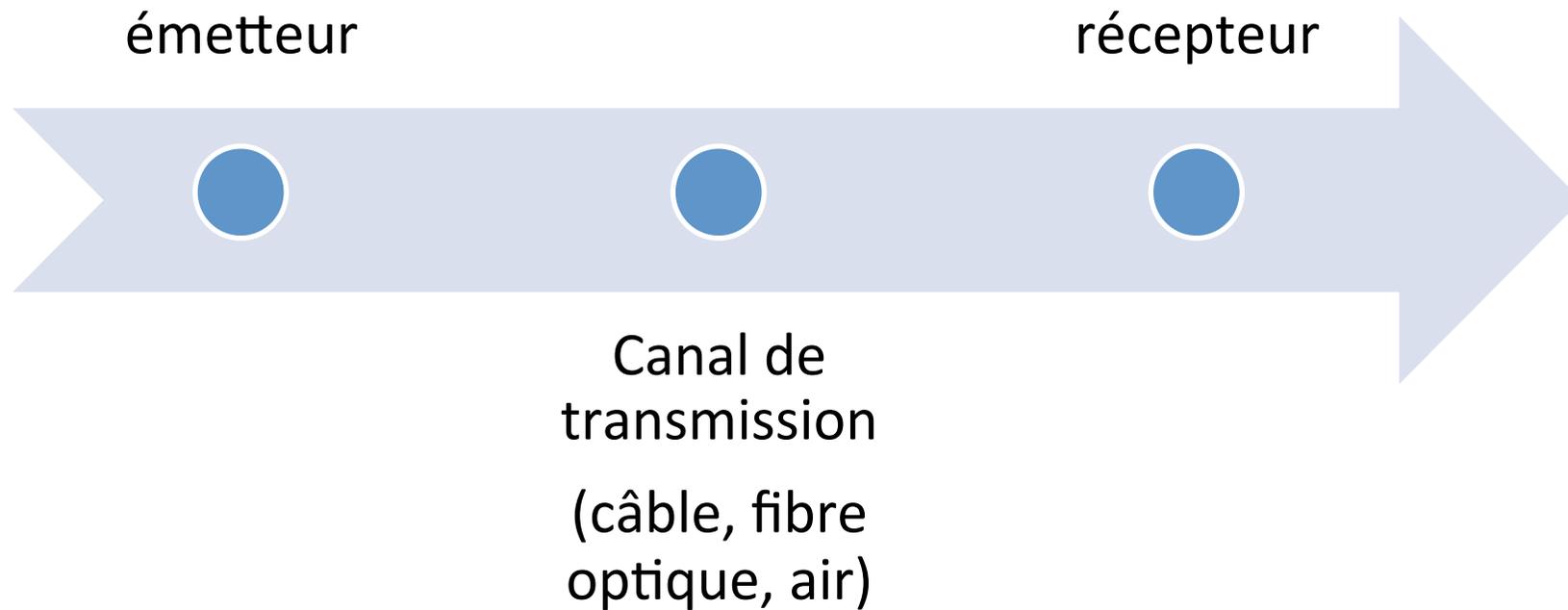


Modulations

principe, familles,...

- Généralités sur la transmission de signaux
- Modulation d'amplitude
- Démodulation d'amplitude

Comment transmettre une information d'un point A à un point B



Problématique

Information : son, image, données...

En général le signal électrique correspondant présente un spectre dans le domaine des basses fréquences (pour du son 20 Hz à 20 kHz)

Plusieurs problèmes apparaissent :

1. Si plusieurs sources dans la même bande de fréquence : cacophonie (vrai quelque soit le canal de transmission)
2. Pour la transmission sans fil en BF :
 - a) taille des antennes : $L \sim \lambda$ soit pour $f = 5 \text{ kHz} \rightarrow L = 60 \text{ km} !$
 - b) atténuation importante en BF

Problématique

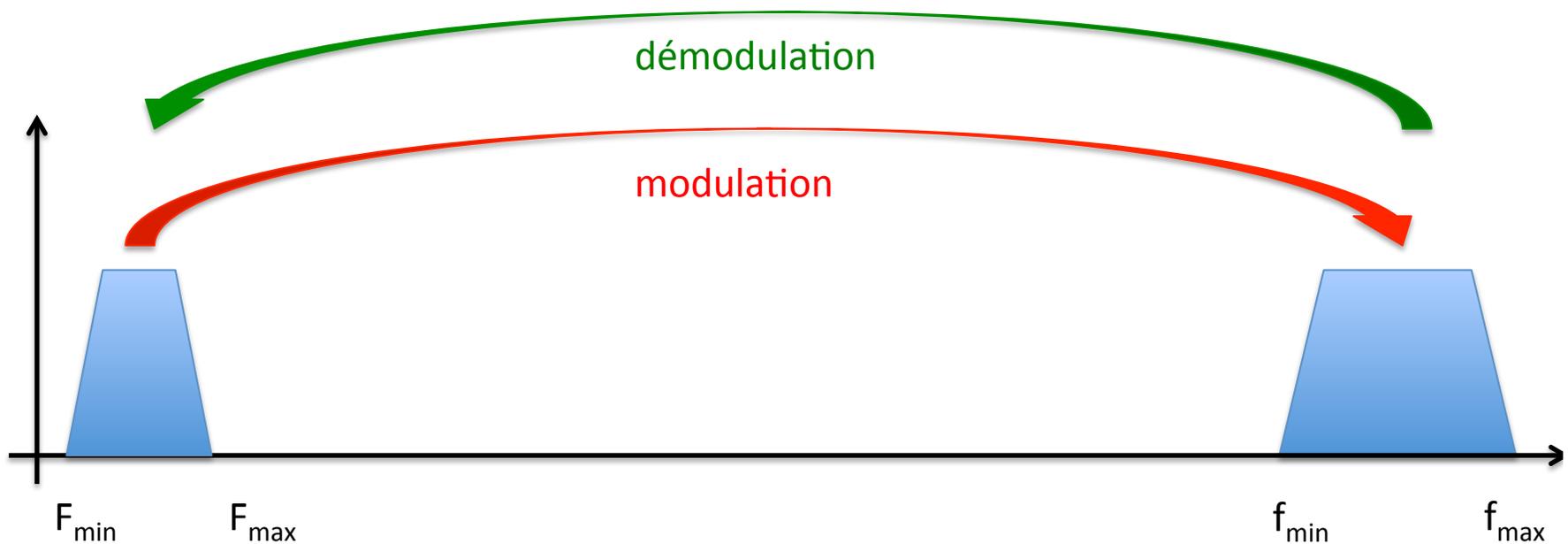
Face à la cacophonie → multiplexage temporel (téléphonie fixe)

Mais cela ne résout pas les autres problèmes (taille des antennes, impossibilité de transmettre sur de longues distances ,...)

La solution à tous les problèmes énoncés : le changement de fréquence

Nécessité du changement de fréquence

Pour résoudre ces deux problèmes, il suffit de changer de fréquence pour passer du domaine des BF au domaine des HF ou RF.



