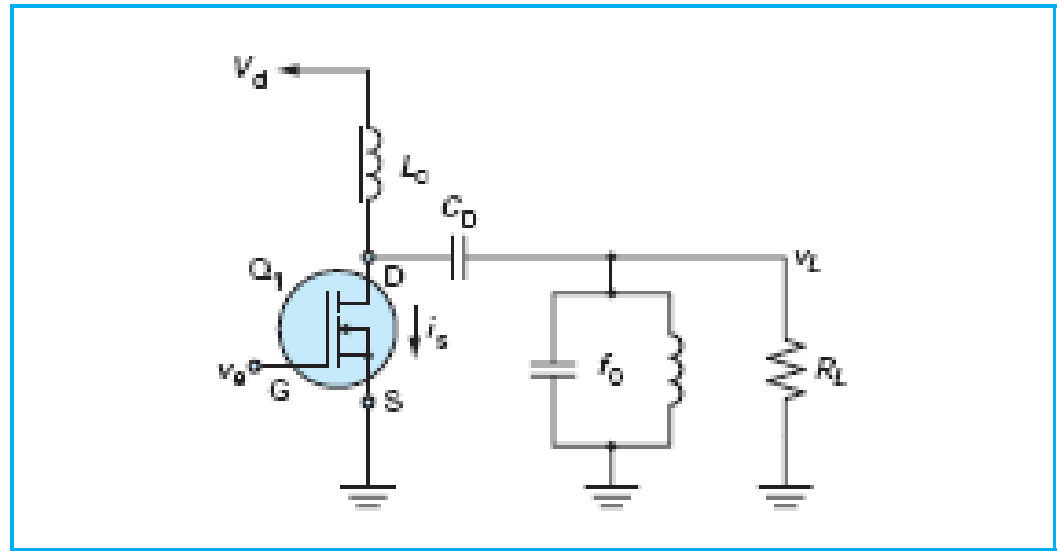
Classe AB





= transistor

Classe C





= transistor

L'état solide

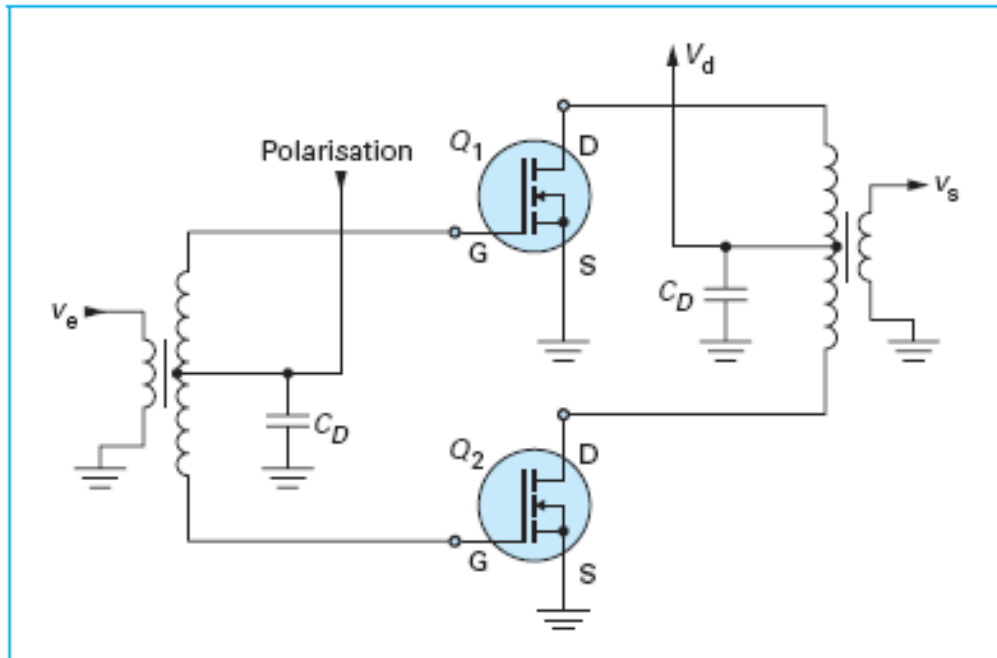


Figure 34 - Schéma de principe d'un étage *push-pull* RF

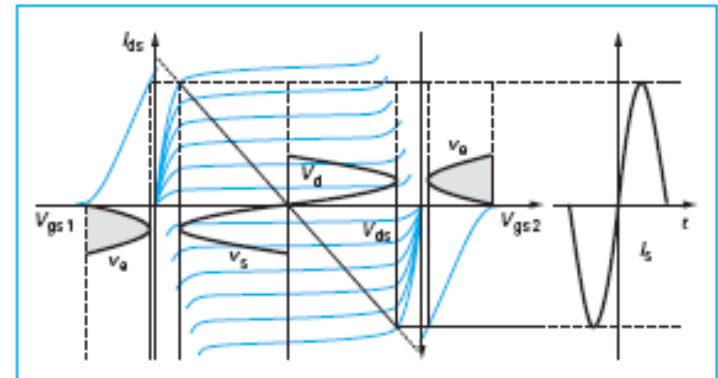


Figure 7 - *Push-pull* classe B

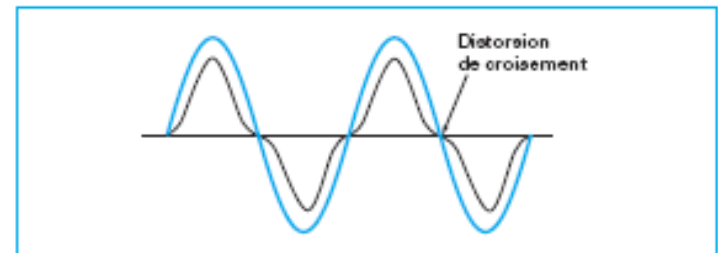


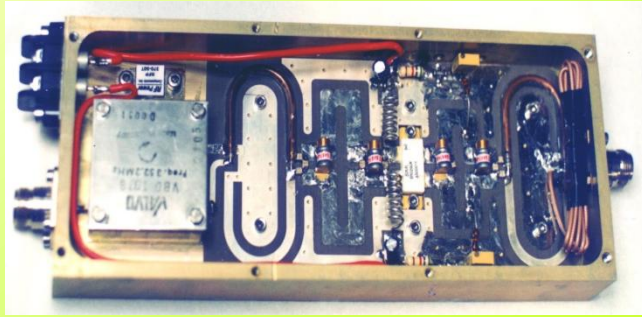
Figure 8 - Distorsion de croisement



= transistor

L'état solide

- Fabio SCARPA – INFN Legnaro



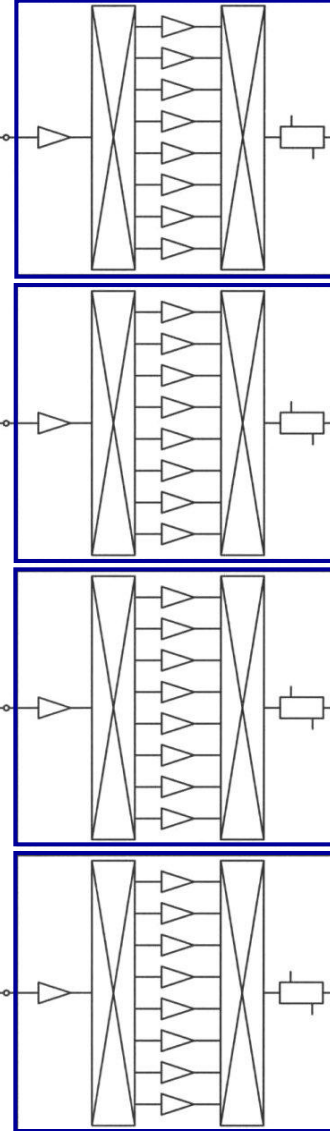
Module amplificateur
352,2 MHz – 315 W
Transistors MOSFET

RF Input
10 mW

Pré-amplificateur

Diviseur basse
puissance 4 voies

Etage 2,5 kW



Combiner forte
puissance 4 voies

Coupleur de
mesure

RF Output
10 kW



= transistor

L'état solide



Eurisol 10 kW à 350 MHz



Spiral II 20 kW à 88 MHz



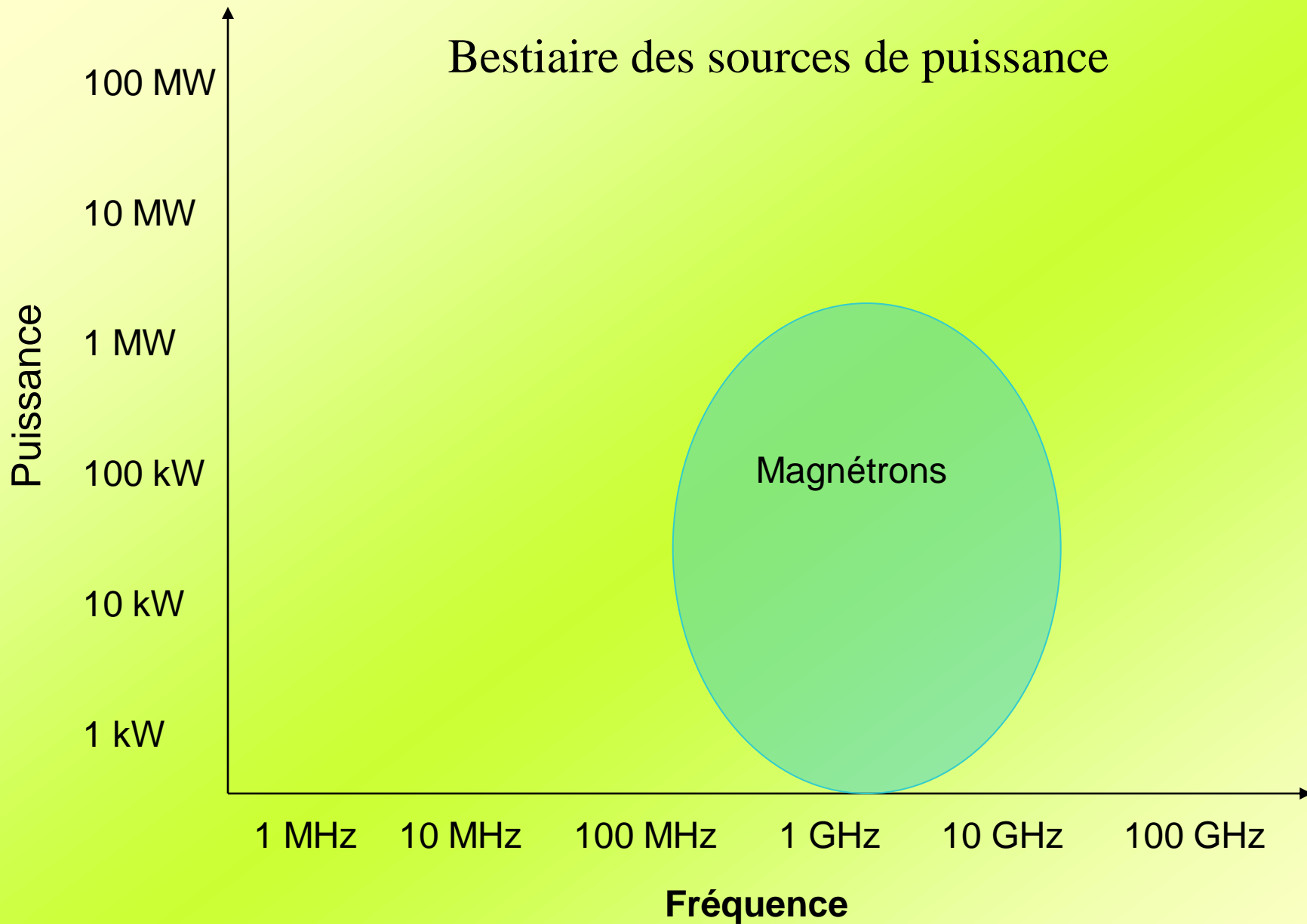
= transistor

L'état solide



SOLEIL 180kW @ 350 MHz

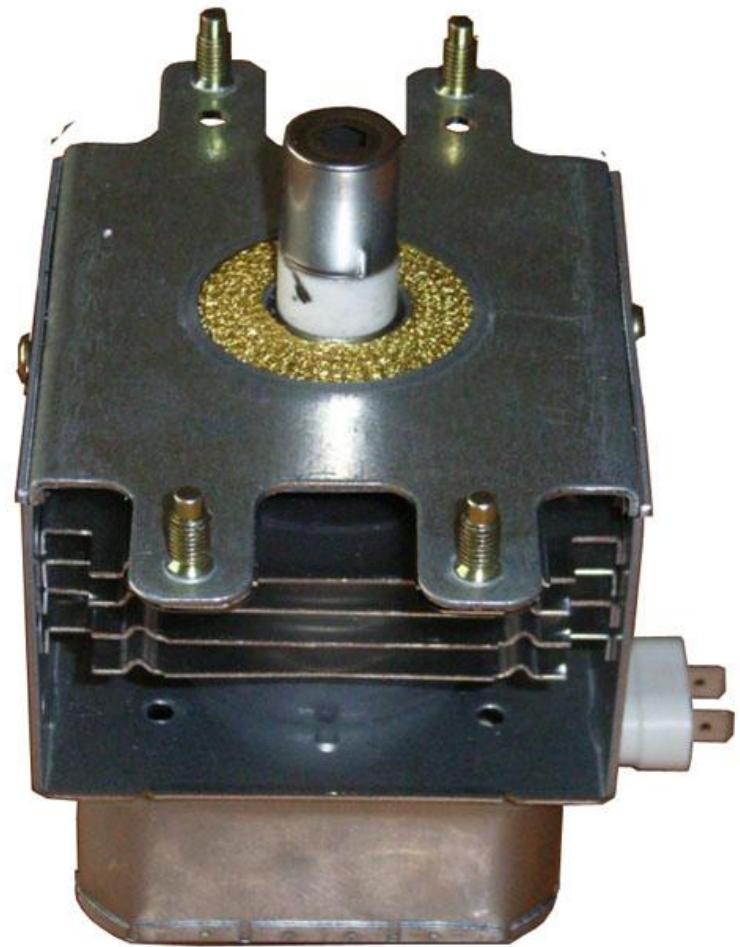
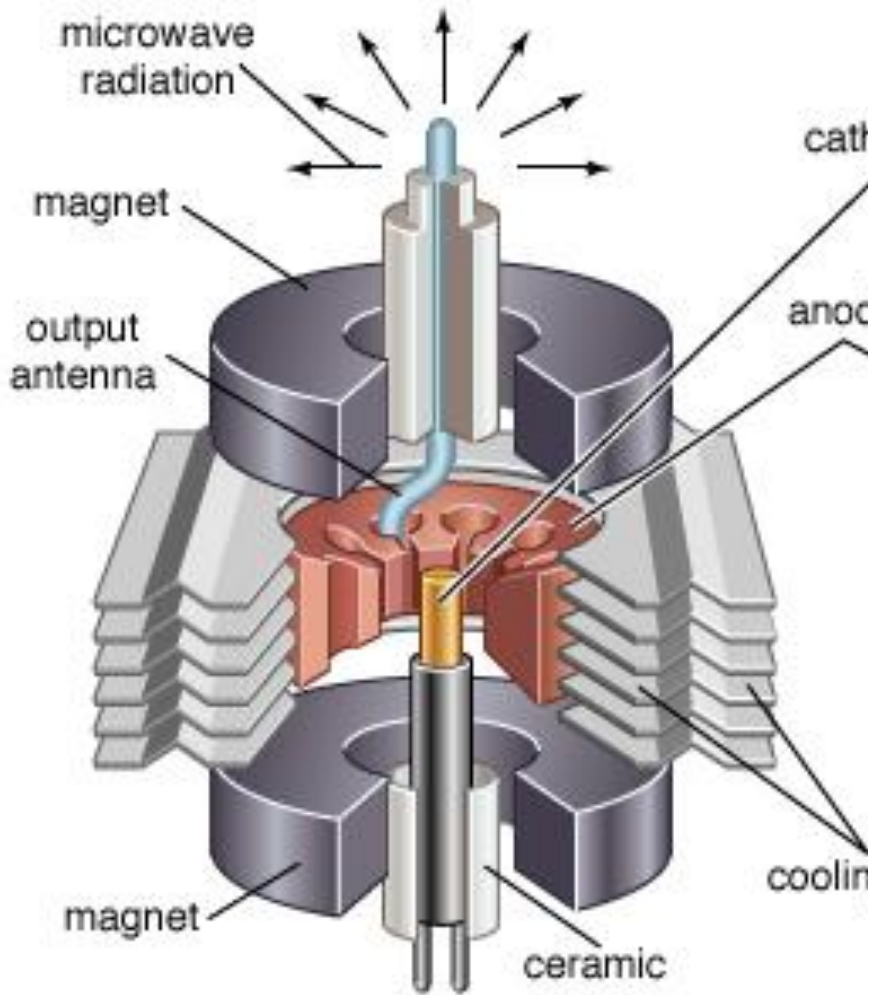
Bestiaire des sources de puissance



