

## **NOMBRES COMPLEXES(Partie 2)**

### **I) LA FORME EXPONENTIELLE D'UN COMPLEXE NON NUL.**

#### **1) Notation et conséquence :**

**Définition :** Soit  $\theta$  un réel

on pose :  $\cos\theta + i \sin\theta = e^{i\theta}$

Soit  $z = [r, \theta]$  un complexe non nul, on a :

$$z = r(\cos\theta + i \sin\theta) = re^{i\theta}$$

Cette écriture s'appelle la forme exponentielle du complexe non nul  $z$

**Exemple :**  $z = \sqrt{2} + i\sqrt{2}$

$$|z| = 2 \quad \text{et} \quad \arg z \equiv \frac{\pi}{4} [2\pi]$$

$$\text{Donc : } z = 2e^{i\frac{\pi}{4}}$$

#### **Conséquence de la notation :**

Tous les résultats qu'on a vus au paravent concernant les modules et les arguments des nombres complexes non nuls

On peut les rapporter en utilisant la notation exponentielle.

**Propriété :** Soient  $z = re^{i\theta}$  et  $z' = r'e^{i\theta'}$

$$1) \quad zz' = rr'e^{i(\theta+\theta')} \quad 2) \quad z^n = r^n e^{in\theta}$$

$$3) \quad \frac{1}{z'} = \frac{1}{r'} e^{-i\theta'} \quad 4) \quad \frac{z}{z'} = \frac{r}{r'} e^{i(\theta-\theta')}$$

$$5) \quad \bar{z} = re^{-i\theta} \quad 6) \quad -z = re^{i(\pi+\theta)}$$

**Exemples :** donner la forme exponentielle des complexes suivants :

$$1) \quad z_1 = 2 + 2i \quad 2) \quad z_2 = 1 - i\sqrt{3} \quad 3) \quad z_1 \times z_2$$

$$4) \quad \frac{z_1}{z_2}$$

$$5) \quad (z_2)^{12}$$

**Solution :** 1)  $z_1 = 2 + 2i \quad |z_1| = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$

$$2 + 2i = 2\sqrt{2} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} + i \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = 2\sqrt{2} \left( \cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)$$

$$\text{Donc : } z_1 = 2\sqrt{2} e^{i\frac{\pi}{4}}$$

$$2) \quad z_2 = 1 - i\sqrt{3} \quad |z_2| = \sqrt{(1)^2 + (-\sqrt{3})^2} = \sqrt{4} = 2$$

$$1 - i\sqrt{3} = 2 \left( \frac{1}{2} - i \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 2 \left( \cos \frac{\pi}{3} - i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

$$\text{Donc : } z_2 = 2 \left( \cos \left( -\frac{\pi}{3} \right) + i \sin \left( -\frac{\pi}{3} \right) \right)$$

$$\text{Donc : } z_2 = 2e^{-i\frac{\pi}{3}}$$

$$3) \quad z_1 \times z_2$$

$$z_1 \times z_2 = 2\sqrt{2} e^{i\frac{\pi}{4}} \times 2e^{-i\frac{\pi}{3}} = 4\sqrt{2} e^{i\frac{\pi}{4} - i\frac{\pi}{3}} = 4\sqrt{2} e^{-i\frac{\pi}{12}}$$

$$4) \quad \frac{z_1}{z_2} = \frac{2\sqrt{2} e^{i\frac{\pi}{4}}}{2e^{-i\frac{\pi}{3}}} = \frac{2\sqrt{2}}{2} e^{i\frac{\pi}{4} - (-i\frac{\pi}{3})} = 2\sqrt{2} e^{i\frac{\pi}{4} + i\frac{\pi}{3}} = 2\sqrt{2} e^{i\frac{7\pi}{12}}$$

$$5) \quad (z_2)^{12} = \left( 2e^{-i\frac{\pi}{3}} \right)^{12} = 2e^{-i12\frac{\pi}{3}} = 2e^{-4i\pi}$$