Nécessité du changement de fréquence

En bande de base

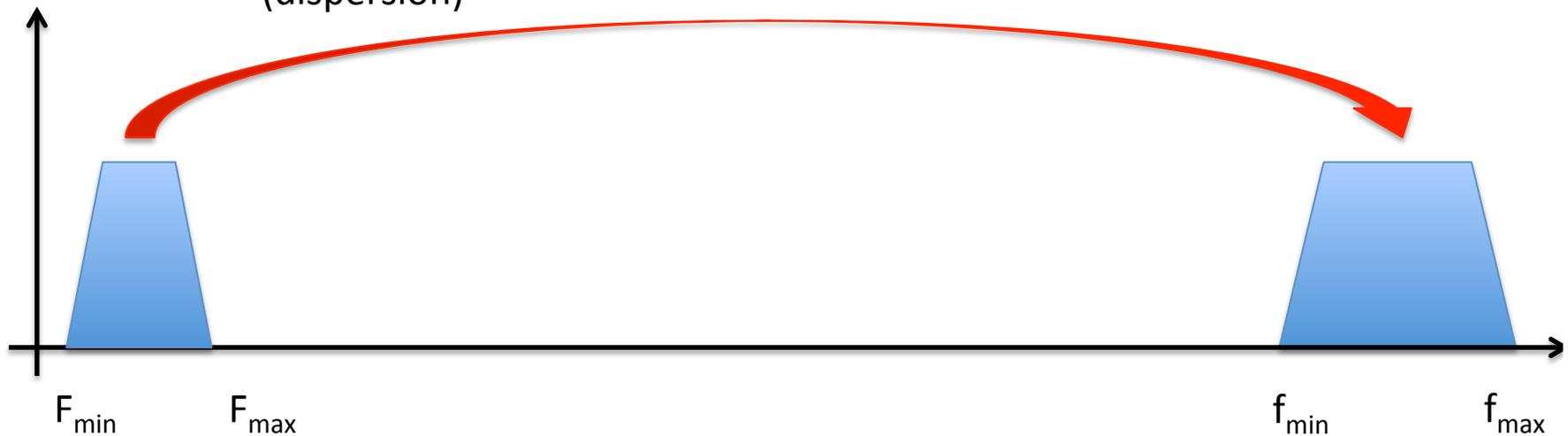
$$\frac{F_{Max}}{F_{min}} \gg 1$$

Il y a des risques pour que la propagation ne se fasse pas de la même façon pour toutes les fréquences (dispersion)

En haute fréquence

$$\frac{f_{Max}}{f_{min}} \approx 1$$

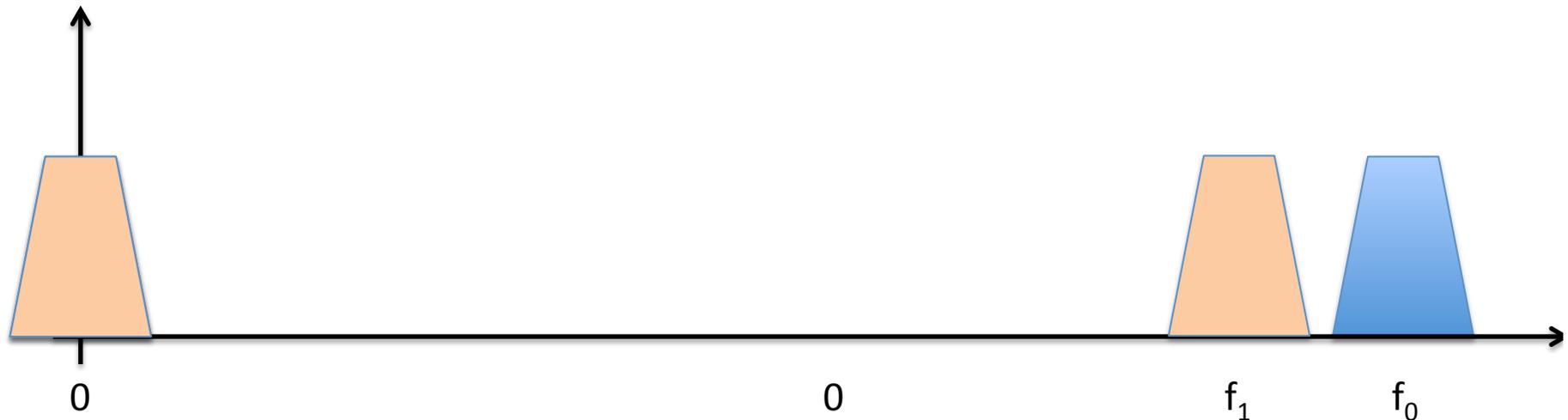
La propagation sera la même sur toute la bande de fréquence autour de f_0 (pas de dispersion)



En HF

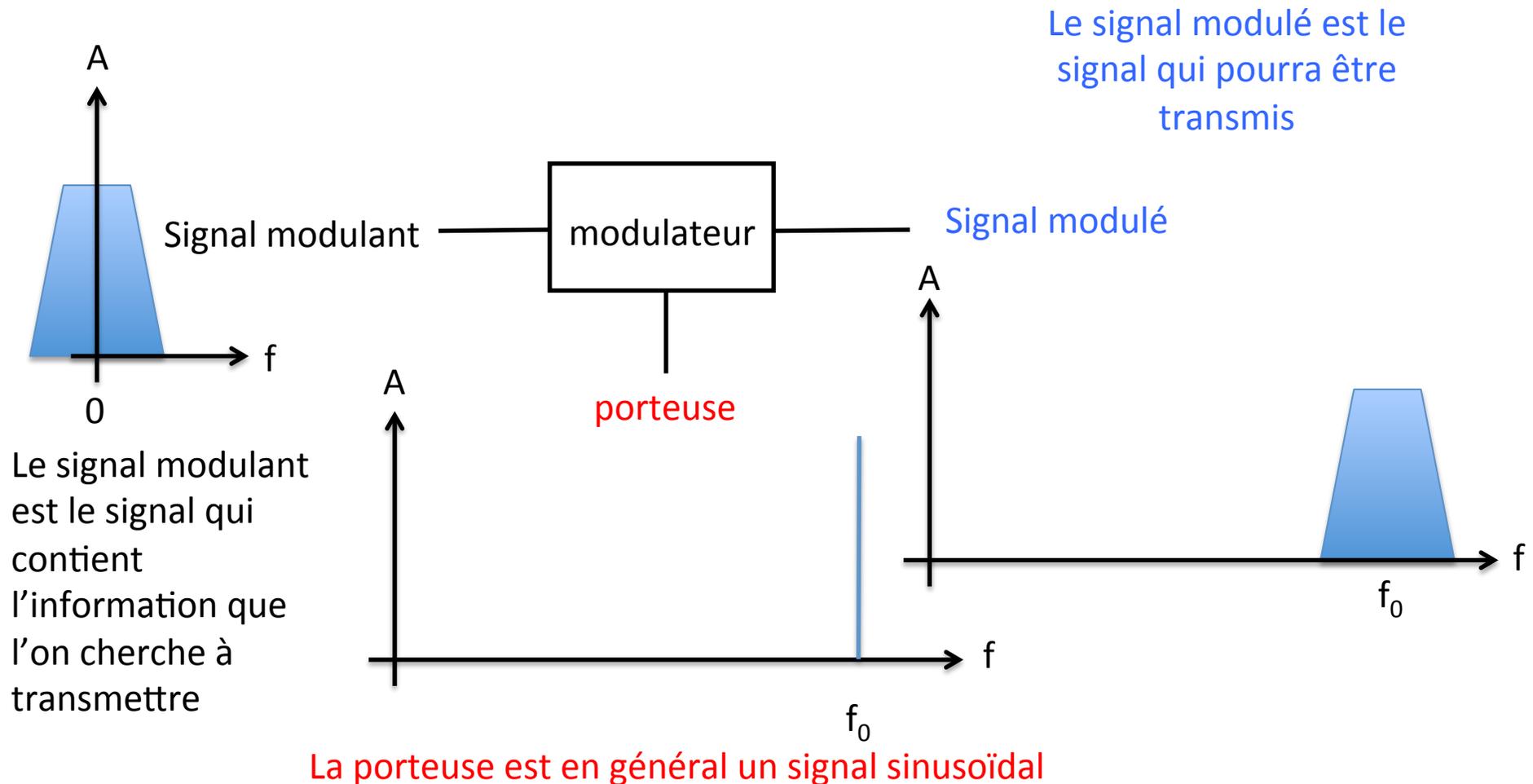
Si on veut transmettre plusieurs signaux similaires : on les déplacent en HF en les décalant l'un par rapport à l'autre

