

# Les nombreuses céramiques diélectriques de condensateur

## Faire le bon choix pour chaque application

**Note technique de Denis Lachapelle, ing., février 2010**

**Révisé par Serge Tremblay, mars 2021**

Cette note d'application porte sur la vaste gamme de céramiques diélectriques de condensateur afin de déterminer le meilleur choix pour chaque application, ainsi qu'une clarification de l'utilisation des caractères d'identification.

### Que sont ces trois caractères ?

La plupart des condensateurs sont généralement accompagnés de trois caractères, définis par la norme EIA-198, qui prennent la forme suivante : X7R, NPO, ZU5, etc. Ces trois caractères ne dictent pas quelle céramique utiliser dans un condensateur, mais plutôt ses caractéristiques en matière de température. Le premier caractère indique la température inférieure, le deuxième, la température supérieure, et le troisième, la tolérance de capacité. Par exemple, comme indiqué dans le tableau 2, un condensateur céramique diélectrique de type X7R fonctionne dans la plage de température comprise entre -55 °C et +125 °C et sa tolérance de capacité dans cette plage est de  $\pm 15\%$ . Un autre exemple indiqué dans le tableau 1 : les condensateurs de type NPO, compris dans la classe 1, proposent la

dépendance de température la plus faible parmi les condensateurs céramiques, qui peuvent présenter différents coefficients de température.

Type	Coefficient de température (ppm)
P100	+100
NPO	0
N150	-150
N220	-220
N470	-470
N750	-750
N1500	-1500

Tableau 1 : Coefficients de température, classe 1

Ces condensateurs à coefficients de température différents sont souvent utilisés pour compenser l'effet de la température sur l'inductance de résonance. Dans les cas où l'inductance a un CT de +200 ppm et résonne avec un condensateur de -200 ppm, l'effet net de la température sur la fréquence de résonance sera nul.

On peut envisager de disposer des condensateurs à coefficients de température différents en parallèle ou en série afin de

correspondre au coefficient de l'inductance à compenser.

Les condensateurs de classe 2 sont étiquetés selon la variation de leur capacité dans la plage de température.

Dans la même veine que la norme EIA-198, la norme EIA RS-198 utilise un code de trois caractères qui commence par une lettre :

- Le premier caractère est une lettre qui indique la température inférieure de fonctionnement.
- Le deuxième est un chiffre et indique la température supérieure de fonctionnement.
- La lettre à la fin indique la variation de capacité dans cette plage de température.

Voici quelques exemples courants :

- X7R (-55/+125 °C,  $\Delta C/C0 = \pm 15\%$ )
- X5R (-55/+85 °C,  $\Delta C/C0 = \pm 15\%$ )
- X7S (-55/+125 °C,  $\Delta C/C0 = \pm 22\%$ )
- Z5U (+10/+85 °C,  $\Delta C/C0 = +22/-56\%$ )
- Y5V (-30/+85 °C,  $\Delta C/C0 = +22/-82\%$ )

Il est à noter, par contre, que ces trois caractères ne disent pas tout à propos d'un

condensateur. Plusieurs autres spécifications sont à prendre en compte, dont le facteur de perte, le vieillissement, l'ESR, l'ESL et les pertes; certains de ces aspects sont abordés ci-dessous. Les condensateurs céramiques sont largement accessibles en ligne et plusieurs types sont offerts, dont NP0, COG, X5R, X7R, Z5U, Y5V, XR8, X7S, X6S et X7S.

## Facteur de température

Lorsque l'application est de nature militaire ou automobile, le choix d'un condensateur avec une plage de température de -55 °C à +125 °C s'impose. La plupart des types de classe 1, ainsi que le type X7R, seraient appropriés. Pour les applications industrielles, les types X7 et X5 sont à privilégier, ainsi que les types Y5 si l'appareil n'est pas situé à l'extérieur. Pour les applications commerciales et consommateur, les types Y5 et Z5 représentent de bonnes options. Il est important de prendre en compte la stabilité de la température; si le projet est de nature commerciale mais exige une plus grande stabilité, le type X7R peut représenter un meilleur choix.