### **2) Formule de Moivre**

**Propriété :** Pour tout réel  $\theta$  on a :

$$\left( re^{i\theta} \right)^n = (r)^n re^{in\theta}$$

$$\text{d'où : } (\cos\theta + i \sin\theta)^n = \cos(n\theta) + i \sin(n\theta)$$

**Applications :** en utilisant la Formule de Moivre

$$1) \text{montrer que : } \sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$$

Et que :  $\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \quad \forall \theta \in \mathbb{R}$

2)montrer que :  $\cos 3\theta = 4\cos^3 \theta - 3\cos \theta$

Et que :  $\sin 3\theta = 3\sin \theta - 4\sin^3 \theta \quad \forall \theta \in \mathbb{R}$

3)montrer que :  $\cos 4\theta = 8\cos^4 \theta - 8\cos^2 \theta + 1$

Et que :  $\sin 4\theta = 4\cos^3 \theta \sin \theta - 4\cos \theta \sin^3 \theta$

**Solutions :** 1)d'après Moivre on a :

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^2 = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$$

Et on a :  $(\cos \theta + i \sin \theta)^2 = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta + 2i \sin \theta \cos \theta$

Donc :  $\cos^2 \theta - \sin^2 \theta + 2i \sin \theta \cos \theta = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$

Donc :  $\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$  et  $\sin 2\theta = 2\cos \theta \sin \theta$

2) d'après Moivre on a :

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^3 = \cos 3\theta + i \sin 3\theta$$

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^3 = \cos^3 \theta + 3(\cos \theta)^2 i \sin \theta + 3\cos \theta (i \sin \theta)^2 + (i \sin \theta)^3$$

$$= \cos^3 \theta - 3\cos \theta \sin^2 \theta + i(3\cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta)$$

Donc :

$$\cos^3 \theta - 3\cos \theta \sin^2 \theta + i(3\cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta) = \cos 3\theta + i \sin 3\theta$$

Donc :  $\sin 3\theta = 3\cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta$

Et :  $\cos 3\theta = \cos^3 \theta - 3\cos \theta \sin^2 \theta$

$$= \cos^3 \theta - 3\cos \theta (1 - \cos^2 \theta)$$

Donc :

$$\cos 3\theta = \cos^3 \theta - 3\cos \theta + 3\cos^3 \theta = 4\cos^3 \theta - 3\cos \theta$$

Et  $\sin 3\theta = 3\cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta = 3(1 - \sin^2 \theta) \sin \theta - \sin^3 \theta$

$$= 3\sin \theta - 4\sin^3 \theta$$

3)montrons que :  $\cos 4\theta = 8\cos^4 \theta - 8\cos^2 \theta + 1$

Et que :  $\sin 4\theta = 4\cos^3 \theta \sin \theta - 4\cos \theta \sin^3 \theta$  ?

3) d'après Moivre on a :

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^4 = \cos 4\theta + i \sin 4\theta$$

$$(\cos \theta + i \sin \theta)^4 = \cos^4 \theta + 4(\cos \theta)^3 i \sin \theta - 6\cos^2 \theta \sin^2 \theta$$

$$- 4i \cos \theta \sin^3 \theta + \sin^4 \theta$$

Donc :  $\cos 4\theta = \cos^4 \theta - 6\cos^2 \theta \sin^2 \theta + \sin^4 \theta$

Et  $\sin 4\theta = 4\cos^3 \theta \sin \theta - 4\cos \theta \sin^3 \theta$

Donc :

$$\cos 4\theta = \cos^4 \theta - 6\cos^2 \theta (1 - \cos^2 \theta) + (1 - \cos^2 \theta)^2$$

Finalement on a donc :

$$\cos 4\theta = 8\cos^4 \theta - 8\cos^2 \theta + 1$$

Et que :  $\sin 4\theta = 4\cos^3 \theta \sin \theta - 4\cos \theta \sin^3 \theta$