Taille des antennes si $f = 100 \text{ MHz} \rightarrow L = 75 \text{ cm}$



Comment ça marche ?

une opération de modulation requiert un signal porteur (ou porteuse) et un signal modulant.



Les différents types de modulation

Pour réaliser ce changement de fréquence des BF vers les HF il existe plusieurs techniques en partant d'une porteuse sinusoïdale :

$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

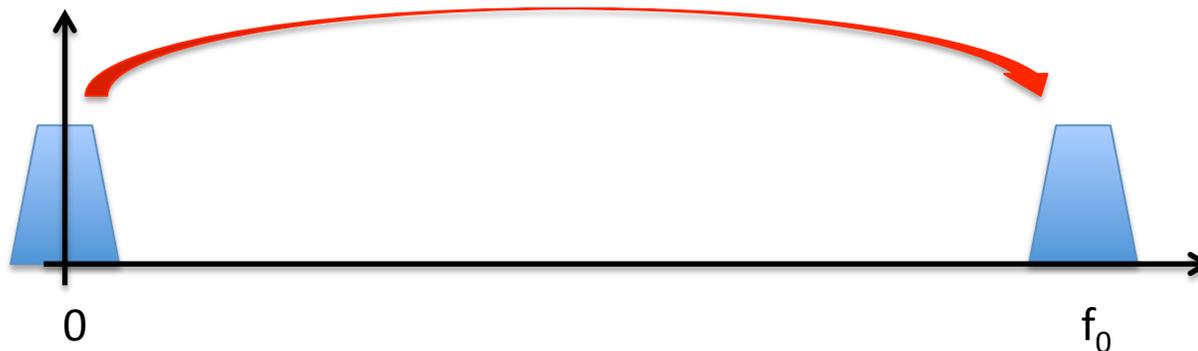
- Modulation d'amplitude $V(t) = V_0(t) \cos(\omega_0 t + \varphi)$
- Modulation de phase $V(t) = V_0 \cos(\omega_0(t) \times t + \varphi(t))$
- Modulation de fréquence $V(t) = V_0 \cos(\omega_0(t) \times t + \varphi)$
- ...

Modulation d'amplitude

Dans le domaine temporel, la modulation d'amplitude consiste à remplacer l'amplitude de la porteuse par le signal modulant.

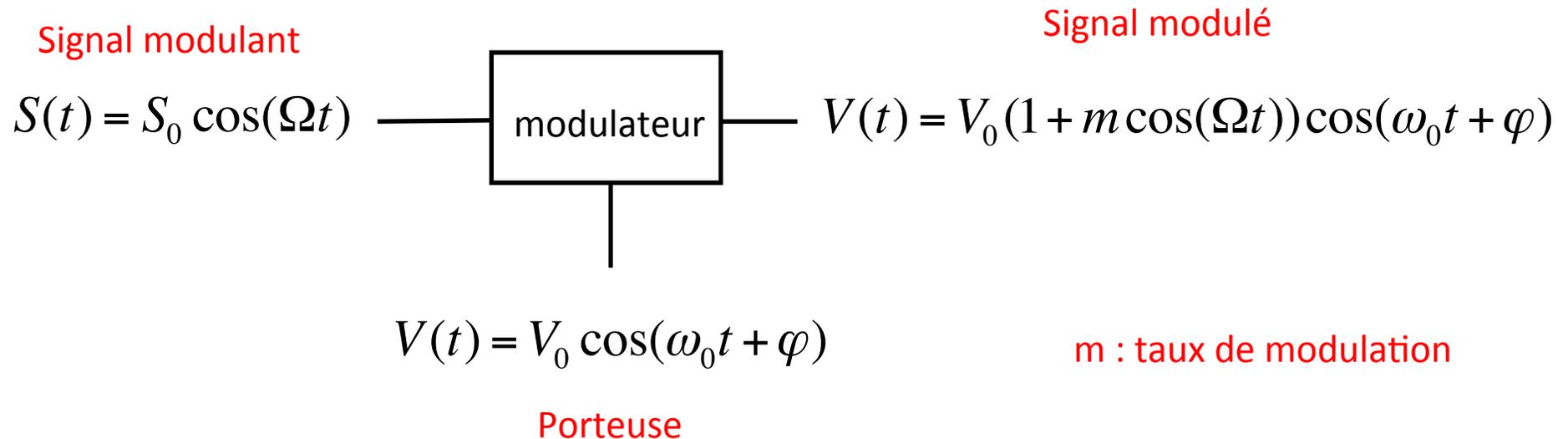
$$V(t) = S(t) \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad \text{avec } S(t) \text{ signal modulant}$$

Dans le domaine fréquentiel, la modulation d'amplitude consiste en une simple translation en fréquence du spectre du signal modulant autour de la fréquence de la porteuse.