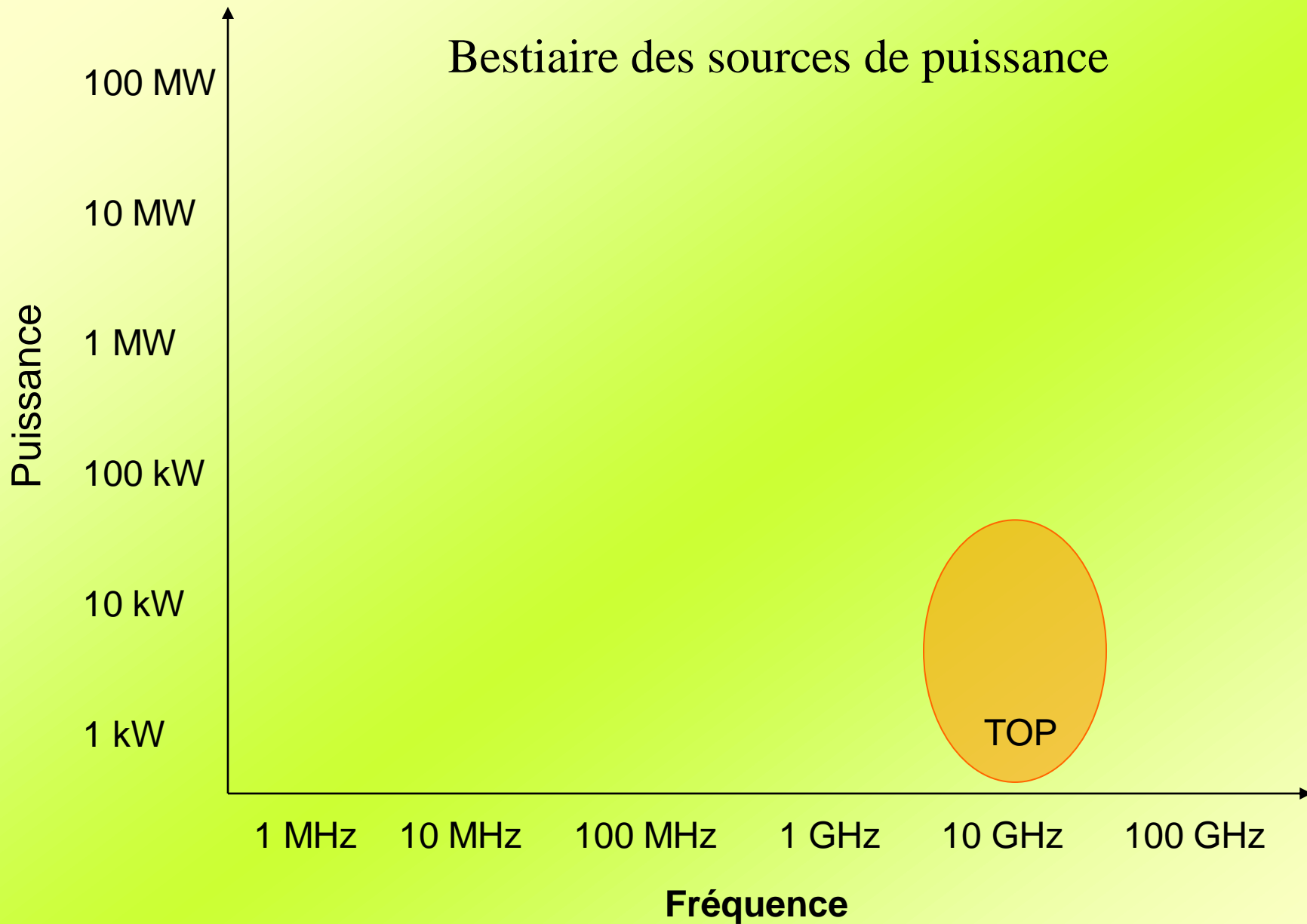


= cavités

Magnetron



Bestiaire des sources de puissance

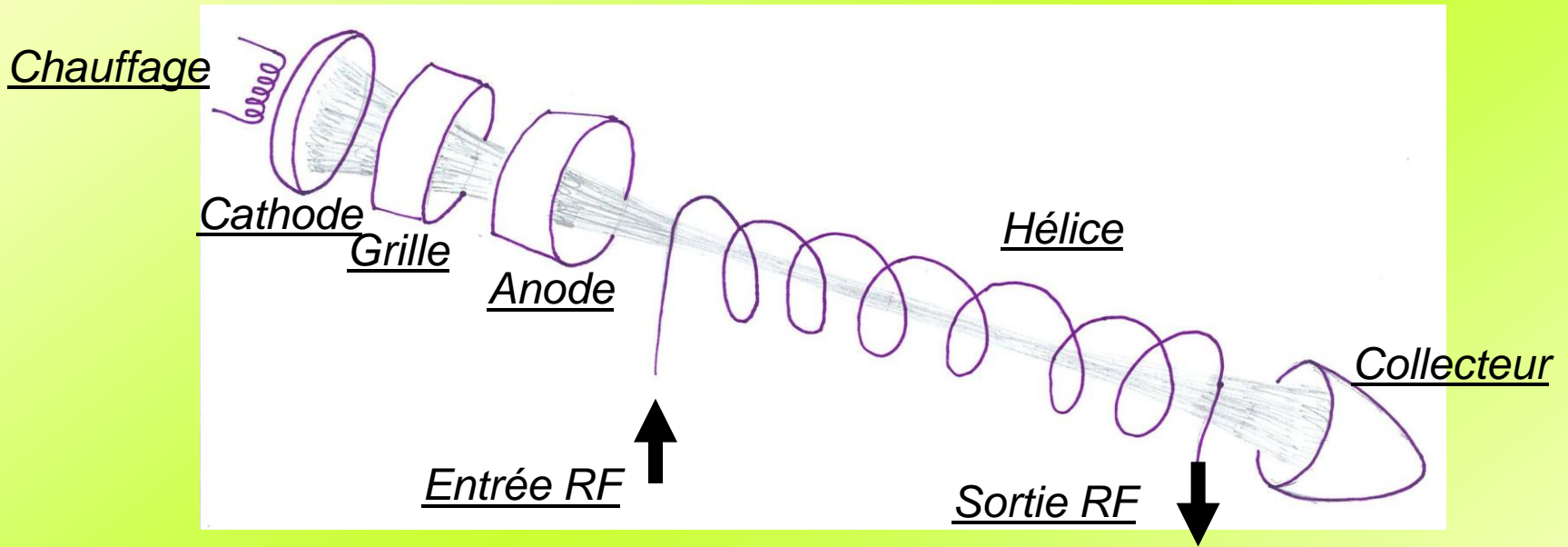




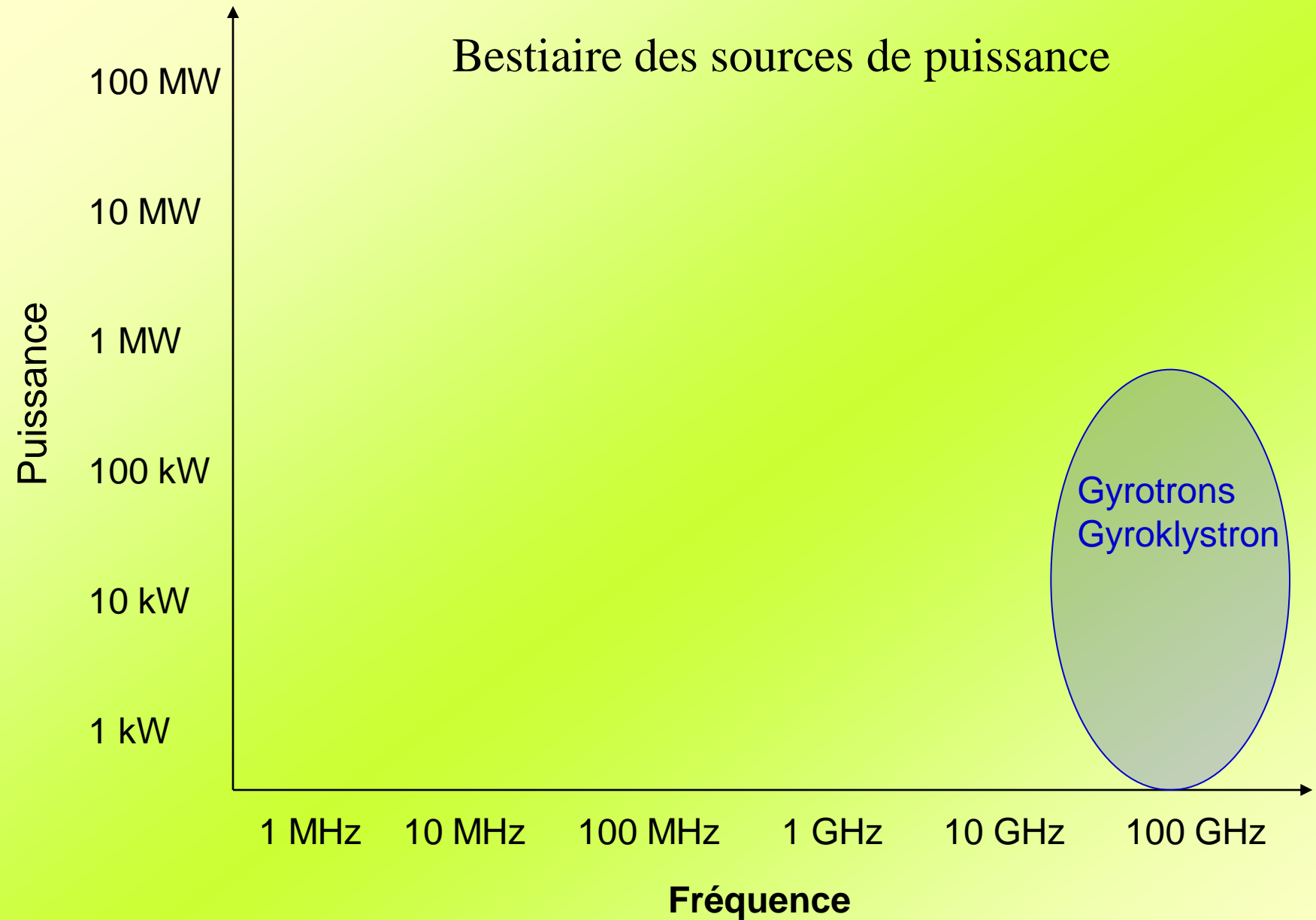
=

TOP (Tube à Onde Progressive)

Les TOP sont des amplificateurs large bande utilisés comme amplificateurs en mesure ou en puissance



Bestiaire des sources de puissance

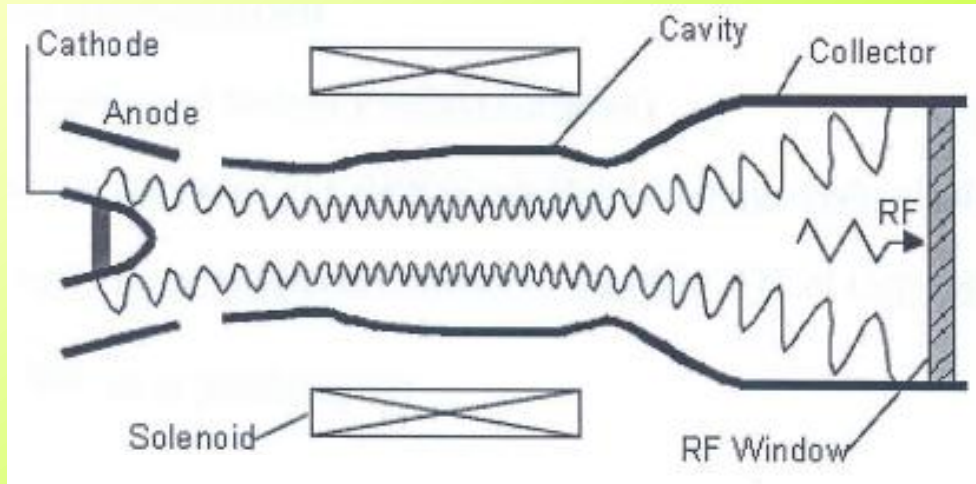




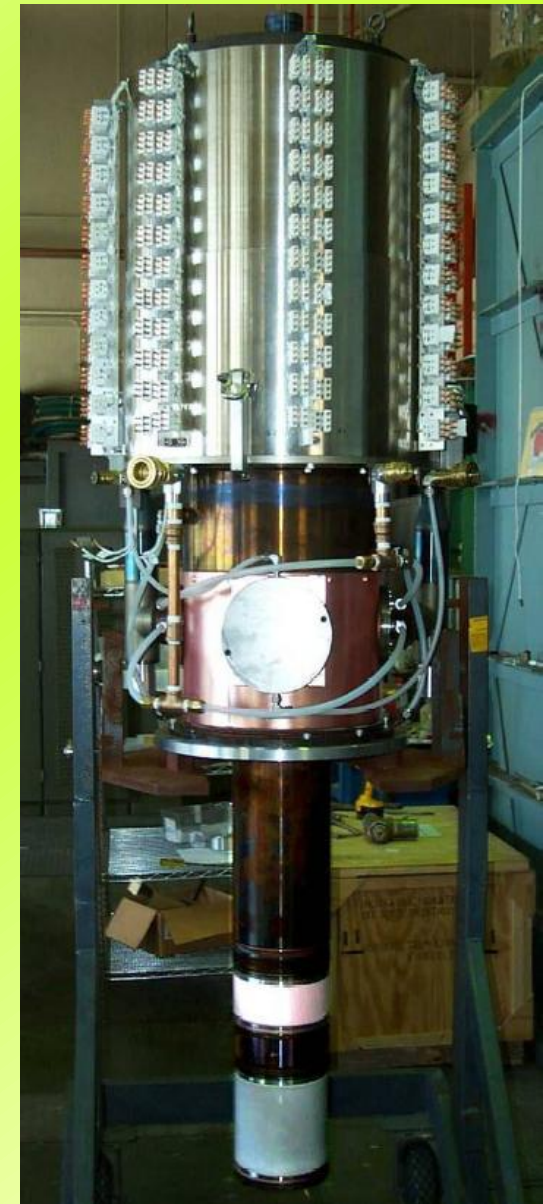
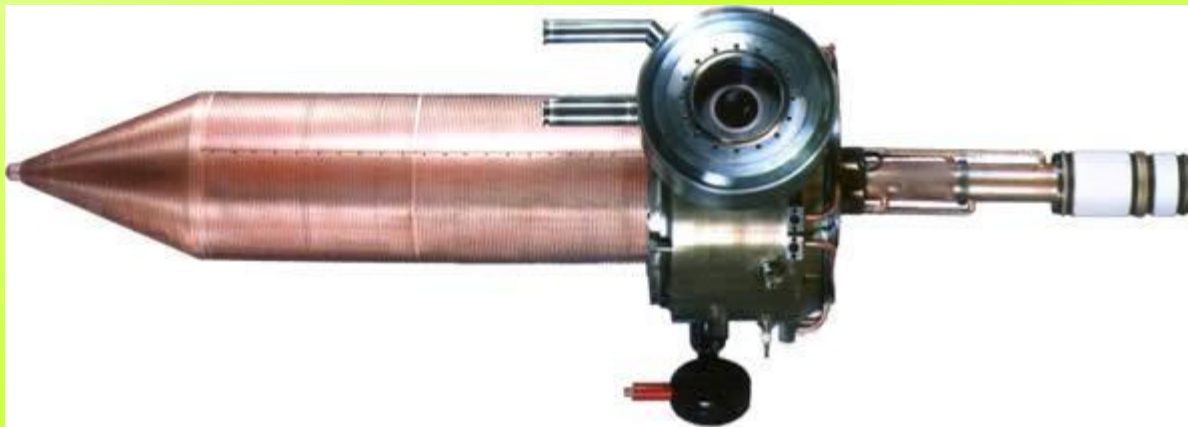
=MASER

Gyrotron

Microwave **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation



2,3 m



TH 1506 : 500 kW à 118 GHz.