Lettre Température inférieure	Chiffre Température supérieure	Lettre Variation de capacité dans la plage de température
X = -55 °C (-67 °F)	4 = +65 °C (+149 °F)	P = ±10 %
Y = -30 °C (-22 °F)	5 = +85 °C (+185 °F)	R = ±15 %
Z = +10 °C (+50 °F)	6 = +105 °C (+221 °F)	L = ±15 %, +15/-40 % au-delà de 125 °C
	7 = +125 °C (+257 °F)	S = ±22 %
	8 = +150 °C (+302 °F)	T = +22/-33 %
	9 = +200 °C (+392 °F)	U = +22/-56 %
		V = +22/-82 %

Tableau 2 : Code EIA RS-198 classe 2

## Classes de condensateurs standard selon EIA-198

### CLASSE I

Les composants de ce type sont des céramiques diélectriques à compensation thermique, condensateurs fixes adaptés aux applications de circuit résonnant ou autres applications qui exigent un facteur de qualité et une stabilité de la capacité élevés.

### CLASSE II

Les composants de ce type sont des condensateurs à céramiques diélectriques fixes adaptés aux applications de dérivation et de découplage ou aux circuits de discrimination de fréquence pour lesquels le facteur de qualité et la stabilité de la capacité importent peu. Cette classification se définit d'autre part comme désignant les condensateurs présentant des caractéristiques de température de A à S. Les céramiques diélectriques de classe II présentent un changement prévisible en fonction du temps et de la tension. Pour compenser l'effet de vieillissement, on peut faire référence aux limites de capacité au moment futur le plus utile à l'acheteur; il s'agit généralement de 1 000 heures, mais l'acheteur et le vendeur peuvent en convenir différemment. La tension entraîne également une variation temporaire de la capacité; la séquence de tests devrait être établie de façon à ce que les essais de tension précédents n'affectent pas les mesures de capacité.

Le taux de vieillissement d'un diélectrique demeure essentiellement constant pendant plusieurs décades, c.-à-d. de 10 h à 100 h, de 100 h à 1 000 h, de 1 000 à 10 000 h, et ainsi de suite, lorsque mesuré à partir du moment de la dernière dépolarisation en usine. La capacité d'origine lors de la

fabrication est rétablie en le chauffant à 150 °C pendant une heure, après quoi le vieillissement normal reprend de nouveau. Les mesures de condensateurs prises avant 24 heures peuvent indiquer des valeurs de capacité élevée temporaires qui s'estomperont.

### CLASSE III

Ces composants standardisés sont des condensateurs à céramique diélectrique fixe particulièrement adaptés pour une utilisation dans des circuits électroniques pour la dérivation, le découplage ou autres applications pour lesquelles les pertes diélectriques, la résistance d'isolement élevée et la stabilité de la capacité importent peu. Cette classification est identique à celle de la classe II, à l'exception près qu'elle est réservée aux condensateurs qui présentent des caractéristiques de température de T à V.

### CLASSE IV

Cette classification est réservée aux composants dont la fabrication comprend du titanate réduit ou une couche d'arrêt. Bien qu'ils répondent globalement aux descriptions des classes II et III, certaines autres différences électriques sont présentes, comme décrites au point EIA-198-3-F de cette spécification.

## Facteur de perte (DF)

Le facteur de perte/facteur de puissance d'un condensateur indique quel pourcentage de la puissance apparente ( $I_{rms} \cdot V_{rms}$ ) reçue se transformera en chaleur dans le condensateur. Le facteur de perte et la résistance série équivalente (ESR) sont reliés; ainsi, le courant qui circule dans le condensateur entraîne une perte dans l'ESR.