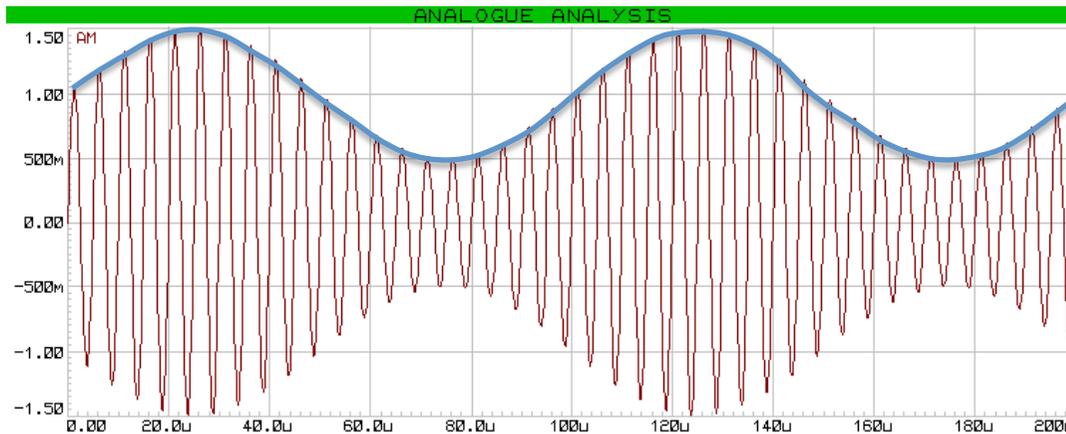
Modulation d'amplitude par un signal modulant sinusoïdal

C'est un cas très particulier mais qui va nous permettre de bien comprendre ce type de modulation et notamment ses représentations temporelles et fréquentielles.

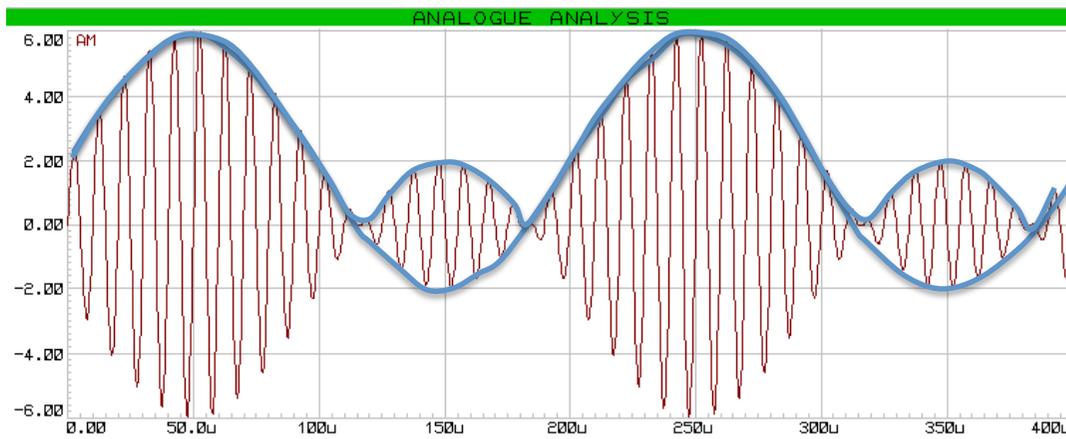


Modulation d'amplitude

aspects temporels



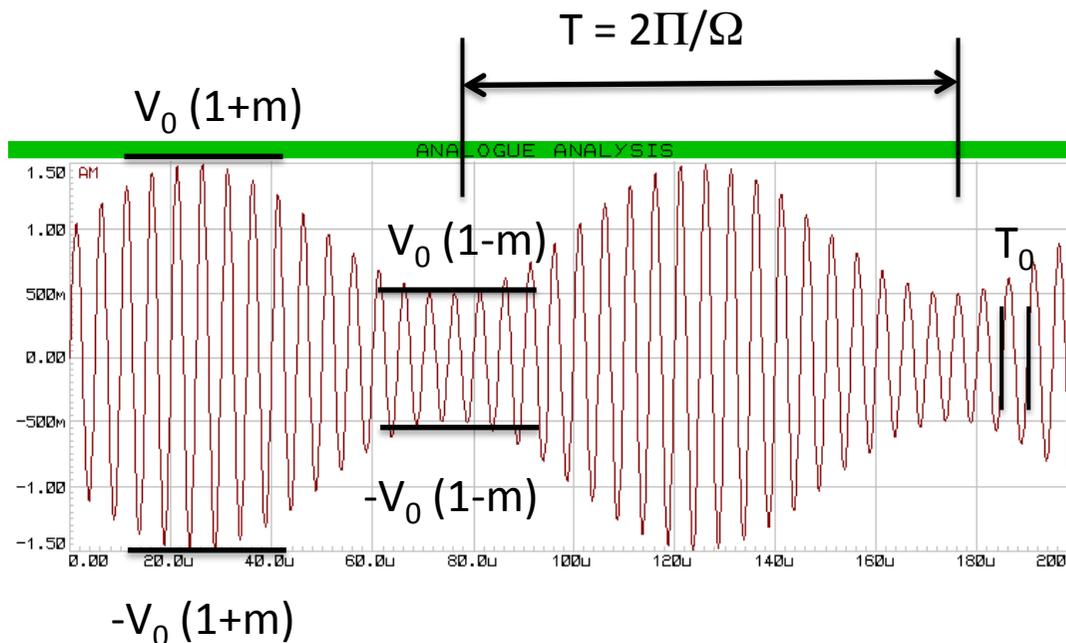
$m < 1$
Modulation « classique »
L'enveloppe du signal reproduit
le signal modulant



$m > 1$
« Surmodulation »
L'enveloppe du signal ne
reproduit pas le signal
modulant

Modulation d'amplitude aspects temporels

$$V(t) = V_0(1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \varphi)$$



L'amplitude du signal varie de $V_0(1+m)$ à $V_0(1-m)$

$m < 1$
Modulation « classique »
L'enveloppe du signal reproduit
le signal modulant