900 kW à 140 GHz



Lire les caractéristiques d'une source

High power pulsed klystrons

Short and medium pulses ($\leq 10 \mu\text{s}$)

Band	Frequency	Reference	Peak output power	Average output power	Efficiency	Gain	Pulse duration	Cathode voltage	Beam current	Magnet
			typ. MW	typ. kW	typ. %	min. dB	max. μs	typ. kV	typ. A	
	GHz		typ. MW	typ. kW	typ. %	min. dB	max. μs	typ. kV	typ. A	
L	1.3	TV 2022	20	40	40	50	8	235	215	TH 20100
		TV 2022A	20	50	42	49	8	239	199	TH 20100
		TV 2022B	20	60	42	49	10	239	199	TH 20100
		TV 2022D	30	60	42	50	7	275	260	TH 20100
	1.5	TH 2170	20	10	42	49	5	235	215	TH 20100
S	2.856	TH 2163	7.5	8	48	48	6	150	105	TH 20578
		TH 2163A	10	10	48	50	3.5	168	124	
		TH 2129	20	30	41	53	7.5	228	218	TH 20393
		TH 2171 (1)	25	20	43	51	6	243	240	TH 20690 (3)
		TH 2128 (1)	35	17.5	43	53	5	280	291	
		TH 2128A (1)	45	7	44	53	2.5	305	335	TH 20689 (3)
		TH 2128C/D (1)	45.5	10	43	54	4.5	315	335	TH 20690 (3)
		TH 2128E	30	24	43	53	5	261	270	
		TH 2146	45	20	43	55	4.5	307	340	TH 20691 (3)

High-power CW klystron amplifiers

Band	Frequency	Reference	Output power	Efficiency	Gain	Cathode voltage	Beam current
	GHz		typ. kW	typ. %	min. dB	typ. kV	typ. A
P	0.350	TH 2089F (1)(2)	1 100	62	40	94	19
		TH 2089A/D (1)(2)(3)	1 100	62	40	94	19
	0.352	TH 2089C (1)(2)(3)	1 100	65	40	90	19
		TH 2089B (1)(2)(3)	1 300	65	40	100	20
	0.368	TH 2145	200	58	43	41	8.3
	0.401	TH 2167 (1)	300	63	37	54	8.8
		TH 2161/C (1)	180	61	40	44	6.7
	0.500	TH 2161 A (1)	250	63	40	49	8.1
		TH 2161 B (1)	310	61	42	52	10
			TH 2178 (1)	800	62	40	75
S	2.450	TH 2174	50	59	48	26.5	3.2
	2.856	TH 2110	50	57	48	26.5	3.3

Annotations:

- 90.4 dBm (red box) points to the Efficiency column for TH 2089C.
- 50.4 dBm (black box) points to the Gain column for TH 2089C.
- ≈ 110 W (black box) points to the Gain column for TH 2089C.
- 1 710 kW (green box) points to the Cathode voltage column for TH 2089C.
- ≈ 3500 kVA (red box) points to the Cathode voltage column for TH 2089C.

Traité d'électricité Vol XIII Hyperfréquences de Fred Gardiol
Micro-ondes de Paul F.Combes

...

<http://www.thalesgroup.com/electrondevices>

<http://www.cpii.com/>

http://www.toshiba-tetd.co.jp/eng/electron/e_kly.htm

Merci de votre attention

COMPOSANTS et MESURES RF



Jean Lesrel

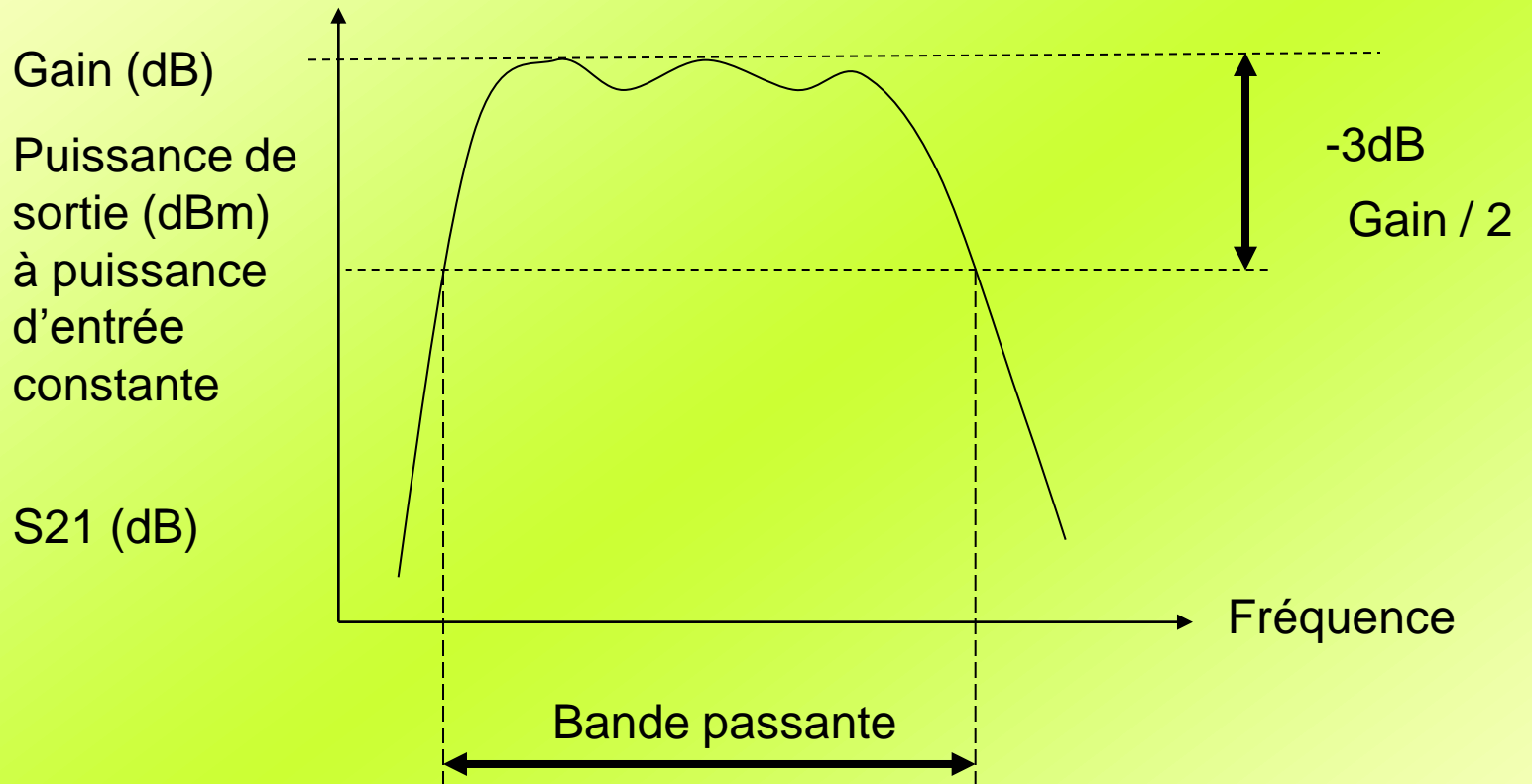
lesrel@ipno.in2p3.fr



Ecole IN2P3 des Accélérateurs
La Londe les Maures
Septembre 2009

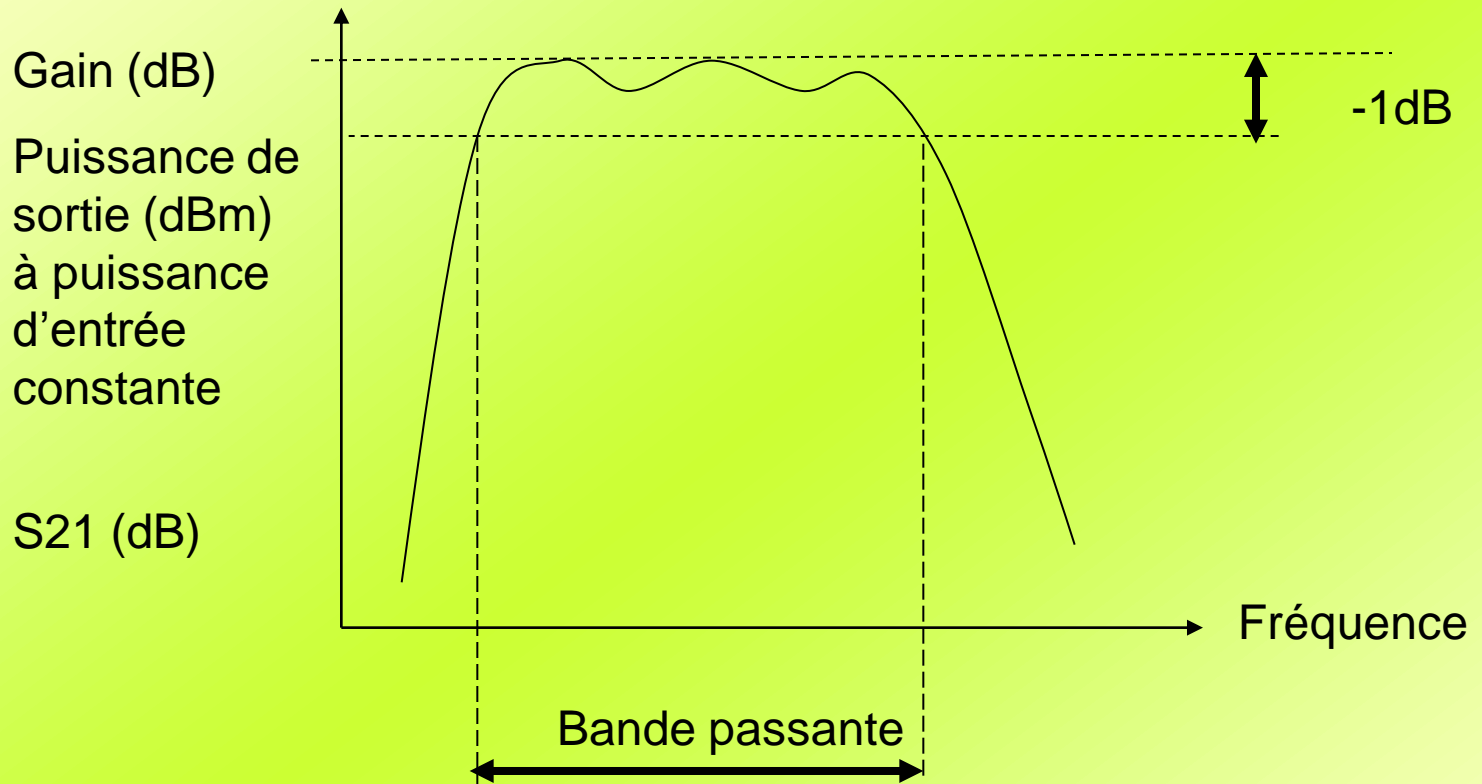
Notion de largeur de bande ou bande passante

Dans quelle gamme de fréquence la source de puissance fonctionne



Notion de largeur de bande ou bande passante

Dans quelle gamme de fréquence la source de puissance fonctionne



Attention à bien mentionner : Bande passante à -1 dB xxx MHz

Mesures de puissance

Wattmètre : mesure une puissance



Sondes



Grande dynamique : 60 à 90 dB

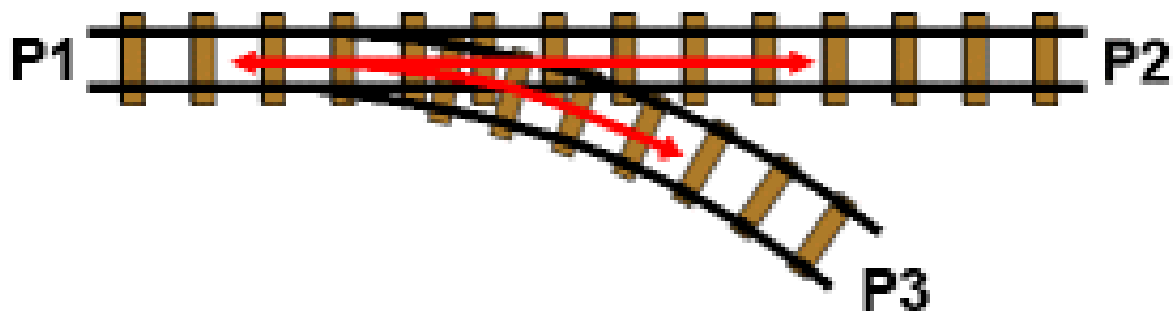
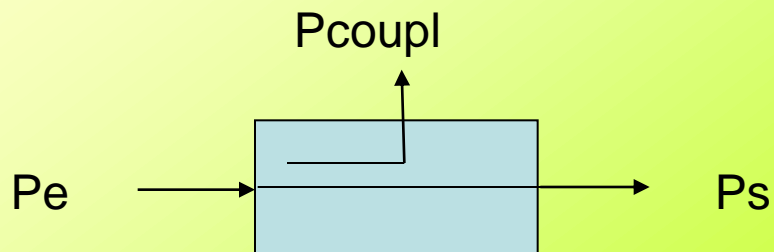
$P_{max} = 20 \text{ dBm}$ soit 100 mW

Atténuateurs



Attention à la puissance dissipée

Coupleurs



$$\text{couplage (dB)} = 10 \log_{10} (P_e / P_{\text{coupl}})$$

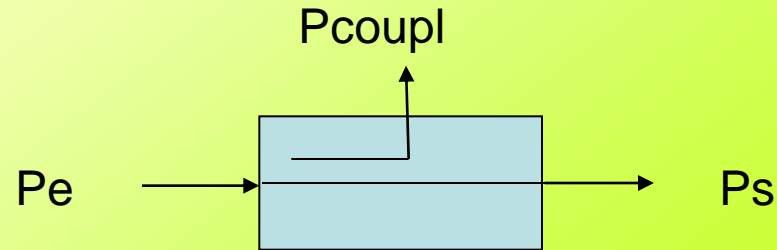
$$\text{couplage (dB)} = P_e(\text{dBm}) - P_{\text{coupl}}(\text{dBm})$$

Perte d'insertion ou main-line loss

$$\text{Perte d'insertion (dB)} = 10 \log_{10} (P_e / P_s)$$

$$\text{Perte d'insertion (dB)} = P_e(\text{dBm}) - P_s(\text{dBm})$$

Coupleurs



Perte d'insertion minimum (coupleur idéal)

$$\text{Perte d'insertion (dB)} = 10 \log_{10} (P_e / P_s)$$

$$P_s = P_e - P_{coupl}$$

$$\text{Perte d'insertion minimum (dB)} = 10 \log_{10} [1 / (1 - 10^{-CPL/10})]$$