**3) Formule d'Euler :** Soit  $z = \cos \theta + i \sin \theta = e^{i\theta}$

un nombre complexe non nul et son conjugué

$$\bar{z} = \cos \theta - i \sin \theta = e^{-i\theta}$$

en faisant la somme membre à membre on obtient :  $\cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2}$

puis en faisant la différence membre à membre

on obtient :  $\sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$

**Propriété :** Pour tout réel  $\theta$  on a :

$$\cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \quad \text{et} \quad \sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$$

**Exemple1:** Linéariser :  $\cos^4 x$

On a :

$$(a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 6ab^3 + b^4$$

Donc :  $\cos^4 \theta = \left( \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \right)^4$

$$= \left( \frac{1}{2} \right)^4 (e^{4i\theta} + 3e^{3i\theta} e^{-i\theta} + 6e^{2i\theta} e^{-2i\theta} + 3e^{i\theta} e^{-3i\theta} + e^{-4i\theta})$$

$$= \frac{1}{16} (e^{4i\theta} + 3e^{2i\theta} + 6 + 3e^{-2i\theta} + e^{-4i\theta})$$

1					
1	1				
1	2	1			
1	3	3	1		
1	4	6	4	1	
1	5	10	10	5	1

triangle de Pascal

$$= \frac{1}{16} (e^{4i\theta} + e^{-4i\theta} + 3(e^{2i\theta} + e^{-2i\theta}) + 6)$$

$$= \frac{1}{16} (2 \cos 4\theta + 3 \times 2 \cos 2\theta + 6)$$

Car  $e^{ni\theta} + e^{-ni\theta} = 2 \cos n\theta$

Donc :  $\cos^4 \theta = \frac{1}{8} (\cos 4\theta + 3 \cos 2\theta + 3)$

Donc :  $\cos^4 \theta = \frac{1}{8} \cos 4\theta + \frac{3}{8} \cos 2\theta + \frac{3}{8}$

**Exemple2:**

1) Montrer que  $(\forall (\alpha, \beta) \in \mathbb{R}^2)$

$$e^{i\alpha} + e^{i\beta} = e^{i\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)} \left( e^{i\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)} + e^{-i\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)} \right)$$

(Cette égalité nous permet de déterminer la forme trigonométrique de la somme de deux complexes de même module)

2) on pose :  $u = 3e^{i\frac{\pi}{5}}$  et  $v = 3e^{i\frac{\pi}{7}}$  et  $u_1 = 1 + e^{i\frac{\pi}{3}}$

Et  $u_2 = 1 - e^{i\frac{\pi}{3}}$

Déterminer le module et l'argument du nombre complexes :  $u+v$  ;  $u_1$  et  $u_2$

**Solution :1)** à vérifier

2)a)  $u + v = 3e^{i\frac{\pi}{5}} + 3e^{i\frac{\pi}{7}} = 3 \left( e^{i\frac{\pi}{5}} + e^{i\frac{\pi}{7}} \right)$

$$u + v = 3e^{i\left(\frac{6\pi}{35}\right)} \left( e^{i\left(\frac{\pi}{10} - \frac{\pi}{14}\right)} + e^{-i\left(\frac{\pi}{10} - \frac{\pi}{14}\right)} \right)$$

$$u + v = 3e^{i\left(\frac{6\pi}{35}\right)} \left( e^{i\left(\frac{\pi}{35}\right)} + e^{-i\left(\frac{\pi}{35}\right)} \right)$$

$u + v = 6 \cos \left( \frac{\pi}{35} \right) e^{i\left(\frac{6\pi}{35}\right)}$  et puisque

$6 \cos \left( \frac{\pi}{35} \right) > 0$  alors :  $|u + v| = 6 \cos \left( \frac{\pi}{35} \right)$

Et  $\arg(u + v) \equiv \frac{6\pi}{35} [2\pi]$

b)  $u_1 = 1 + e^{i\frac{\pi}{3}} = e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} e^{-i\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \left( e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} \right)^2$

$$u_1 = e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} \left( e^{-i\left(\frac{\pi}{6}\right)} + e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} \right) = 2 \cos \frac{\pi}{6} \times e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)}$$