Modulation d'amplitude aspects fréquentiels

$$V(t) = V_0(1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

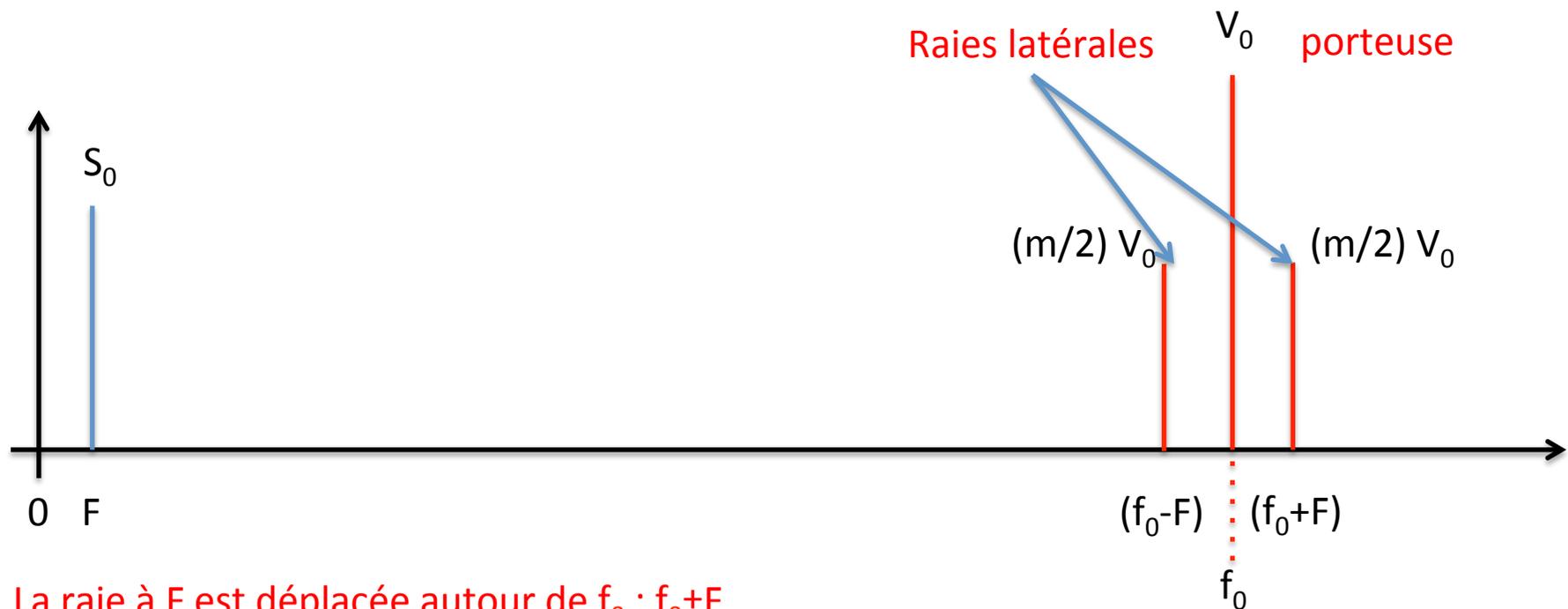
$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + V_0 m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + V_0 \frac{m}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi) + V_0 \frac{m}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi)$$

On obtient donc la somme de 3 composantes
sinusoïdales aux fréquences $f_0 - F$, f_0 , et $f_0 + F$ et
d'amplitudes respectives $mV_0/2$, V_0 , $mV_0/2$

Modulation d'amplitude aspects fréquentiels

$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + V_0 \frac{m}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi) + V_0 \frac{m}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi)$$

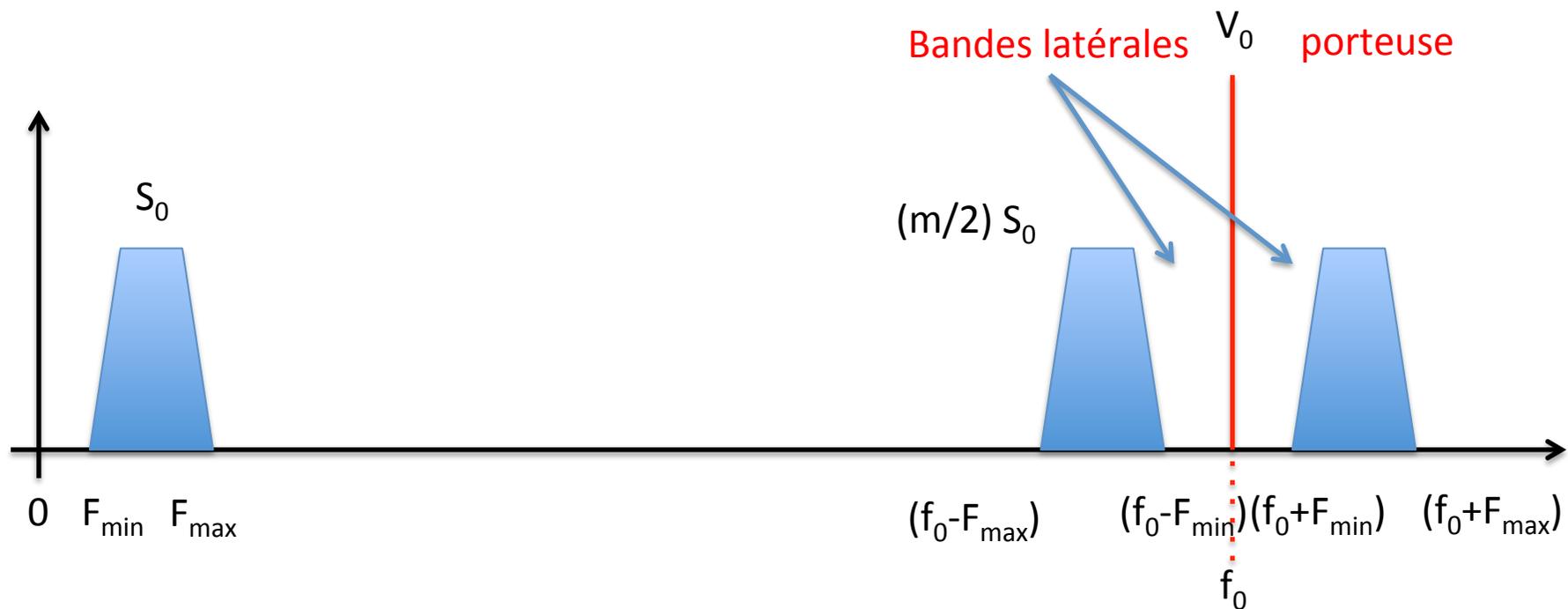


La raie à F est déplacée autour de f_0 : $f_0 \pm F$

La raie d'amplitude la plus importante est la raie de la porteuse

Modulation d'amplitude aspects fréquentiels

Dans le cas d'un signal modulant quelconque, on observe une translation du spectre de part et d'autre de la fréquence de la porteuse.



L'essentiel de la puissance d'un signal modulé est contenue dans la raie à f_0 et sert donc à la transmission de la porteuse et non de l'information

Modulation d'amplitude puissance

$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) + V_0 \frac{m}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi) + V_0 \frac{m}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi)$$

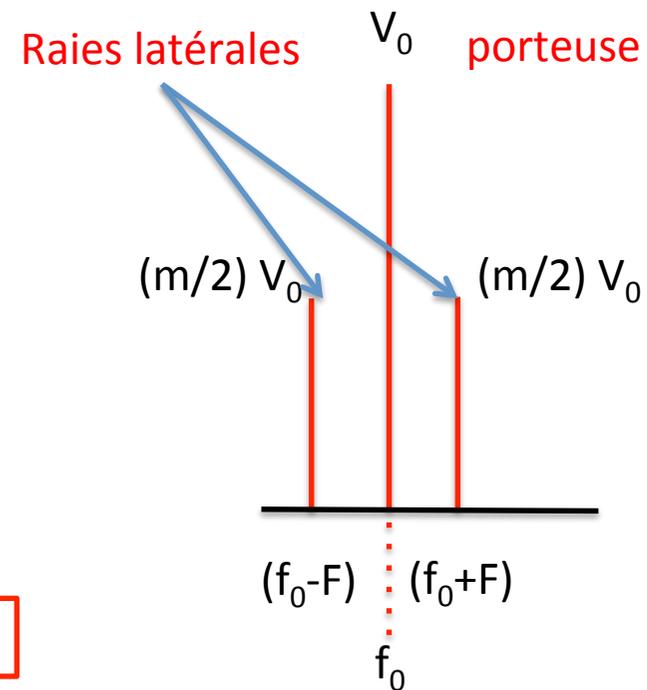
$$\frac{P_{\text{raies-latérales}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{m^2}{2 + m^2}$$

$$P_{\text{porteuse}} = \frac{V_0^2}{2R}$$

$$P_{\text{totale}} = m^2 \frac{V_0^2}{4R} + \frac{V_0^2}{R} = \frac{V_0^2}{R} \left(1 + \frac{m^2}{4}\right)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{raies-latérales}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{m^2}{2 + m^2}$$