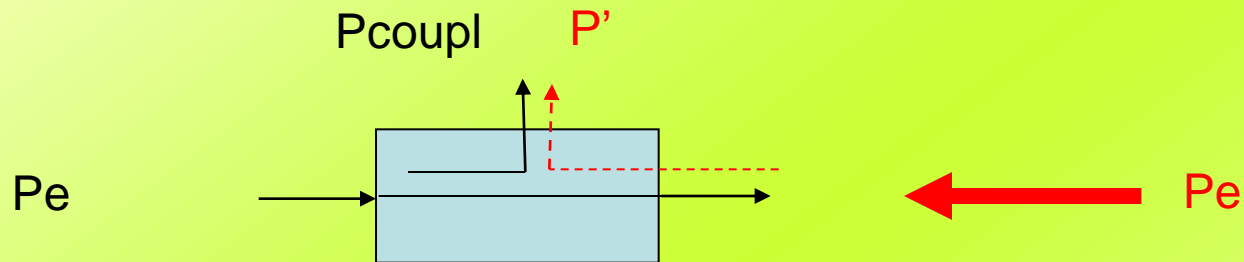
Coupling, dB

**Theoretical Minimum
Main Line Insertion Loss, dB**

6	1.2
10	.46
15	.14
20	.04
30	.004

Coupleurs

Attention à la directivité



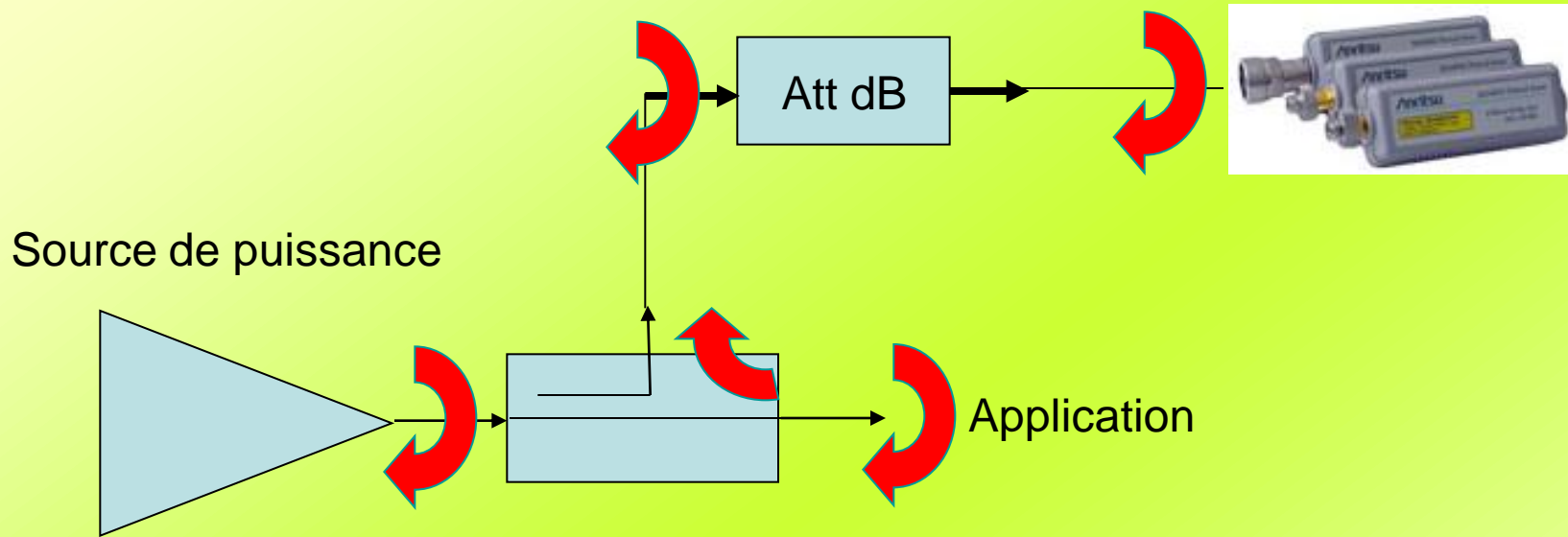
$$\text{Directivité (dB)} = 10 \log_{10} (P_{\text{coupl}} / P')$$

$$\text{Directivité(dB)} = 10 \log^{10} [P_{\text{coupl}}/P_e] - 10 \log^{10} [P'/P_e]$$

$$= - \text{couplage(dB)} - P'(\text{dBm}) + P_e(\text{dBm})$$

$$P'(\text{dBm}) = P_e(\text{dBm}) - \text{couplage(dB)} - \text{Directivité (dB)}$$

Mesures de puissance



Les erreurs sont nombreuses:

Incertitudes de la sonde

Réflexions sur la sonde et autres composants

Incertitudes sur les atténuations (atténuateur et câbles) et couplage

Directivité, rapport cyclique, harmoniques ...

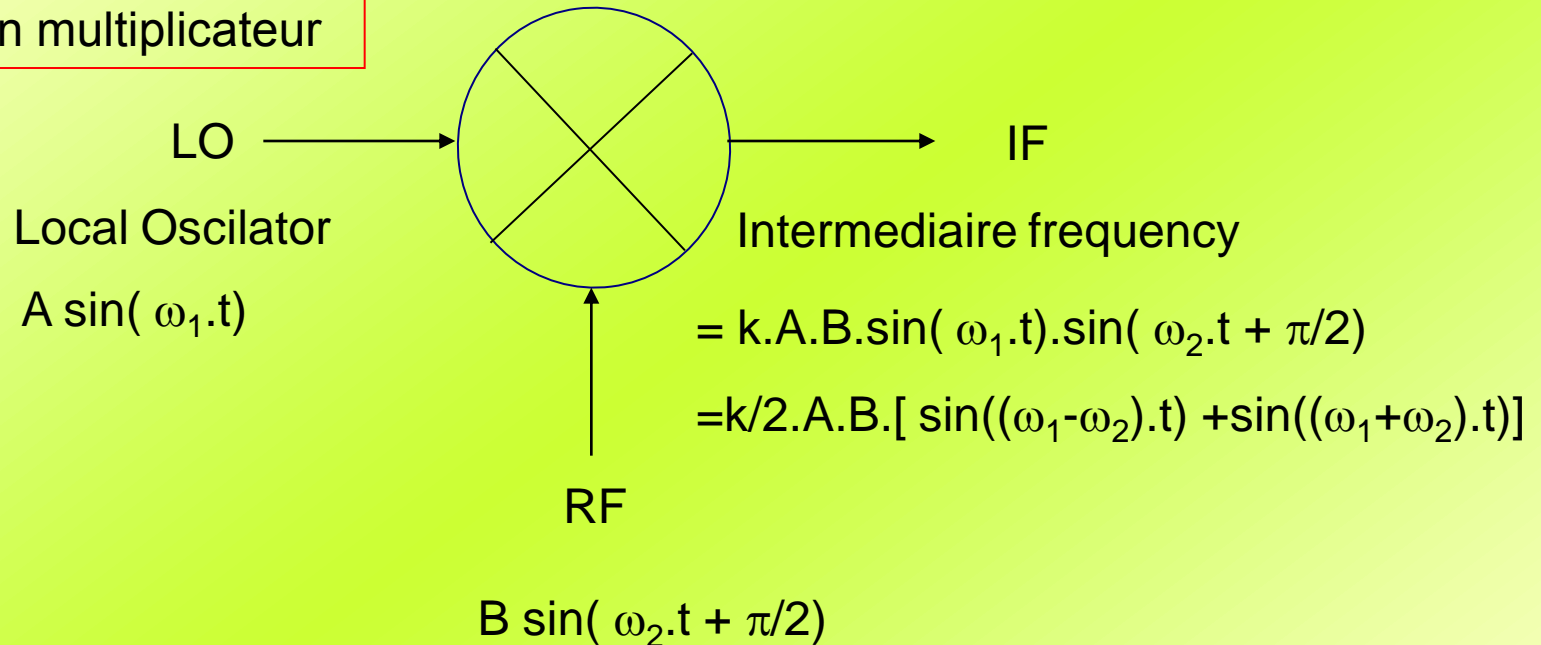
etc...

On mesure des mW pour des puissances crêtes de plusieurs centaines de kW

Le Mélangeur (Mixer)

C'est le composant fondamentale de tout changement de fréquence, il a plusieurs fonctions (modulation, démodulation, changement de fréquence, mesure de phase etc...). Le mélangeur est formé d'un ou plusieurs éléments non linéaire (diode).

C'est un multiplicateur

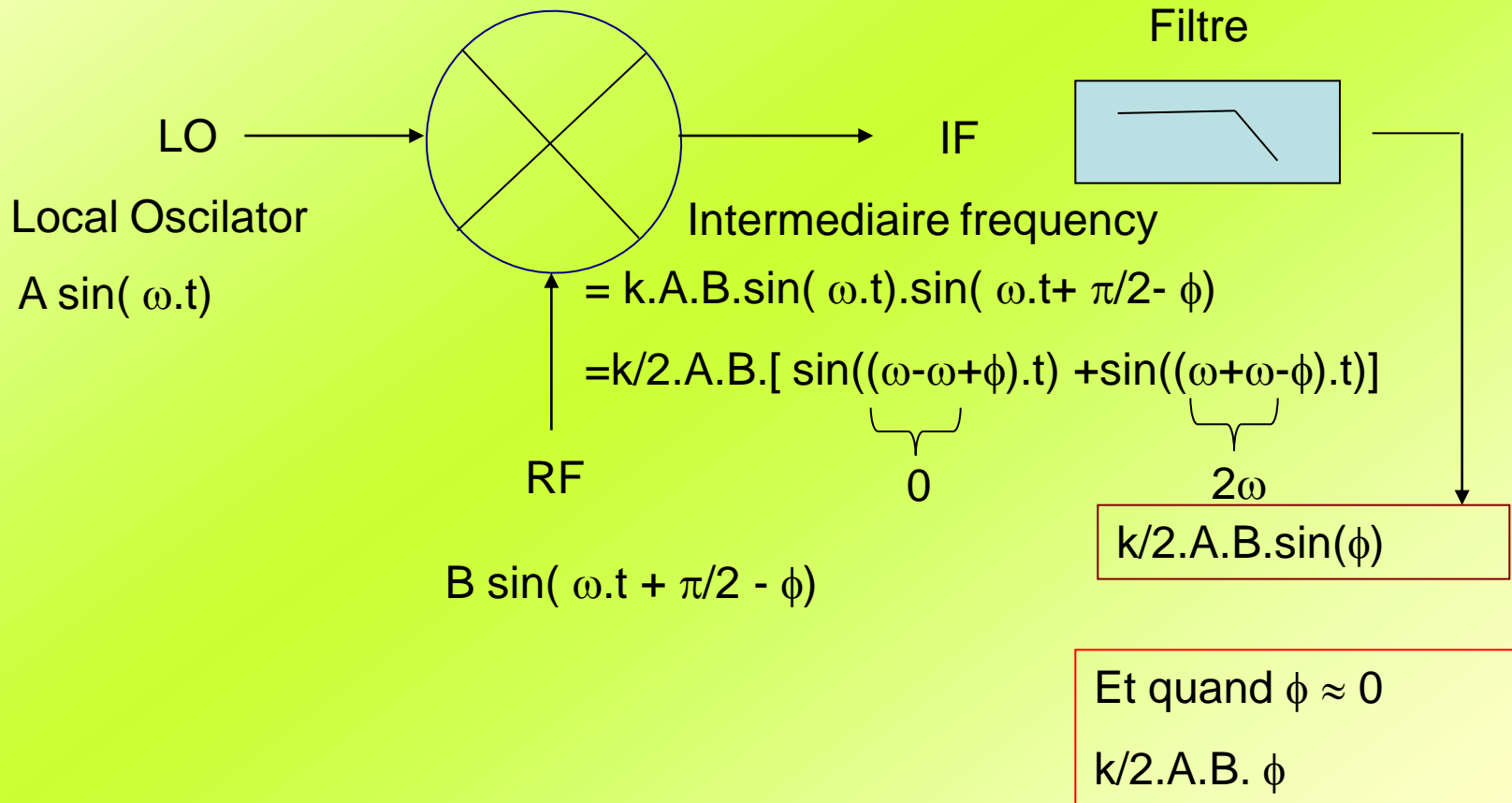


Au premier ordre on se retrouve avec la somme de deux sinusoïdes à
 f_1-f_2 et f_1+f_2

Après filtrage (passe-haut ou passe-bas) on ne garde que f_1-f_2 ou f_1+f_2

Le Mélangeur (Mixer)

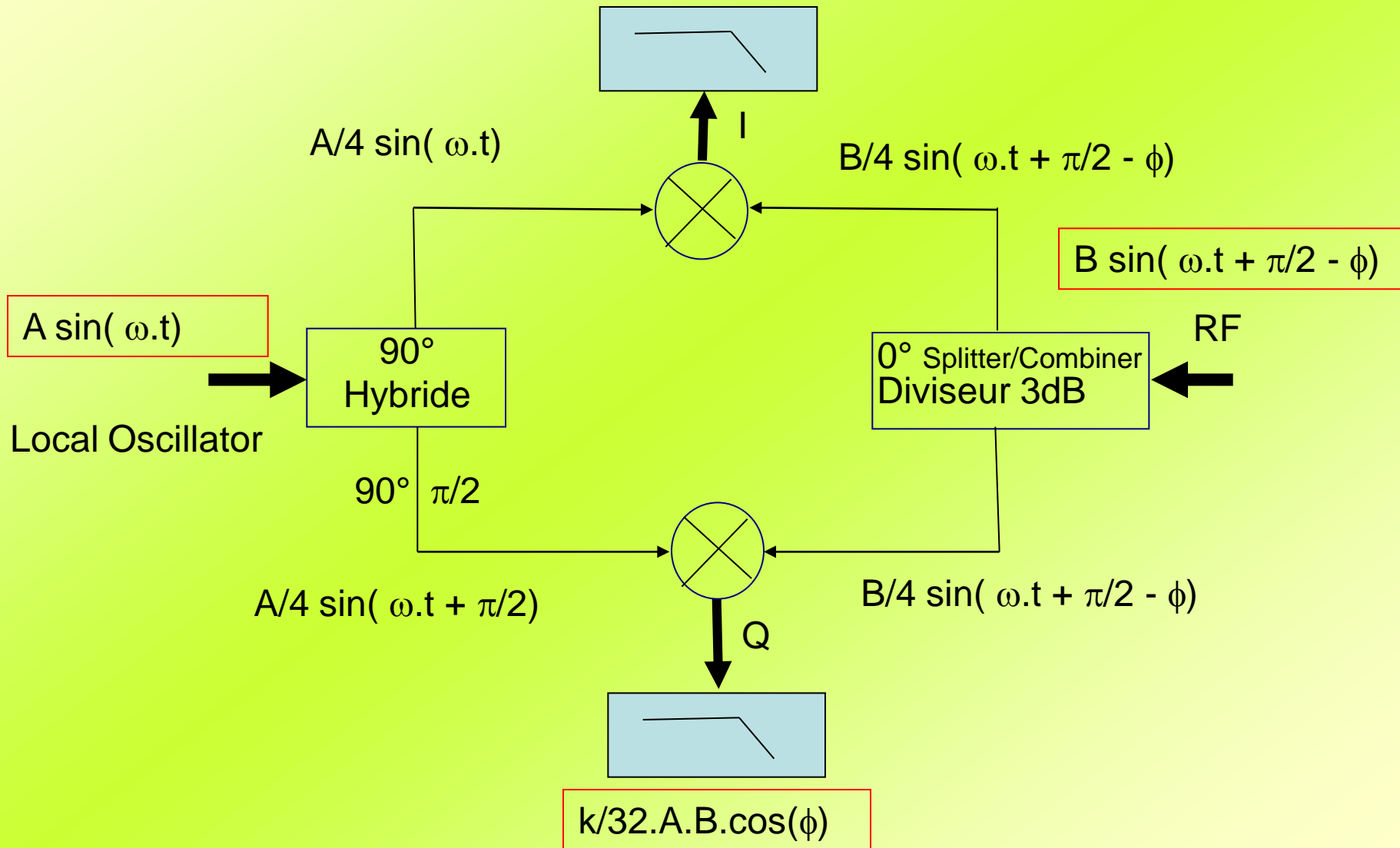
Mesure de phase quand $\omega_1 = \omega_2 = \omega$