Car : d'après Euler  $e^{ni\theta} + e^{-ni\theta} = 2 \cos n\theta$

alors :  $u_1 = \sqrt{3} \times e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)}$   $|u_1| = \sqrt{3}$

Et  $\arg(u_1) \equiv \frac{\pi}{6} [2\pi]$

c)  $u_2 = 1 - e^{i\frac{\pi}{3}} = e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} e^{-i\left(\frac{\pi}{6}\right)} - \left( e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} \right)^2$

$$u_2 = e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} \left( e^{-i\left(\frac{\pi}{6}\right)} - e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)} \right) = -2i \sin \frac{\pi}{6} \times e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)}$$

Car : d'après Euler  $e^{ni\theta} - e^{-ni\theta} = 2i \sin n\theta$

alors :  $u_2 = -i \times e^{i\left(\frac{\pi}{6}\right)}$   $|u_2| = 1$

Et  $\arg(u_2) \equiv -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} [2\pi]$  donc :  $\arg(u_2) \equiv -\frac{\pi}{3} [2\pi]$

Et  $\arg(u_2) \equiv -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} [2\pi]$  donc :  $\arg(u_2) \equiv -\frac{\pi}{3} [2\pi]$

**Exercice1 :1)** en utilisant la formule d'Euler

Montrer que :  $\cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2}$   $\theta \in \mathbb{R}$

2) Montrer que :  $\cos^3 \theta = \frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta$

3) Montrer que :  $\sin^3 \theta = -\frac{1}{4} \sin 3\theta + \frac{3}{4} \sin \theta$   $\theta \in \mathbb{R}$

4) Montrer que :  $\sin^4 \theta = \frac{1}{8} \cos 4\theta - \frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{3}{8}$

5) Linéariser : a)  $\sin^5 \theta$  b)  $\cos^2 \theta \sin^3 \theta$

**Solution :1)** On a :  $\cos^2 x = \left( \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \right)^2$

$$= \left( \frac{1}{2} \right)^2 (e^{2i\theta} + 2e^{i\theta} e^{-i\theta} + e^{-2i\theta})$$

$$= \frac{1}{4} (e^{2i\theta} + e^{-2i\theta} + 2) = \frac{1}{4} (2 \cos 2\theta + 2) = \frac{\cos 2\theta + 1}{2}$$

$$2) \cos^3 \theta = \frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta ?$$

$$\cos^3 \theta = \left( \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \right)^3 = \frac{1}{8} \left( (e^{i\theta})^3 + 3(e^{i\theta})^2 \cdot e^{-i\theta} + 3e^{i\theta} \cdot (e^{-i\theta})^2 + (e^{-i\theta})^3 \right)$$

$$\cos^3 \theta = \frac{1}{8} (e^{i3\theta} + 3e^{i2\theta} \cdot e^{-i\theta} + 3e^{i\theta} \cdot e^{-i2\theta} + e^{-i3\theta})$$

$$\cos^3 \theta = \frac{1}{8} ((e^{i3\theta} + e^{-i3\theta}) + 3(e^{i\theta} + e^{-i\theta}))$$

On a :  $e^{in\theta} + e^{-in\theta} = 2\cos(n\theta)$  donc :

$$= \frac{1}{8} (2\cos 3\theta + 3 \times 2\cos \theta) = \frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta$$

$$3) \sin^3 \theta = -\frac{1}{4} \sin 3\theta + \frac{3}{4} \sin \theta ?$$

$$\text{On a : } \sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i}$$

Donc :

$$\sin^3 \theta = \left( \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \right)^3 = -\frac{1}{8i} \left( (e^{i\theta})^3 - 3(e^{i\theta})^2 \cdot e^{-i\theta} + 3e^{i\theta} \cdot (e^{-i\theta})^2 - (e^{-i\theta})^3 \right)$$

$$\sin^3 \theta = -\frac{1}{8i} (e^{i3\theta} - 3e^{i2\theta} \cdot e^{-i\theta} + 3e^{i\theta} \cdot e^{-i2\theta} - e^{-i3\theta})$$

$$\sin^3 \theta = -\frac{1}{8i} ((e^{i3\theta} - e^{-i3\theta}) - 3(e^{i\theta} - e^{-i\theta}))$$