$\eta < 1/3 \text{ si } m < 1$

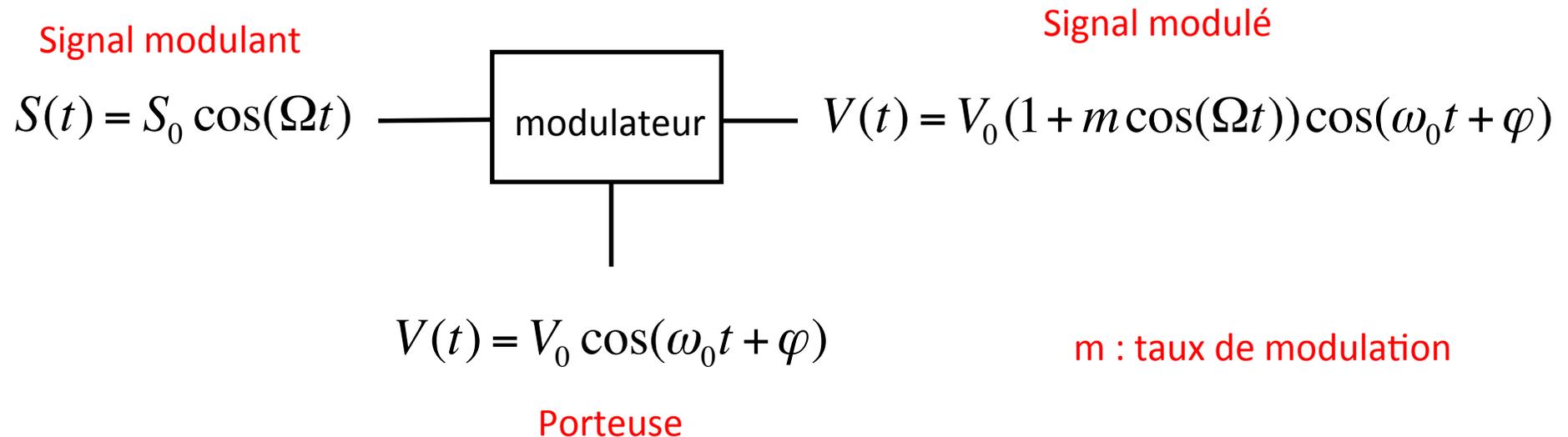


Pour augmenter l'efficacité énergétique de la transmission on transmet une porteuse atténuée, voire une seule bande latérale : BLU (bande latérale unique).

circuits de modulation d'amplitude

Pour réaliser une MdA on peut utiliser soit :

1. un multiplieur
2. un additionneur + un composant non linéaire

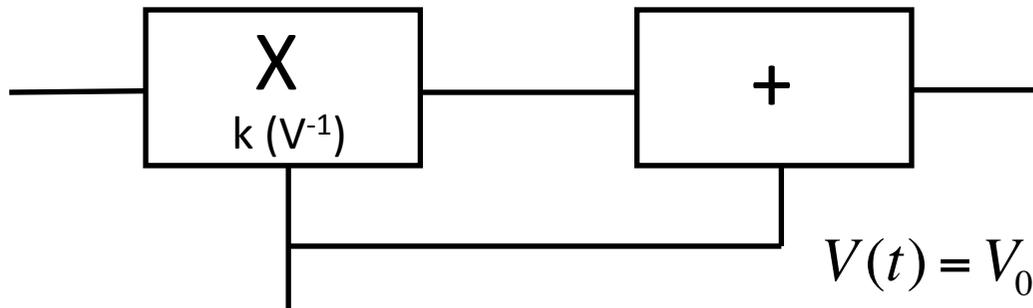


Utilisation d'un multiplieur

Signal modulant

$$S(t) = S_0 \cos(\Omega t)$$

F



$(f_0 - F), (f_0 + F)$

$(f_0 - F), f_0, (f_0 + F)$

Signal modulé

$$V(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

f_0

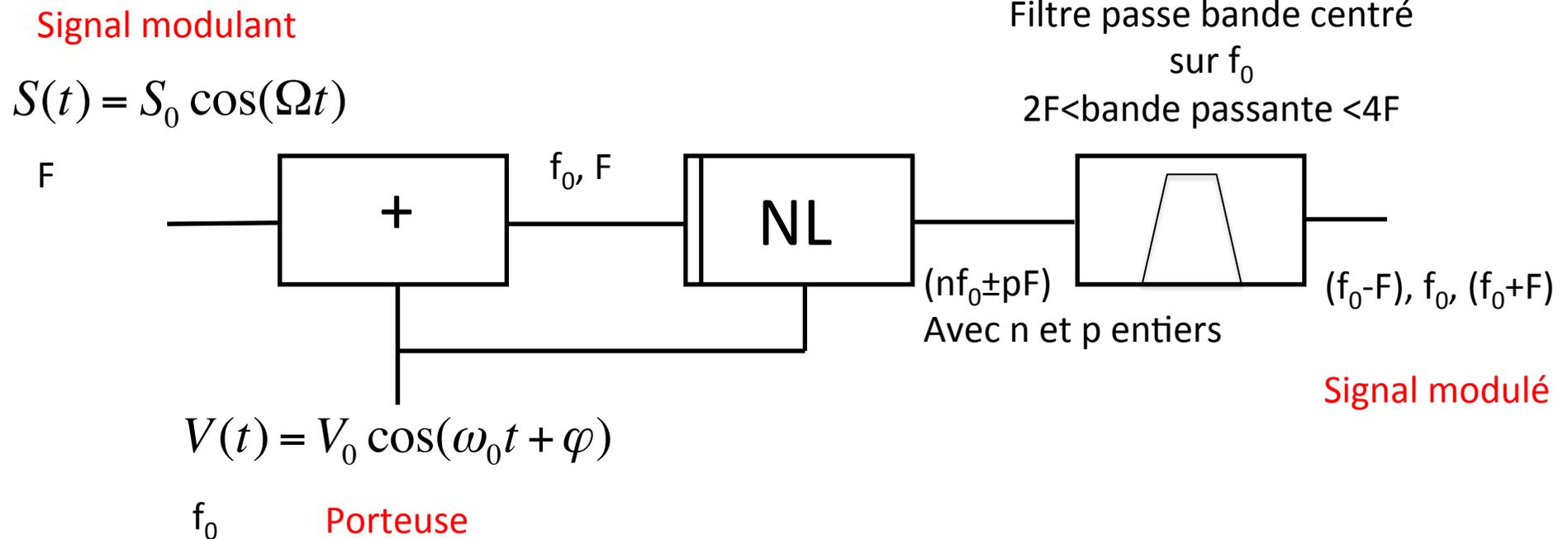
Porteuse

$$V(t) = V_0 (1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$m = k S_0$$

Si on enlève l'additionneur, on réalise une modulation sans porteuse, optimale d'un point de vue énergétique mais très complexe à démoduler.