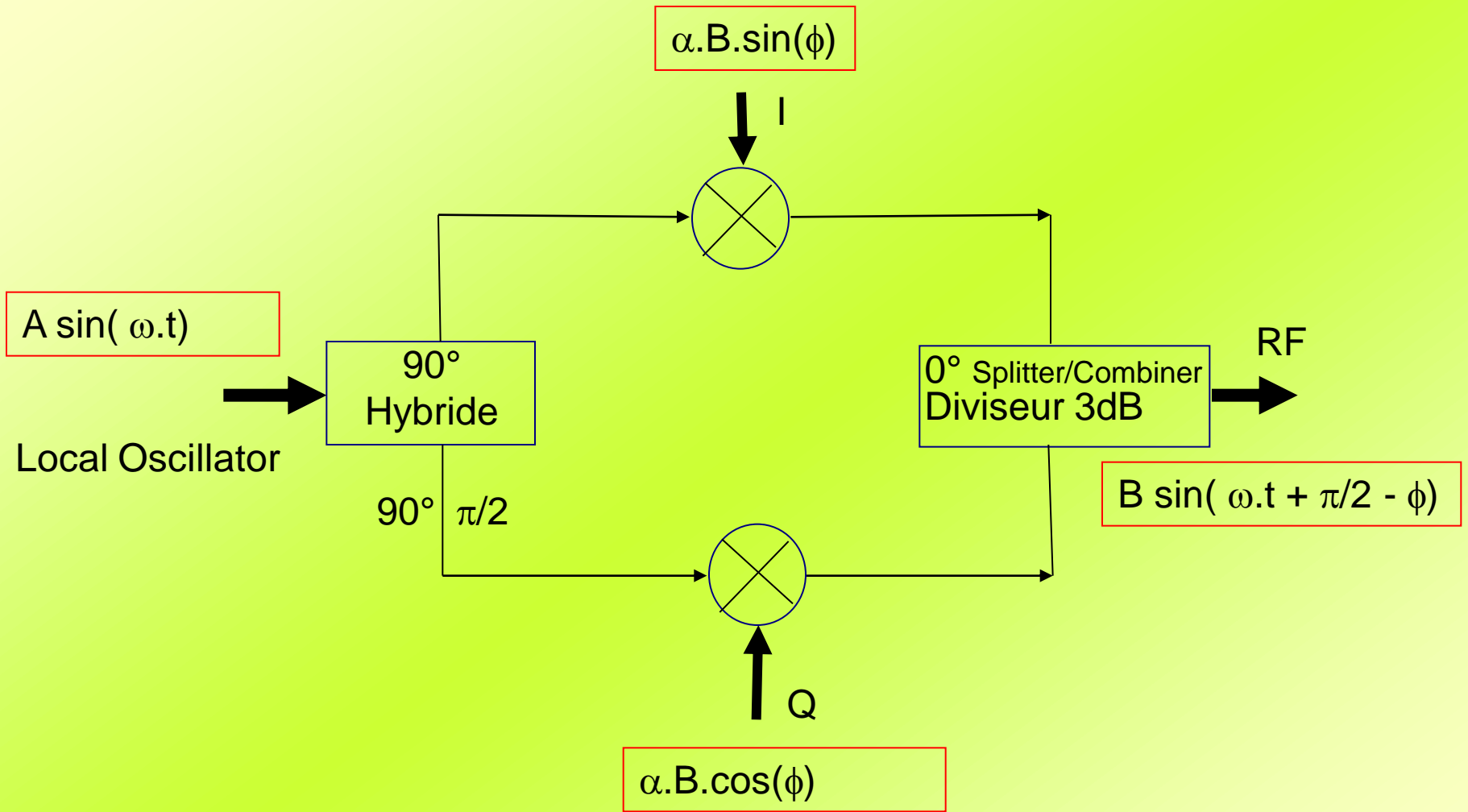
A et B doivent être constants

Démodulateur I/Q

$$k/32.A.B.\sin(\phi)$$

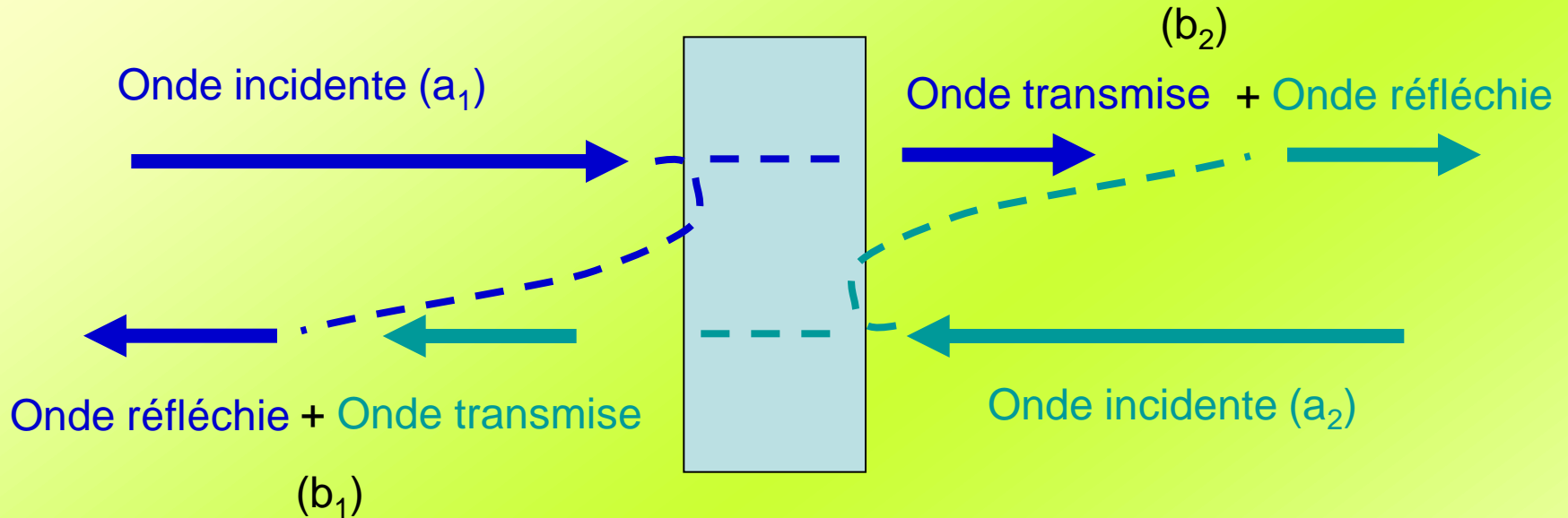


modulateur I/Q



paramètres S

Les paramètres S caractérisent un quadripôle



Ondes qui sont des racines carrés de watts

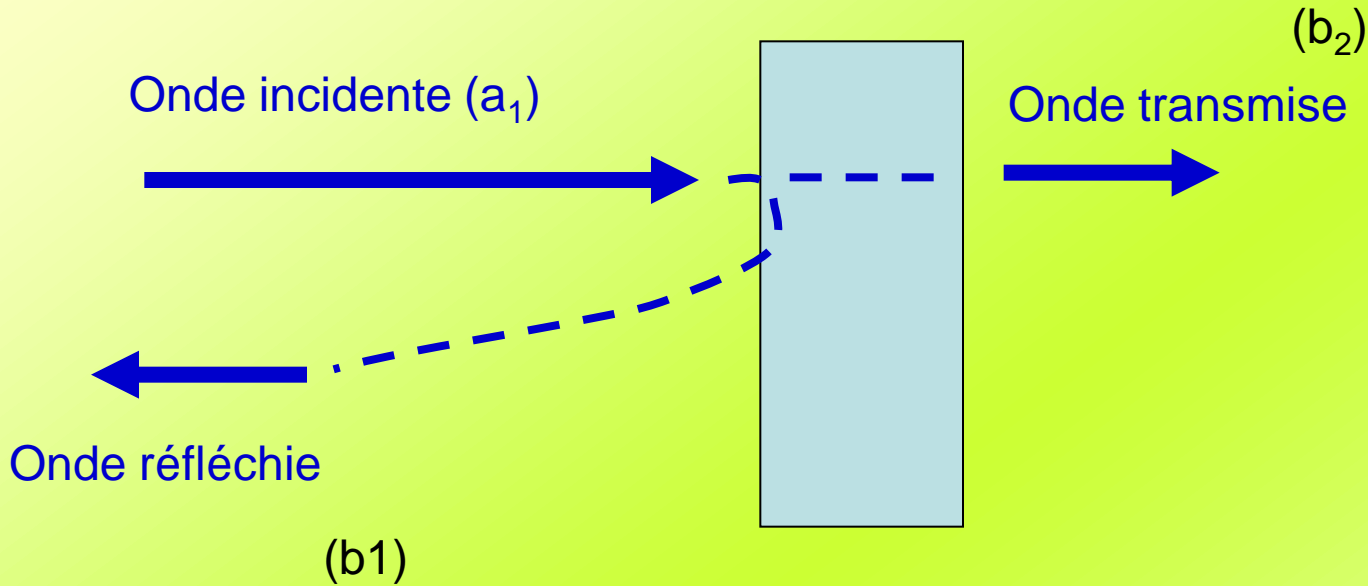
$$b_1 = S_{11} a_1 + S_{12} a_2$$

$$b_2 = S_{21} a_1 + S_{22} a_2$$

a, b et S sont des valeurs complexes (Amplitude et Phase ou Réel et Imaginaire)

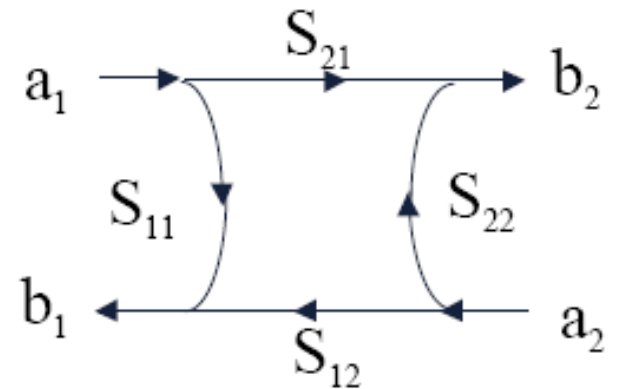
- S_{11} et S_{22} traduisent la réflexion du signal incident à chacun des accès
- S_{21} et S_{12} traduisent la propagation du signal à travers le quadripôle

Mesures des paramètres S



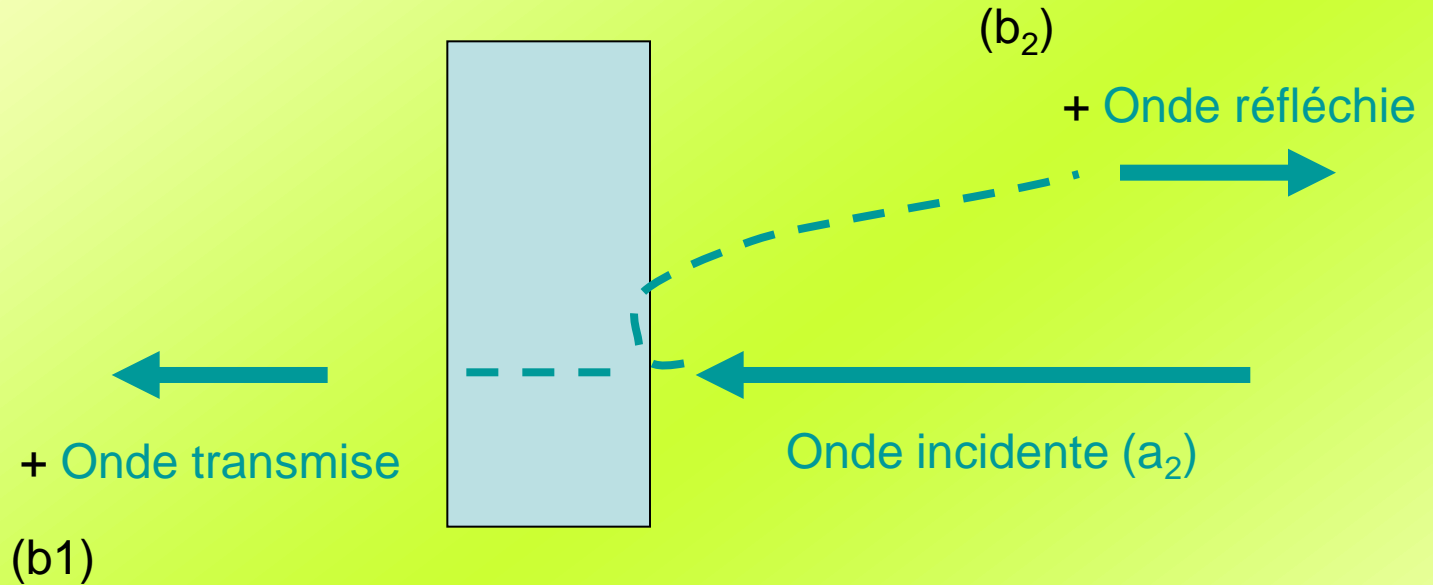
- Les paramètres S sont obtenus comme

$$\begin{array}{l}
 S_{11} = b_1 / a_1 \Big|_{a_2=0} \\
 S_{21} = b_2 / a_1 \Big|_{a_2=0}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 S_{12} = b_1 / a_2 \Big|_{a_1=0} \\
 S_{22} = b_2 / a_2 \Big|_{a_1=0}
 \end{array}$$



L'amplitude de S_{11} ($|S_{11}|$) compris entre 0 et 1, la phase de S compris entre 0 et 2π
 L'amplitude de S_{21} ($|S_{21}|$) compris entre 0 et 1 (atténuation) >1 (amplification)

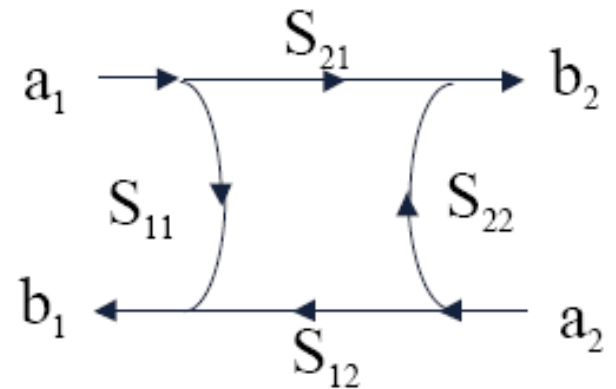
Mesures des paramètres S



- Les paramètres S sont obtenus comme

$$S_{11} = b_1 / a_1 \Big|_{a_2=0} \quad S_{12} = b_1 / a_2 \Big|_{a_1=0}$$

$$S_{21} = b_2 / a_1 \Big|_{a_2=0} \quad S_{22} = b_2 / a_2 \Big|_{a_1=0}$$



L'amplitude de S_{22} ($|S_{22}|$) compris entre 0 et 1, la phase de S compris entre 0 et 2π
 L'amplitude de S_{12} ($|S_{12}|$) compris entre 0 et 1 (atténuation) >1 (amplification)

Coefficient de réflexion S_{11} ROS VSWR SWR TOS Return Loss

Coefficient de réflexion est défini comme le rapport de l'onde réfléchie à l'onde incidente à un endroit donné d'une ligne.

$$\Gamma = \rho \angle \theta$$

S_{11} est défini comme le rapport de l'onde réfléchie à l'onde incidente d'un quadripôle.

$$\text{Coefficient de réflexion} = S_{11}$$

$$\text{Return loss} = -10 \log_{10} (P_r/P_i) = -20 \log_{10} (|S_{11}|) = -20 \log_{10} (\rho)$$