Et on a :  $2i \sin n\theta = e^{in\theta} - e^{-in\theta}$  donc :

$$= -\frac{1}{8i} (2i \sin 3\theta - 3 \times 2i \sin \theta) = -\frac{1}{4} \sin 3\theta + \frac{3}{4} \sin \theta$$

$$4) \sin^4 \theta = \frac{1}{8} \cos 4\theta - \frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{3}{8} ?$$

$$\text{On a : } \sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \text{ et } \theta \in \mathbb{R}$$

$$\sin^4 \theta = \left( \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \right)^4$$

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{16} \left( (e^{i\theta})^4 - 4(e^{i\theta})^3 \cdot e^{-i\theta} + 6(e^{i\theta})^2 \cdot (e^{-i\theta})^2 - 4(e^{i\theta}) \cdot (e^{-i\theta})^3 + (e^{-i\theta})^4 \right)$$

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{16} (e^{4i\theta} - 4e^{3i\theta} \cdot e^{-i\theta} + 6e^{2i\theta} \cdot e^{-2i\theta} - 4e^{i\theta} \cdot e^{-3i\theta} + e^{-4i\theta})$$

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{16} (e^{4i\theta} - 4e^{2i\theta} + 6 - 4e^{-2i\theta} + e^{-4i\theta})$$

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{16} (-4(e^{2i\theta} + e^{-2i\theta}) + 6 + (e^{4i\theta} + e^{-4i\theta}))$$

On a :  $e^{in\theta} + e^{-in\theta} = 2\cos(n\theta)$  donc :

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{16} (-4 \times 2 \cos 2\theta + 6 + 2 \cos 4\theta)$$

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{8} (-4 \cos 2\theta + 3 + \cos 4\theta)$$

$$\sin^4 \theta = \frac{1}{8} \cos 4\theta - \frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{3}{8}$$

5)a) On a :

$$(a-b)^5 = a^5 - 5a^4b + 10a^3b^2 - 10a^2b^3 + 5ab^4 - b^5$$

$$\text{Donc : } \sin^5 \theta = \left( \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \right)^5$$

$$= \left( \frac{1}{2i} \right)^5 (e^{5i\theta} - 5e^{4i\theta} e^{-i\theta} + 10e^{3i\theta} e^{-2i\theta} - 10e^{2i\theta} e^{-3i\theta} + 5e^{i\theta} e^{-4i\theta} - e^{-5i\theta})$$

$$= -\frac{1}{32i} (e^{5i\theta} - 5e^{3i\theta} + 10e^{i\theta} - 10e^{-i\theta} + 5e^{-3i\theta} - e^{-5i\theta})$$

$$= -\frac{1}{32i} (e^{5i\theta} - e^{-5i\theta} - 5(e^{3i\theta} - e^{-3i\theta}) + 10(e^{i\theta} - e^{-i\theta}))$$

$$= -\frac{1}{16} (\sin 5\theta - 5 \sin 3\theta + 10 \sin \theta)$$

$$\text{Car } e^{ni\theta} - e^{-ni\theta} = 2i \sin n\theta$$

$$\text{Donc : } \sin^5 x = -\frac{1}{16} \sin 5\theta + \frac{5}{16} \sin 3\theta - \frac{5}{8} \sin \theta$$

$$5)b) \cos^2 \theta \sin^3 \theta = \left( \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \right)^2 \times \left( \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \right)^3$$

$$= \frac{1}{-32i} (e^{i\theta} + e^{-i\theta})^2 \times (e^{i\theta} - e^{-i\theta})^3$$

$$= \frac{1}{-32i} (e^{2i\theta} - e^{-2i\theta})^2 \times (e^{i\theta} - e^{-i\theta})$$

$$= \frac{1}{-32i} (e^{4i\theta} - 2 + e^{-4i\theta}) \times (e^{i\theta} - e^{-i\theta})$$