La perte et la puissance apparente se calculent comme suit :

Perte :

$$P = I_{rms}^2 * ESR$$

Puissance apparente :

$$I_{rms}^2 * X_c, \\ I_{rms}^2 * \sqrt{(1 / (2 * \pi * F * C)^2 + ESR^2)}$$

$$DF = (I_{rms}^2 * ESR) / \\ (I_{rms}^2 * \sqrt{(1 / (2 * \pi * F * C)^2 + ESR^2)})$$

$$= ESR / \sqrt{(1 / (2 * \pi * F * C)^2 + ESR^2)}$$

De cette équation, le dénominateur à très basse fréquence est de  $1/2 * \pi * F * C$ ; on peut donc dire que  $DF = 2 * \pi * F * C * ESR$ .

Ainsi, plus l'ESR est faible, plus le facteur de perte est faible. Il est à noter que le DF varie selon la fréquence.

## Vieillessement

Le vieillissement est un facteur critique dans la sélection d'un condensateur. Les condensateurs de type NPO ne souffrent pas généralement de vieillissement, mais les autres diélectriques vieillissent de 2 à 5 % par décade.

Par exemple, un condensateur X7R perd 2 % par décade heure, tandis qu'un condensateur de 1 uF tombera à 0,98 uF après 10 heures, à 0,96 uF après 100 heures et à 0,94 uF après 1 000 heures. Lorsqu'un condensateur X7R est utilisé dans une application de minuterie, la fréquence augmentera au fil du temps; le condensateur de type NPO est donc un meilleur choix en raison de sa stabilité dans le temps. Les fabricants proposent habituellement la valeur du condensateur après 1 000 h; il faut s'attendre à une réduction de 2 % après 10 000 h, soit un peu plus d'un an, environ.

## Effet microphonique

Les céramiques à constante diélectrique très élevée sont à privilégier pour obtenir un condensateur puissant dans un espace

restreint. Ces céramiques à constante diélectrique très élevée sont souvent également piézoélectriques, c'est-à-dire qu'elles agissent comme transducteur. Une pression mécanique sur la céramique entraîne une différence de tension à sa surface. Comme l'explique AVX :

« **Effets des contraintes mécaniques** – Les condensateurs céramiques à constante diélectrique élevée démontrent de faibles réactions piézoélectriques sous l'effet de contraintes mécaniques. De manière générale, plus le débit piézoélectrique est élevé, plus la constante diélectrique de la céramique est élevée. Il est souhaitable d'examiner cet effet avant d'utiliser des diélectriques à constante élevée dans un condensateur de couplage pour une application de base. »

Ce problème est souvent présent dans les circuits d'amplification des microphones, puisqu'un condensateur céramique à constante diélectrique élevée est utilisé pour le couplage. De plus, les condensateurs montés en surface sont plus microphoniques que les condensateurs céramiques au plomb, possiblement en raison du couplage mécanique moins serré du circuit imprimé et du diélectrique, puisque les fils du condensateur agissent comme amortisseur de vibrations.

## Permittivité de certains diélectriques

Le tableau ci-dessous, extrait et simplifié de Wikipédia, illustre bien pourquoi la céramique est utilisée dans les condensateurs. La permittivité de la céramique varie de 86 à 10 000, ce qui est nettement plus élevé que le polystyrène, utilisé dans les condensateurs à film, et beaucoup plus que l'air et le vide. À noter, les cinq derniers éléments sont des céramiques.

<b>Matériau</b>	<b>Permittivité</b>
Vide	1
Air	1,0006
Teflon	2,1
Polystyrène	2,4-2,7
Papier	3,5
Silice	4,5
Pyrex (verre)	3,7-10
Silicium	11,68
Eau	80 à 20 °C
Dioxyde de titane	86-173
Titanate de strontium	310
Titanate de baryum et strontium	500
Titanate de baryum	1 250-10 000 (20-120 °C)
Titanate zirconate de plomb	500-6 000

## Conclusion

Bien qu'elle ne soit pas exhaustive puisqu'elle couvre uniquement quelques aspects des condensateurs céramiques, cette note d'application visait principalement à clarifier certains facteurs qui déterminent la sélection optimale. Parmi les autres facteurs importants non couverts, on retrouve la plage de fréquences, l'inductance de série équivalente (ESL), la fréquence de résonance, la variation de la capacité selon la polarisation CC, les fuites CC, et plus encore.