ROS Rapport des ondes stationnaires

et en anglais

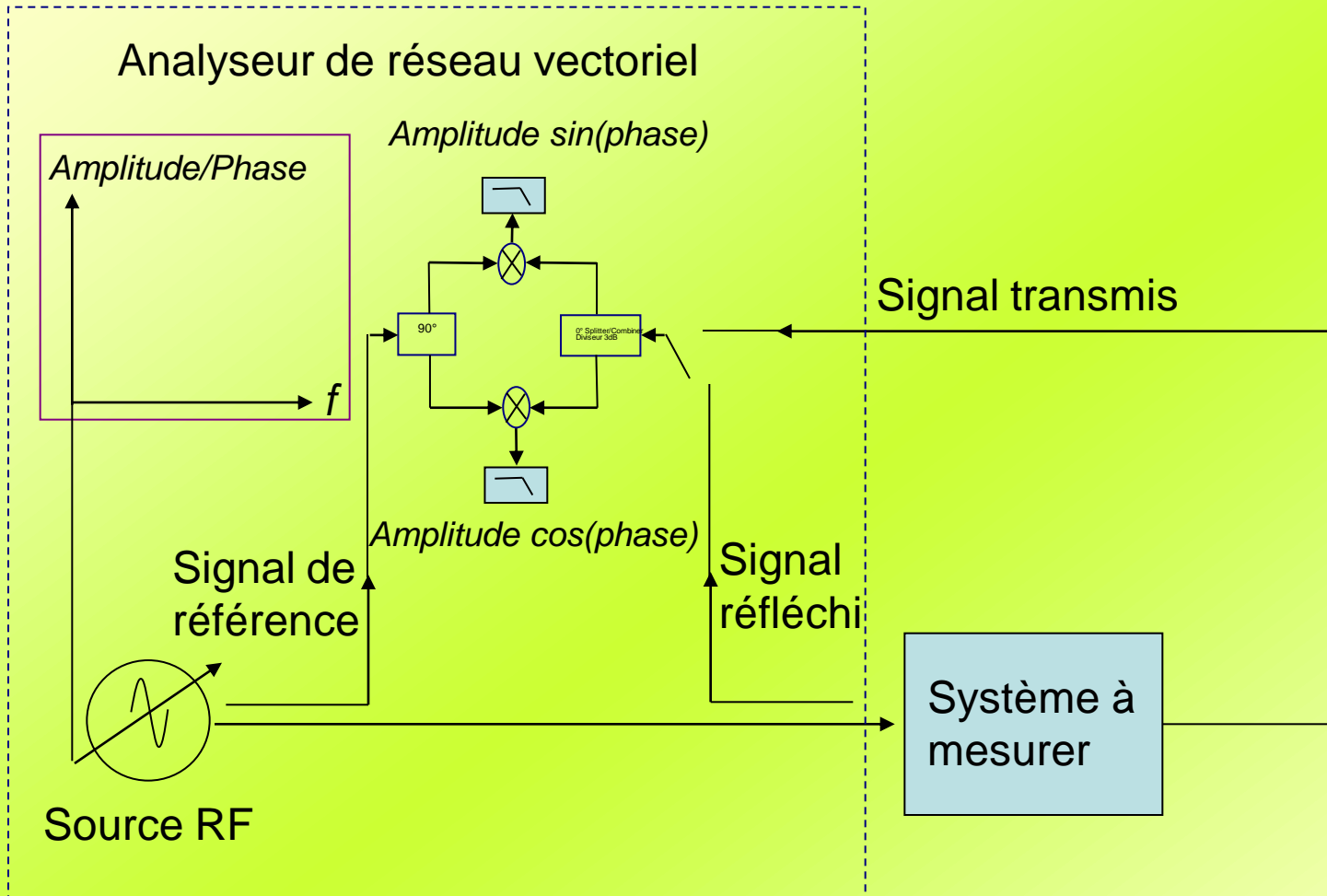
VSWR Voltage Standing Waves Ratio

SWR Standing Waves Ratio

$$ROS = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

Le ROS est appelé TOS (Taux d'onde stationnaire) ce qui n'est judicieux pour une quantité comprise entre 1 et ∞ , mais c'est pourtant le terme TOS le plus usité.

Mesures des paramètres S

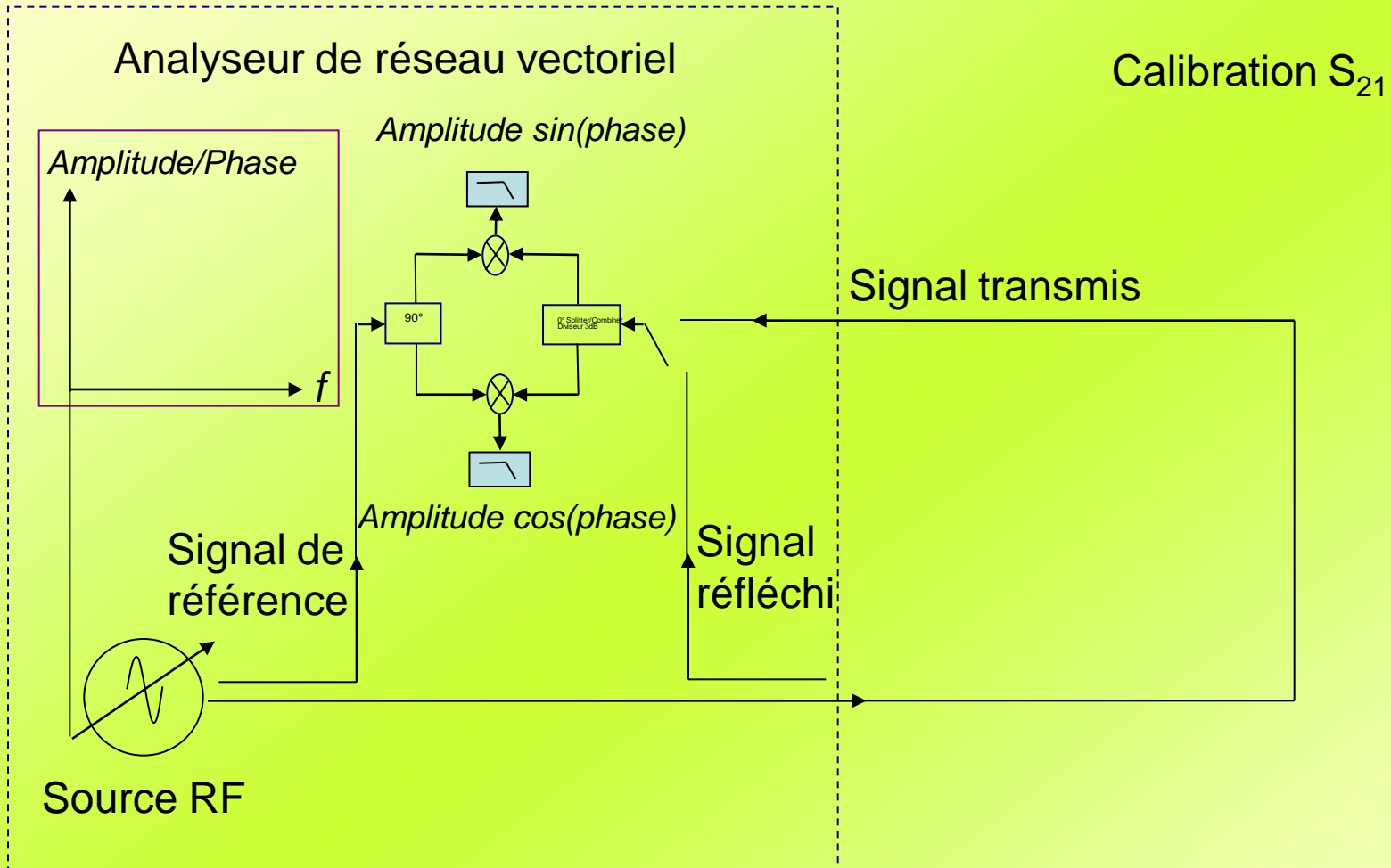


L'amplitude des paramètres S sont très souvent donnés en dB

$$20 \log_{10} (|S_{11}|)$$

La phase des paramètres S sont très souvent donnés en $^\circ$

Mesures des paramètres S

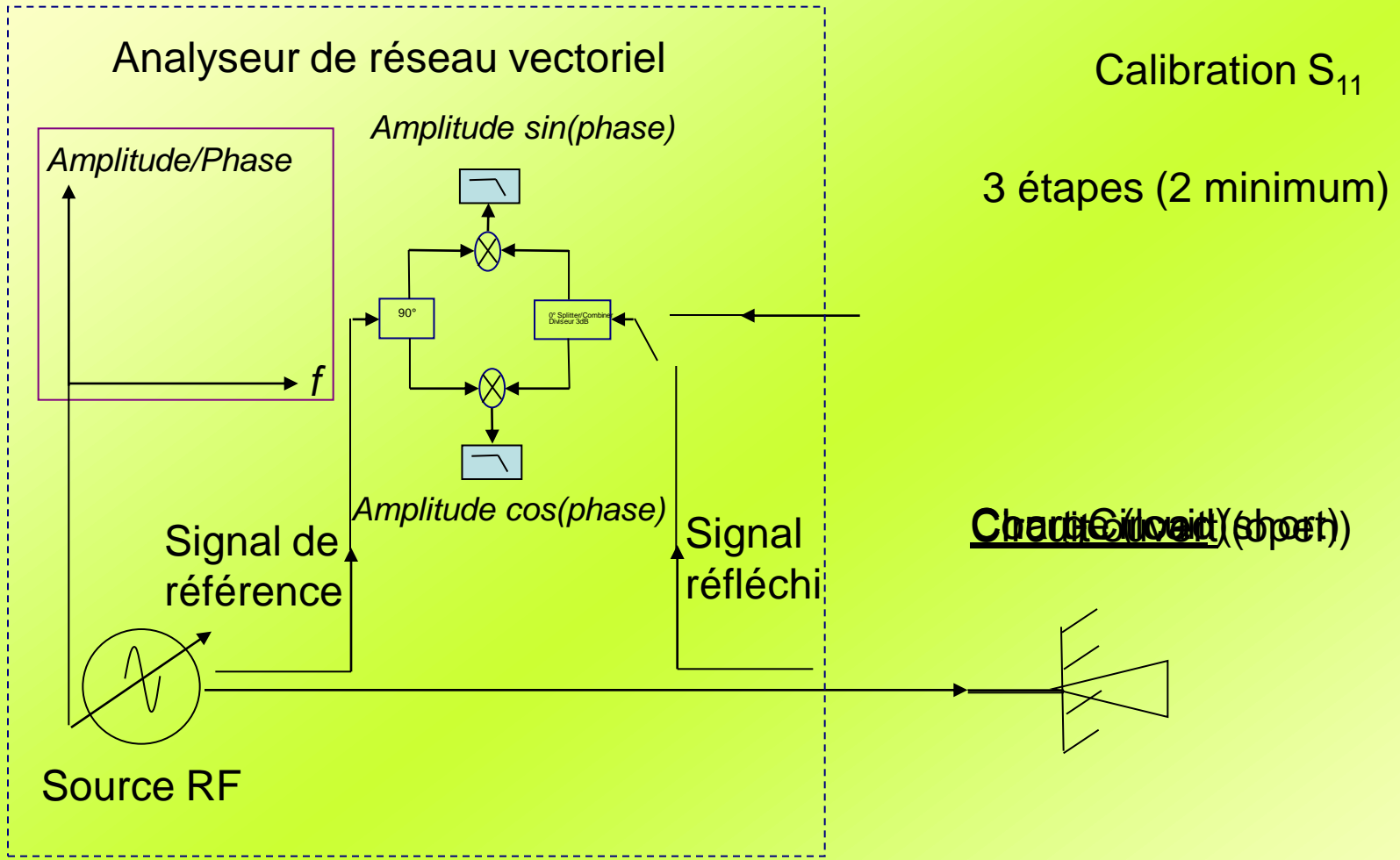


$$|S_{21}| = 1$$

$$20 \log_{10} (|S_{21}|) = 0\text{dB}$$

$$\text{Phase } S_{21} = 0^\circ$$

Mesures des paramètres S

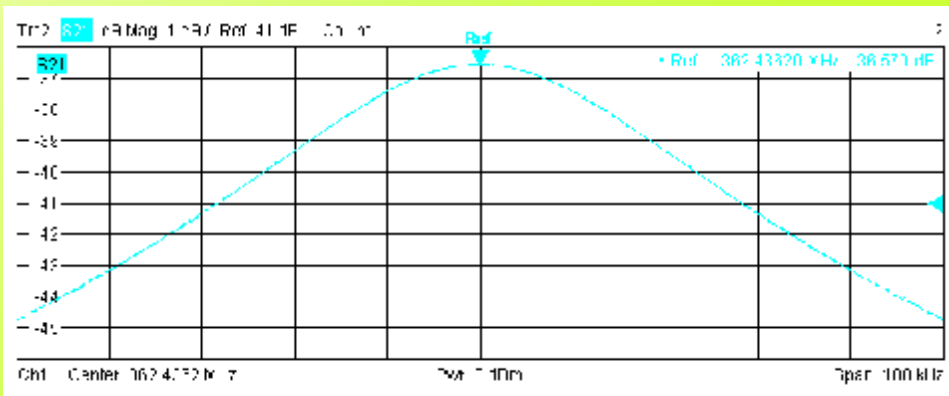


$|S_{11}| = 0$

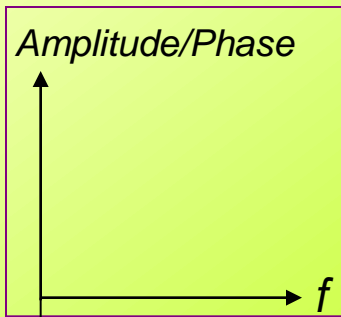
$20 \log_{10} (|S_{11}|) = -\infty \text{ dB}$