$$= \frac{1}{-32i} (e^{5i\theta} - e^{-5i\theta} - (e^{3i\theta} - e^{-3i\theta}) - 2(e^{i\theta} - e^{-i\theta}))$$

$$= \frac{1}{-32i} (2i \sin 5\theta - 2i \sin 3\theta - 2 \times 2i \sin \theta)$$

$$= -\frac{1}{16} (\sin 5\theta - \sin 3\theta - 2 \sin \theta)$$

## II) LES EQUATION DU SECOND DEGRE DANS $\mathbb{C}$ :

Considérons l'équation  $P(z) = az^2 + bz + c = E$

Où  $a, b$  et  $c$  sont des réels avec  $a \neq 0$

On a :

$$P(z) = a \left( z^2 + \frac{b}{a} z \right) + c = a \left( z^2 + 2 \frac{b}{2a} z + \left( \frac{b}{2a} \right)^2 - \left( \frac{b}{2a} \right)^2 \right) + c$$

$$P(z) = a \left( \left( z + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \right)$$

On pose :  $\Delta = b^2 - 4ac$

1) Si  $\Delta = 0$  l'équation (E) admet racine double :

$$z = -\frac{b}{2a}$$

2) Si  $\Delta \neq 0$  ; soit  $\delta$  l'un des deux racines carrées

de  $\Delta$ , on aura :  $P(z) = a \left( \left( z + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{\delta^2}{4a^2} \right)$

$$P(z) = a \left( z + \frac{b}{2a} + \frac{\delta}{2a} \right) \left( z + \frac{b}{2a} - \frac{\delta}{2a} \right)$$

$$P(z) = a \left( z + \frac{b+\delta}{2a} \right) \left( z + \frac{b-\delta}{2a} \right)$$

On pose :  $z_1 = \frac{-b+\delta}{2a}$  et  $z_2 = \frac{-b-\delta}{2a}$  on a :

$$P(z) = a(z-z_1)(z-z_2)$$

$$P(z) = 0 \Leftrightarrow (z-z_1)(z-z_2) = 0$$

$$\Leftrightarrow z = z_1 \text{ ou } z = z_2$$

**Propriété :** Considérons dans  $\mathbb{C}$  l'équation

$az^2 + bz + c = (E)$  où  $a, b$  et  $c$  sont des réels avec  $a \neq 0$  et soit  $\Delta = b^2 - 4ac$  son discriminant

on a :

**Si  $\Delta = 0$**  alors l'équation (E) admet comme

solution le complexe  $z = -\frac{b}{2a}$

**Si  $\Delta \neq 0$**  l'équation (E) admet comme solution les

complexes  $z_1 = \frac{-b+\delta}{2a}$  et  $z_2 = \frac{-b-\delta}{2a}$  où  $\delta$  une

racine carrées de  $\Delta$

**Remarque :** Si les coefficients  $a, b$  et  $c$  sont des réels et  $\Delta < 0$  alors l'équation  $az^2 + bz + c =$  admet

deux racines complexes conjugué  $z_1 = \frac{-b+i\sqrt{-\Delta}}{2a}$

$$\text{et } z_2 = \frac{-b-i\sqrt{-\Delta}}{2a}$$

**Exemple:** Résoudre dans  $\mathbb{C}$  les équations

suivantes : 1) (E) :  $z^2 - z + 2 = 0$

$$2) (E) : z^2 - z - 2 = 0$$

$$3) (E) : z^2 - 2z + 1 = 0$$

**Solution :** 1) (E) :  $z^2 - z + 2 = 0$

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-1)^2 - 4(2) = -7 = (i\sqrt{7})^2$$

Donc les solutions sont :  $z_1 = \frac{1+i\sqrt{7}}{2} = \frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{7}}{2}$

$$\text{Et } z_2 = \bar{z}_1 = \frac{1-i\sqrt{7}}{2}$$

Donc :  $S = \left\{ \frac{1-i\sqrt{7}}{2}; \frac{1+i\sqrt{7}}{2} \right\}$

$$2) (E) : z^2 - z - 2 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-1)^2 - 4(-2) = 9 = (3)^2$$