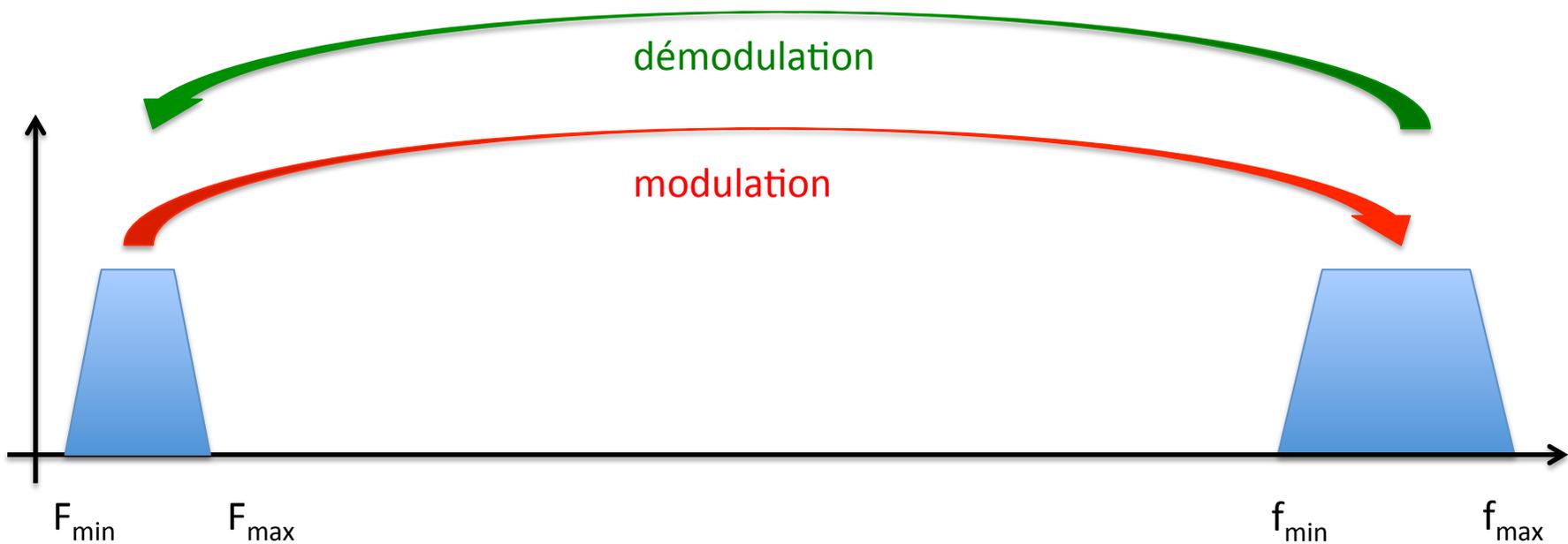
Utilisation d'un composant non linéaire



L'élément non linéaire peut être une diode, un amplificateur, ...

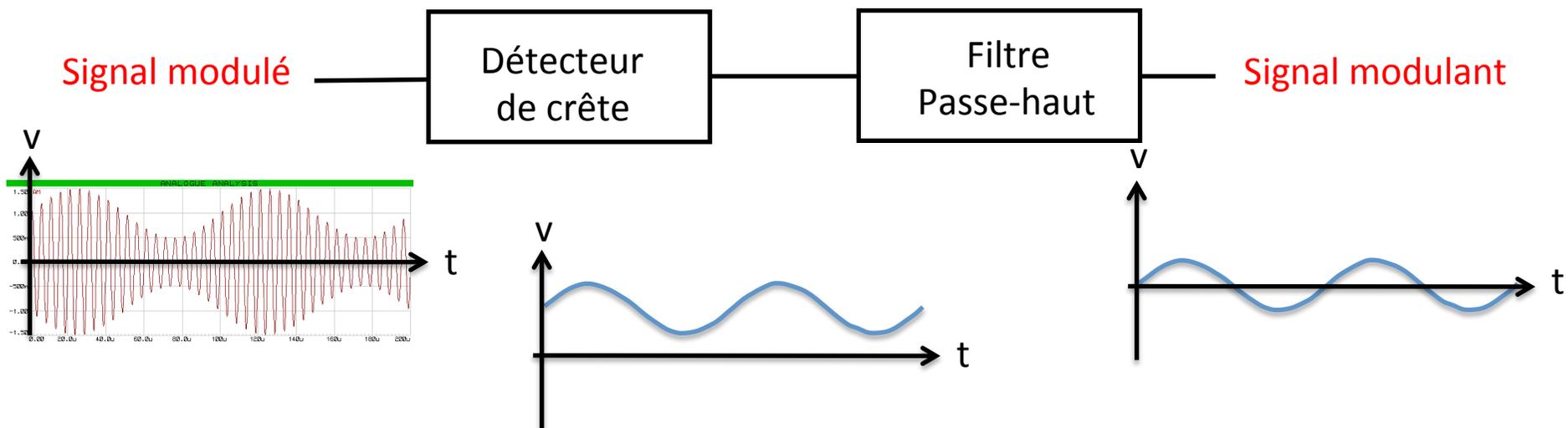
Démodulation d'amplitude

A la réception du signal modulé on doit revenir dans la bande de base, c'est l'opération de démodulation