Phase $S_{11} = 180^\circ$

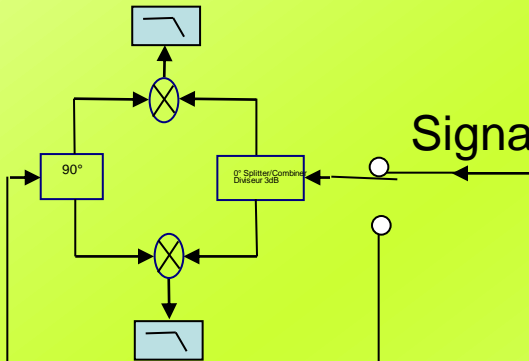
Exemple de mesure d'une cavité



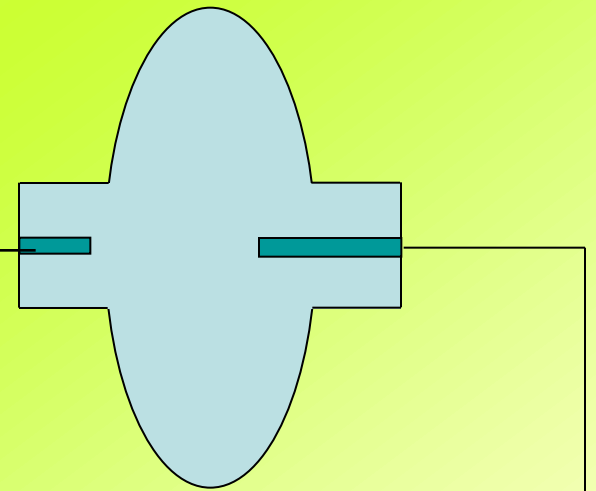
Analyseur de réseau vectoriel



Amplitude $\sin(\text{phase})$



Signal transmis

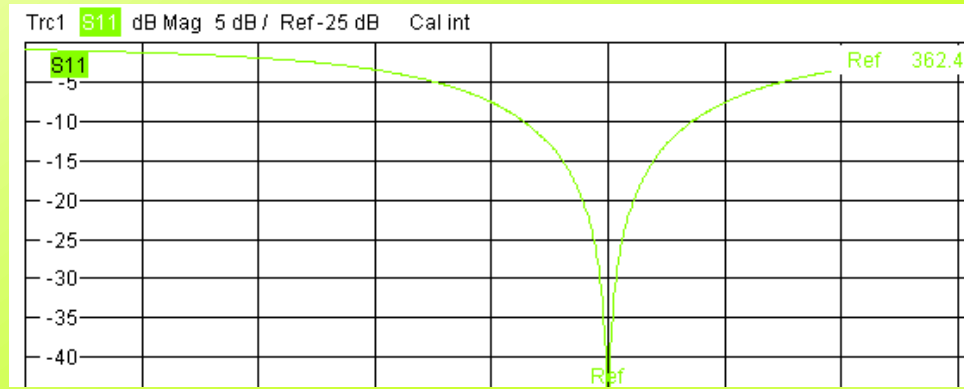


Signal de référence

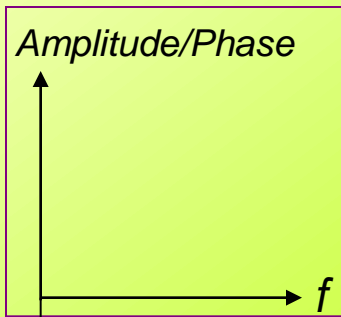


Source RF

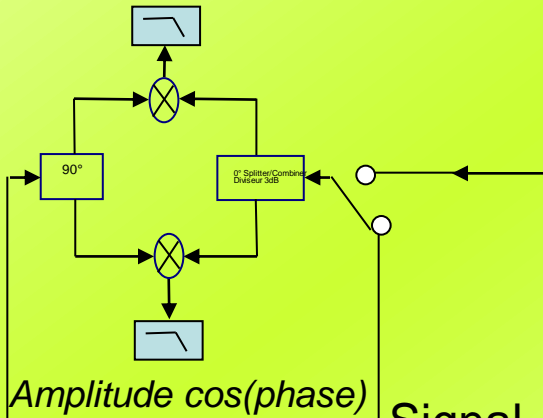
Exemple de mesure d'une cavité



Analyseur de réseau vectoriel



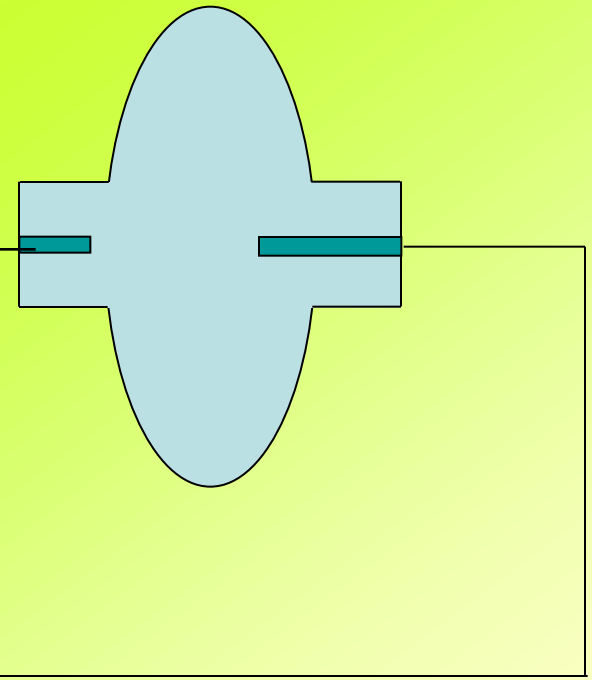
Amplitude $\sin(\text{phase})$



Signal de référence

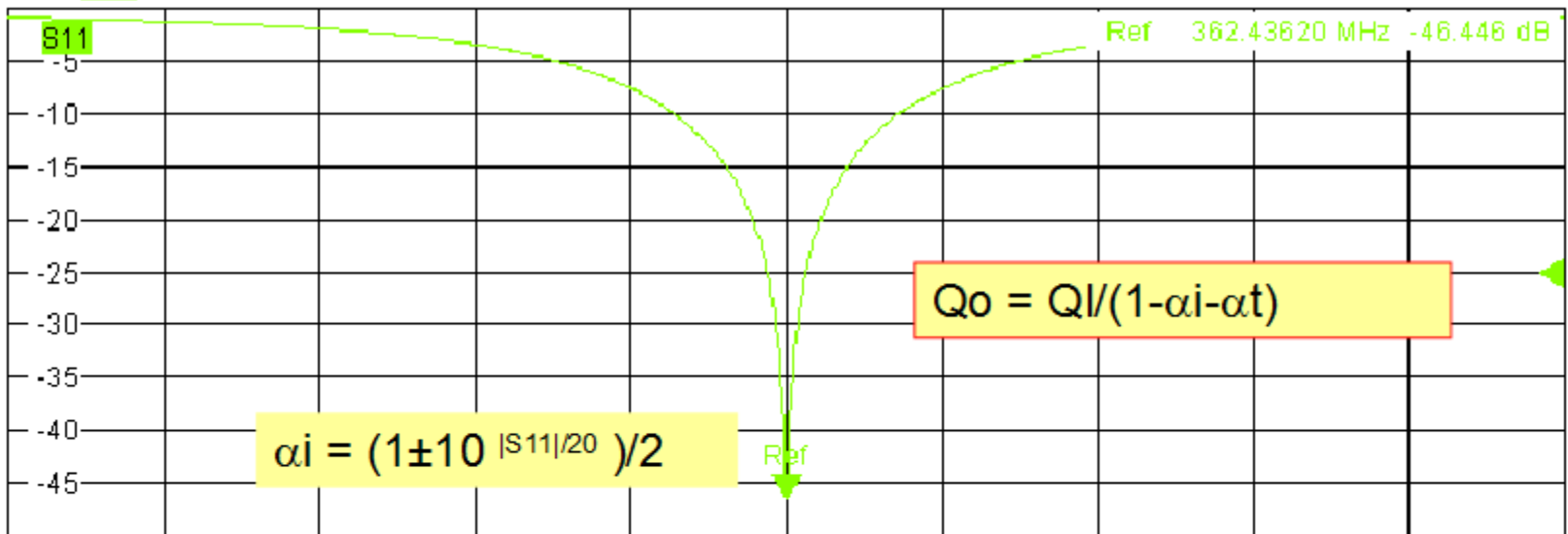
Signal réfléchi

Source RF



Trc1 S11 dB Mag 5 dB / Ref -25 dB Cal int

1



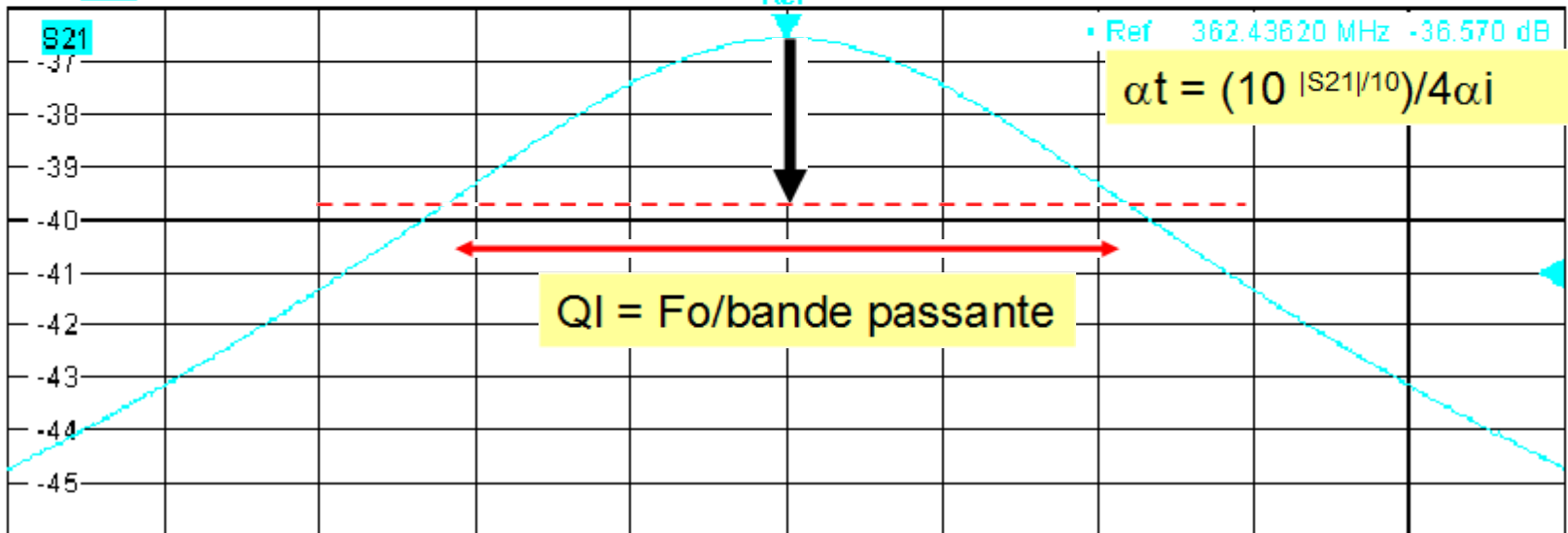
Ch1 Center 362.4362 MHz

Pwr 0 dBm

Span 100 kHz

Trc2 S21 dB Mag 1 dB / Ref -41 dB Cal int

2



Ch1 Center 362.4362 MHz

Pwr 0 dBm

Span 100 kHz

Amp

Sou

Traité d'électricité Vol XIII Hyperfréquences de Fred Gardiol

Micro-ondes de Paul F.Combes

Electronique appliqué au hautes fréquences de François Dieuleveult

...

Merci de votre attention

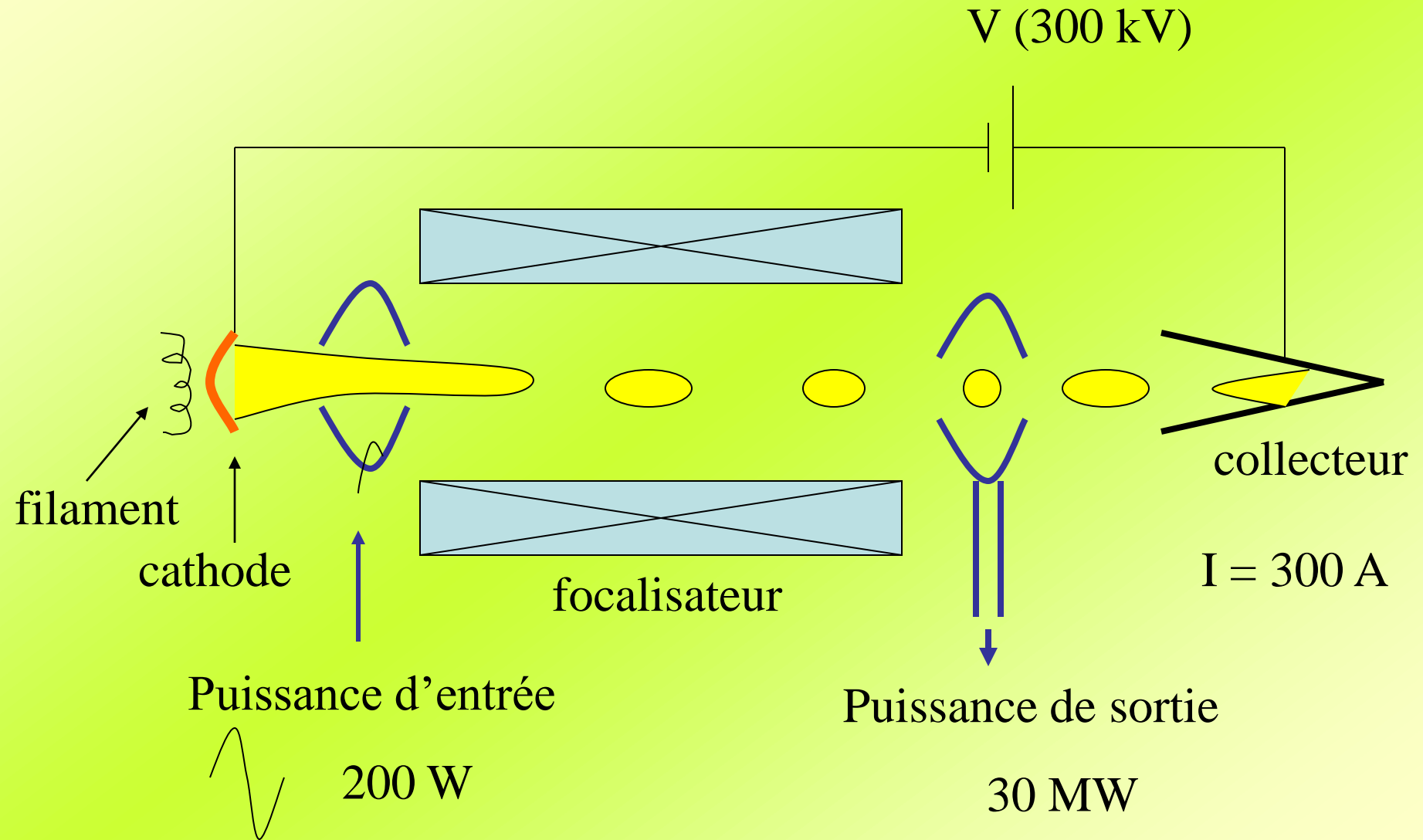
Modulateur pour Klystron



= Cavité

Le Klystron

Gain = 150 000



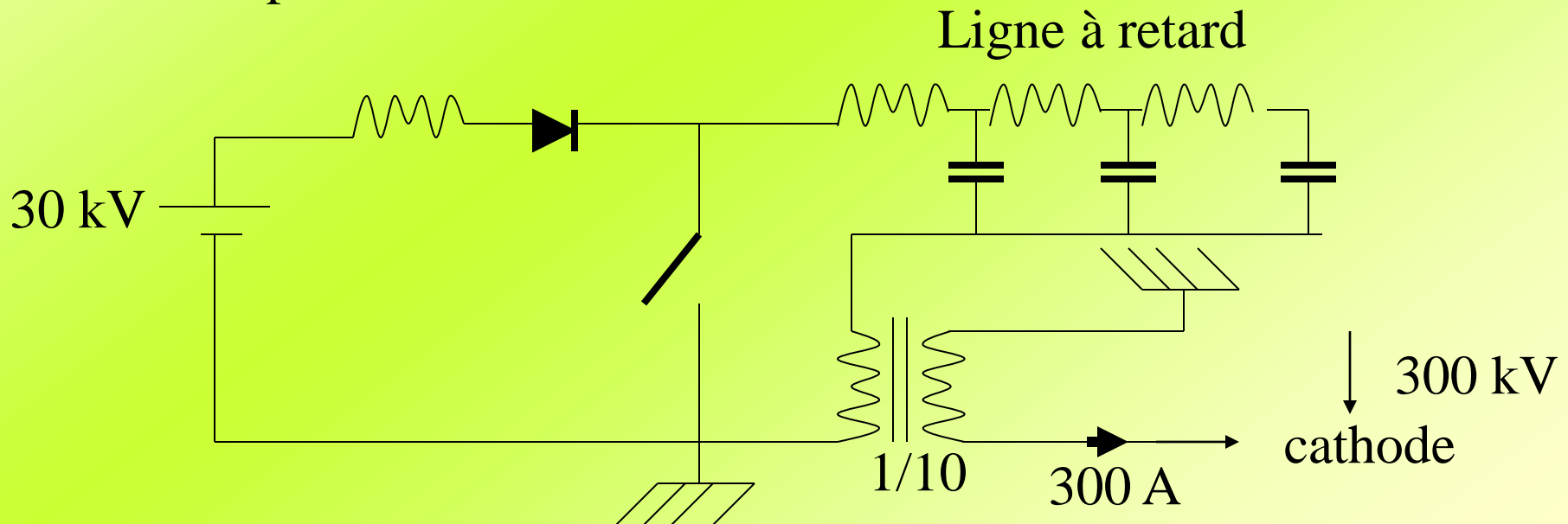
Fonctionnement en mode Pulsé

Il faut une alimentation de haute tension et fort courant pour faire fonctionner une source de puissance RF pulsé

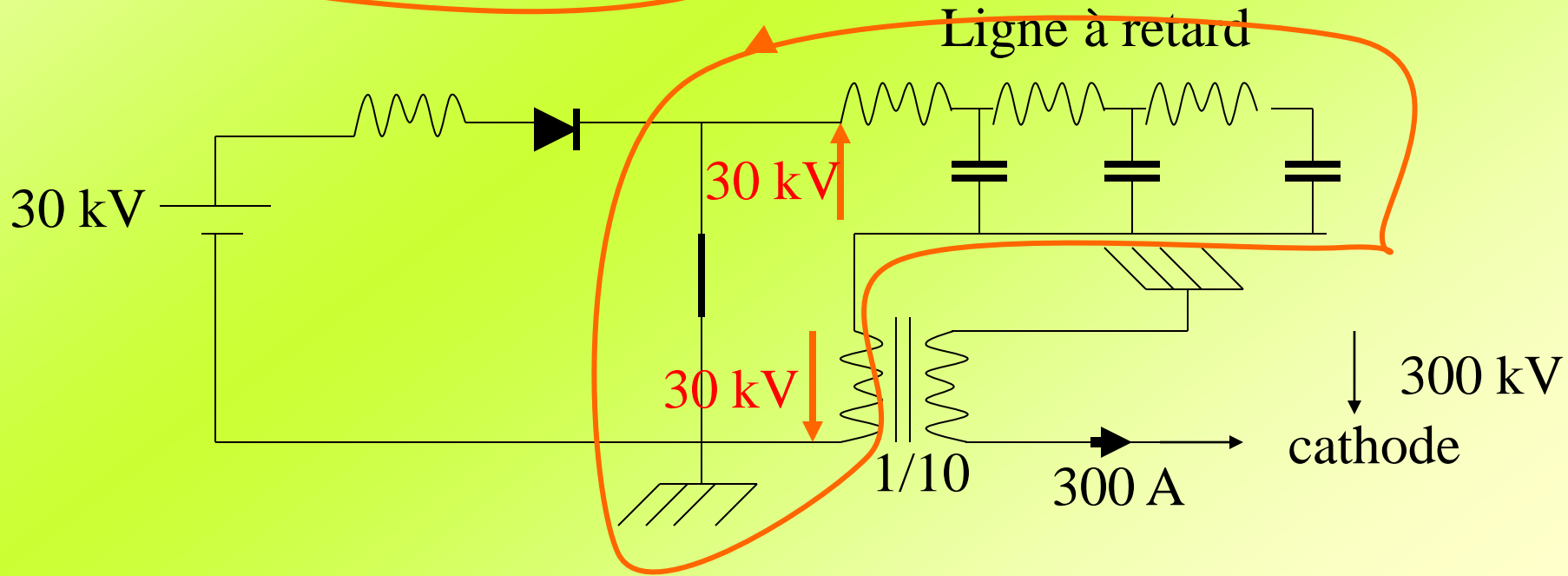
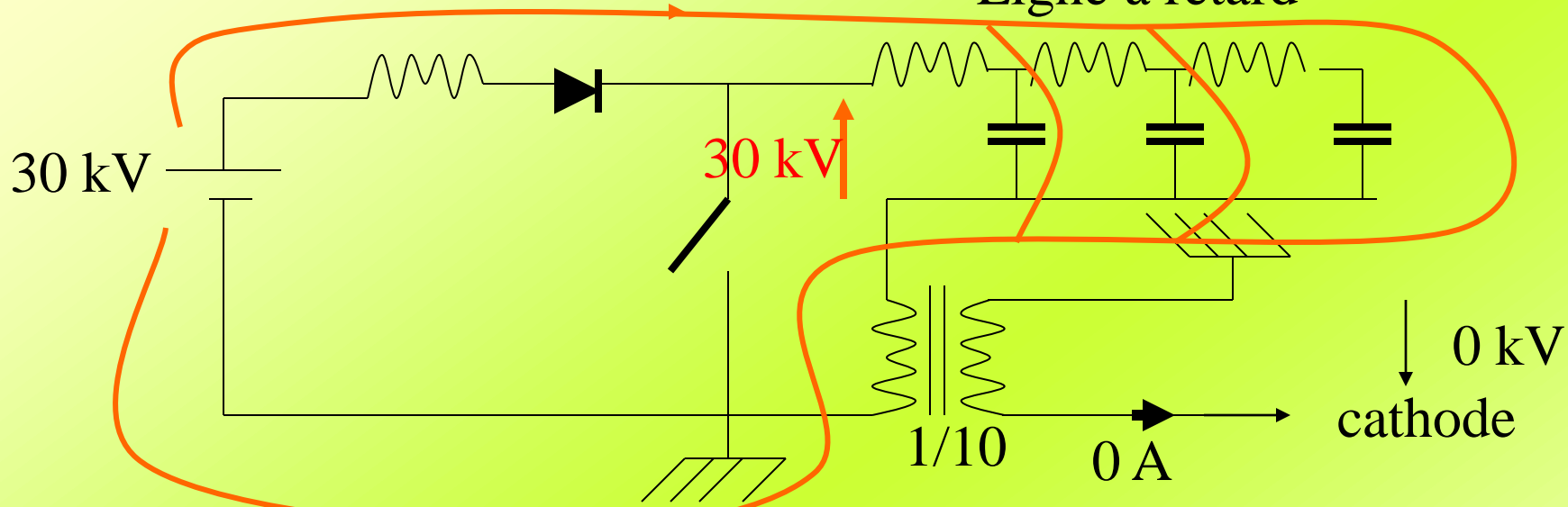
Solution : Alimentation pulsée
souvent appelé modulateur

Exemple pour un klystron de 35 MW à 3 GHz

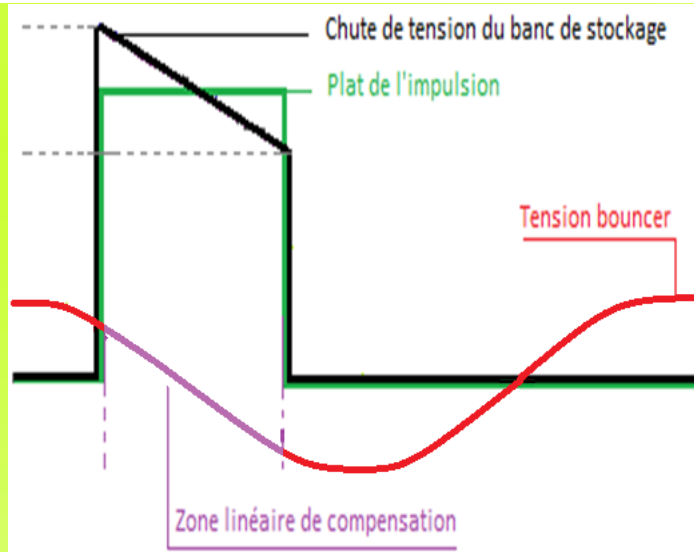
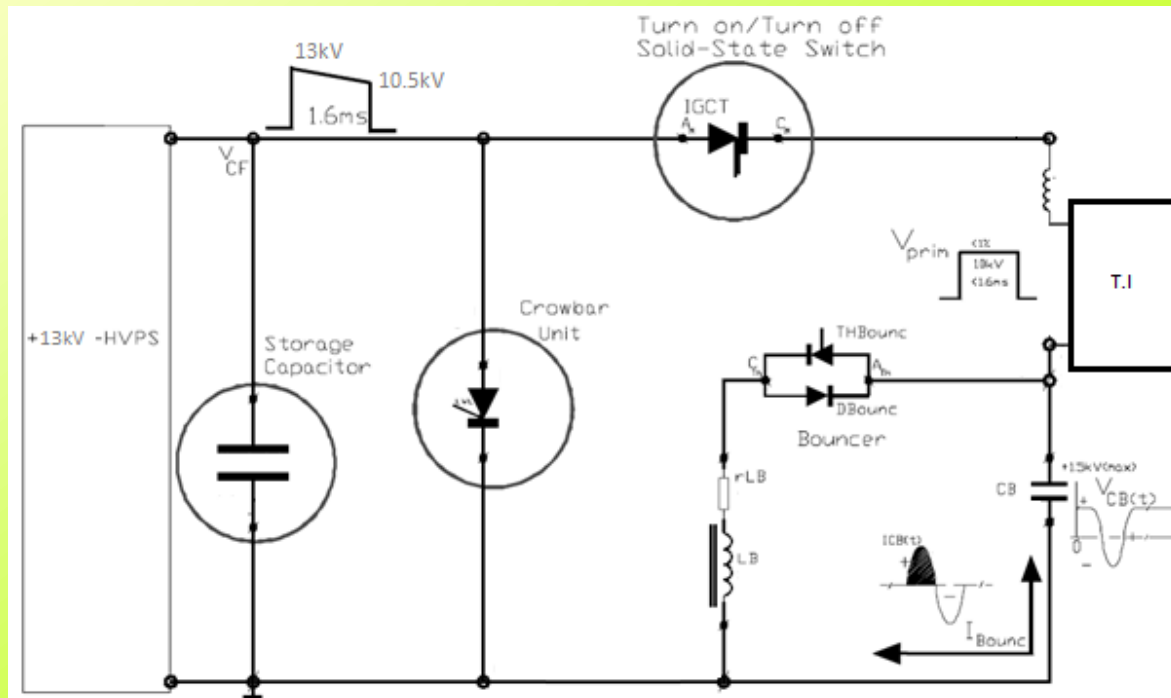
Principe:

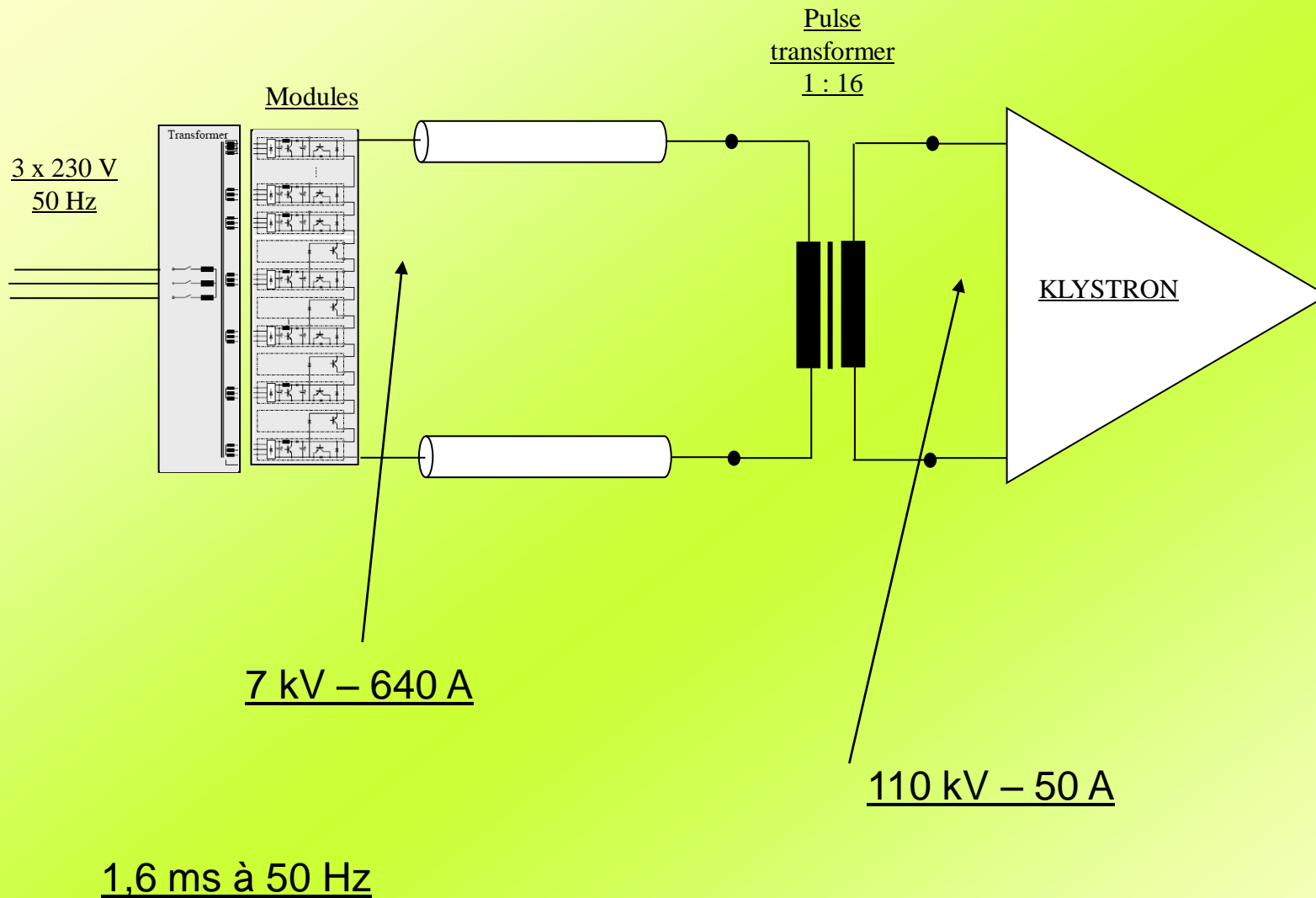


Le modulateur



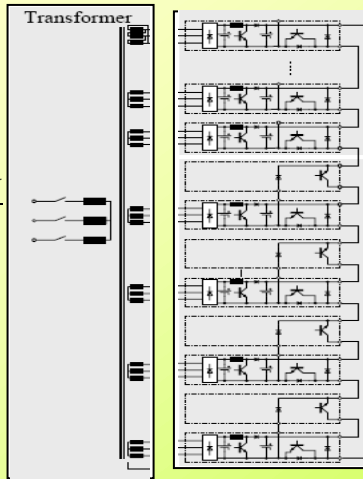
Modulateur type Bouncer

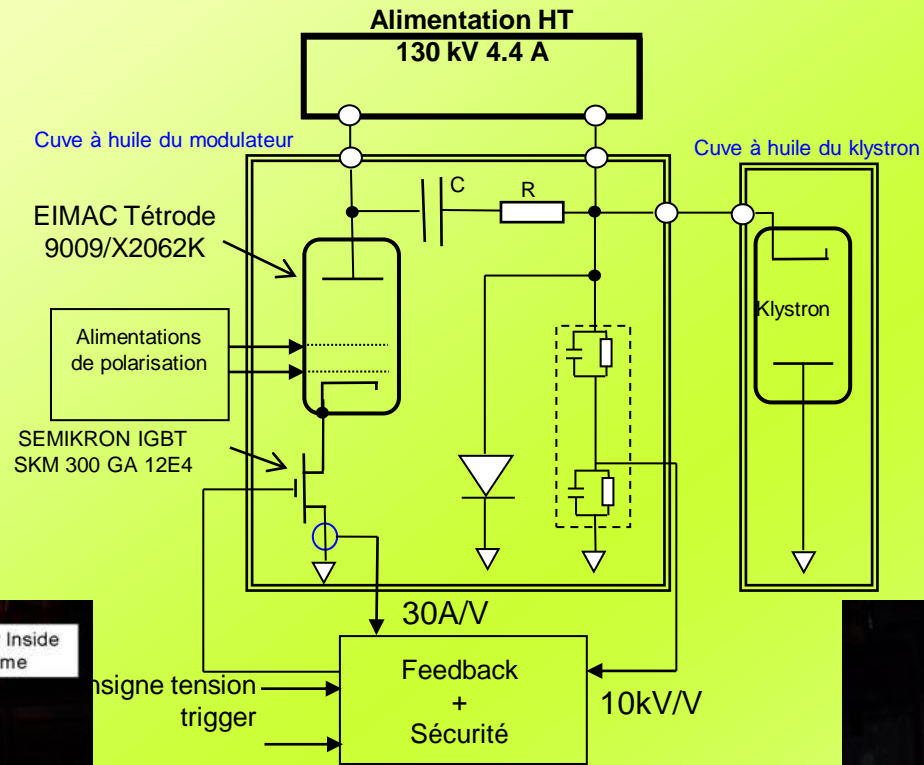




Modules

3 x 230 V
50 Hz





modulateur du CEA/DAPNIA
installé à Saclay