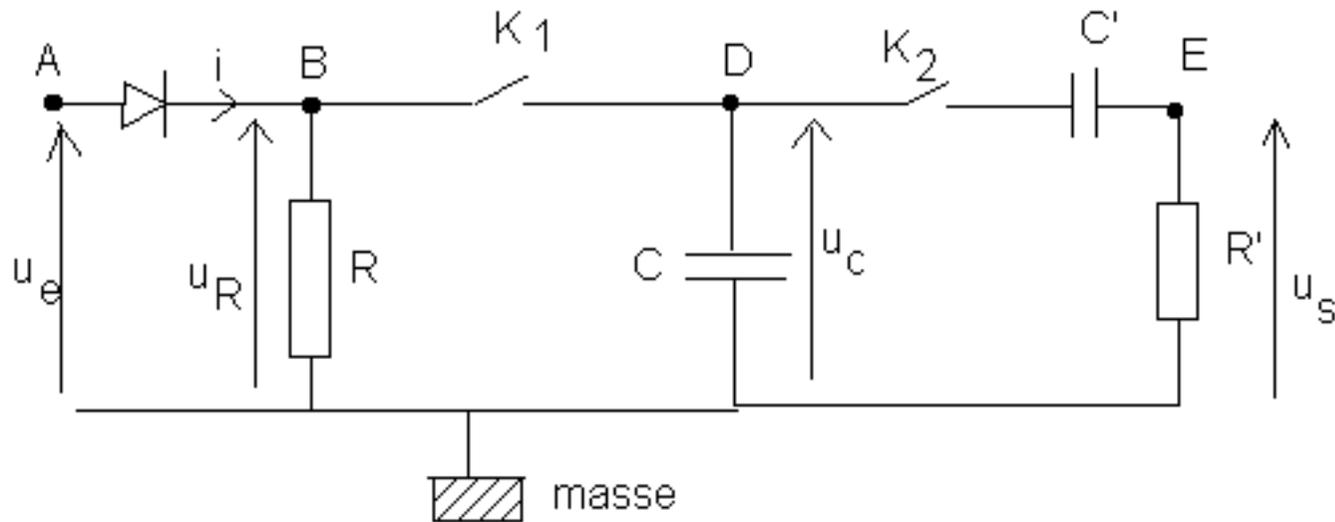
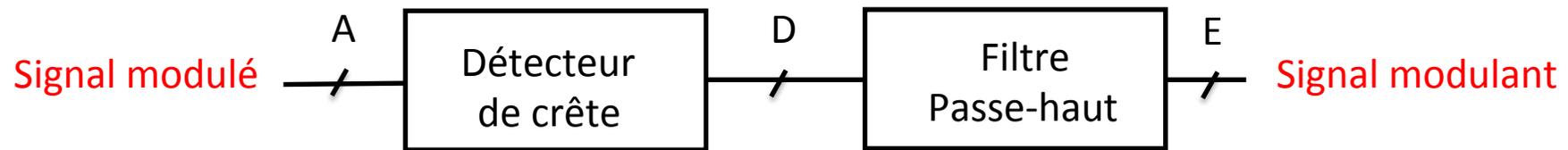


Démodulation d'amplitude

Dans le cas de la modulation d'amplitude classique ($m < 1$) l'enveloppe du signal reproduit le signal modulant. Il suffit donc d'un détecteur de crête suivi d'un filtre passe-haut pour retrouver le signal modulant.



Démodulation d'amplitude

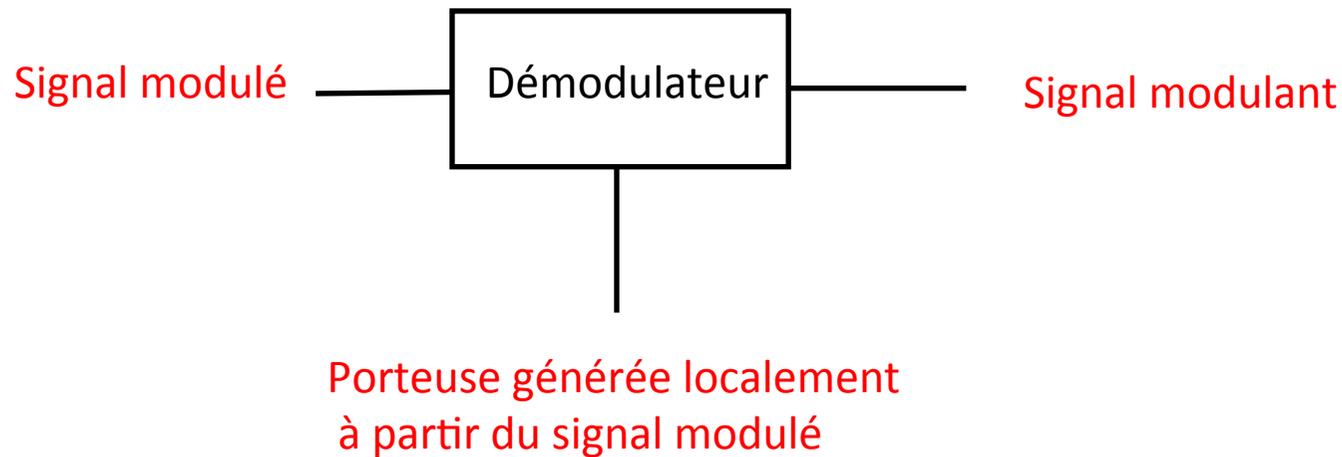


$$T > RC > T_0$$

$$R'C' > T$$

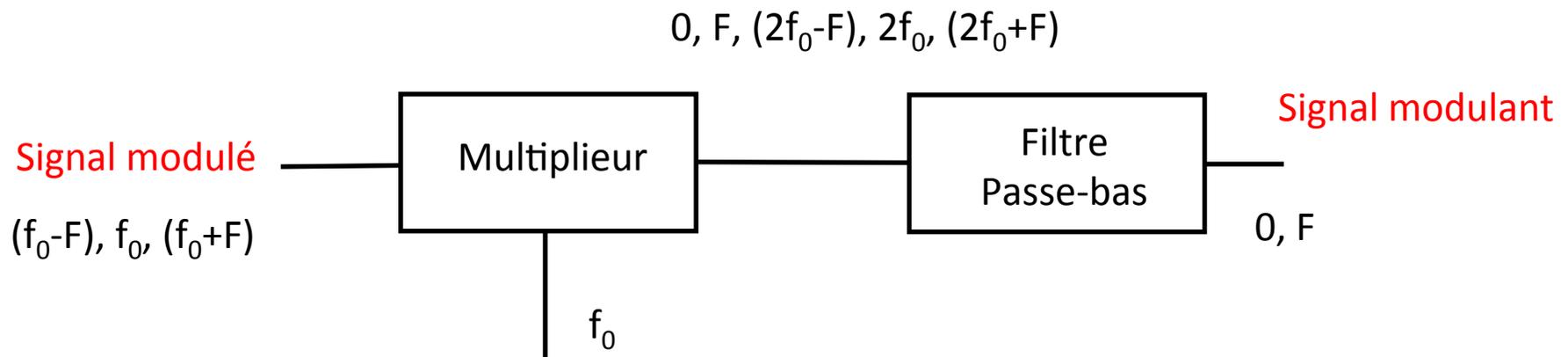
Démodulation d'amplitude

Dans le cas de la modulation d'amplitude avec $m > 1$, à porteuse atténuée ou à bande latérale unique : l'enveloppe du signal ne reproduit pas le signal modulant. Il faut mettre en œuvre des circuits plus complexes et surtout il faut un oscillateur local à la fréquence de la porteuse



Démodulation d'amplitude

Une solution consiste à utiliser un multiplieur suivi d'un filtre passe-bas



Porteuse générée localement
à partir du signal modulé

Conclusion

- La modulation est une technique mise en œuvre pour faciliter la transmission d'informations
- Elle consiste à déplacer cette information du domaine des BF (bande de base) vers les HF, il s'agit donc d'un changement de fréquence
- La modulation d'amplitude correspond à une simple translation en fréquence
- Dans le domaine temporel le signal modulé en amplitude correspond à un signal HF (porteuse) dont l'amplitude reproduit le signal à transmettre (signal modulant).

ANALOGUE ANALYSIS