Donc les solutions sont :  $z_1 = \frac{1-3}{2} = -1$  e

$$z_2 = \frac{1+3}{2} = 2$$

Donc :  $S = \{-1; 2\}$

$$3) (E) : z^2 - 2z + 1 = 0$$

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-2)^2 - 4 = 0$$

L'équation (E) admet comme solution le complexe

$$z = -\frac{b}{2a} = -\frac{-2}{2} = 1 \text{ donc : } S = \{1\}$$

**Propriété :** Si l'équation (E) admet deux racines distinctes  $z_1$  et  $z_2$  alors  $z_1 + z_2 = -\frac{b}{a}$  et  $z_1 \times z_2 = \frac{c}{a}$

**Exemple:** soit  $z \in \mathbb{C}$  on pose :  $P(z) = z^2 - 2z + 2$

1) calculer :  $P(1-i)$

2) en déduire dans  $\mathbb{C}$  la résolution de l'équations

$$P(z) = 0$$

**Solution :1)**

$$P(1-i) = (1-i)^2 - 2(1-i) + 2 = -2i - 2 + 2i + 2 = 0$$

Donc  $z_1 = 1 - i$  est une racine de de l'équations

$P(z) = 0$  et on a :  $z_1 + z_2 = -\frac{b}{a}$  donc :

$$1 - i + z_2 = -\frac{-2}{1} \text{ donc } z_2 = 2 + i - 1 = 1 + i$$

Par suite :  $S = \{1 - i; 1 + i\}$

**Exercice2** : Résoudre dans  $\mathbb{C}$  les équations

suivantes : 1)  $(z^2 + 9)(z^2 - 4) = 0$

2)  $z^2 - 6z + 13 = 0$

3)  $(4\cos\theta)z^2 - 2(\cos 2\theta)z + i\sin\theta = 0$  avec :  $\theta \in \left[0; \frac{\pi}{2}\right]$

**Solution :**

1)  $(z^2 + 9)(z^2 - 4) = 0$  ssi  $z^2 - 4 = 0$  ou  $z^2 + 9 = 0$

Ssi  $z^2 = 4$  ou  $z^2 = -9$

Ssi  $z = \sqrt{4}$  ou  $z = -\sqrt{4}$  ou  $z = \sqrt{9}i$  ou  $z = -\sqrt{9}i$

Ssi :  $z = 2$  ou  $z = -2$  ou  $z = 3i$  ou  $z = -3i$

Donc :  $S = \{-3i; 3i; -2; 2\}$

2)  $z^2 - 6z + 13 = 0$

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-6)^2 - 4(13) = 36 - 52 = (4i)^2$$

Donc les solutions sont :  $z_1 = \frac{6 + 4i}{2} = 3 + 2i$

Et  $z_2 = \overline{z_1} = 3 - 2i$  donc :  $S = \{3 - 2i; 3 + 2i\}$

3)  $(4\cos\theta)z^2 - 2(\cos 2\theta)z + i\sin\theta = 0$

$$\Delta = (2(\cos 2\theta))^2 - 4(4\cos\theta)(\sin\theta)i$$

$$\Delta = 4\cos^2 2\theta - 16i\cos\theta\sin\theta$$

$$\Delta = 4(\cos^2 2\theta - 4i\cos\theta\sin\theta)$$

On a :  $2\cos\theta\sin\theta = \sin 2\theta$  et  $\cos^2 2\theta = 1 - \sin^2 2\theta$

Donc :  $\Delta = 4(1^2 + i^2 \times \sin^2 2\theta - 2i\sin 2\theta)$

Donc :  $\Delta = (2(1 - i\sin 2\theta))^2$

les solutions sont :  $z_1 = \frac{2(\cos 2\theta) + 2(1 - i\sin 2\theta)}{2(4\cos\theta)}$

$$\text{et : } z_2 = \frac{2(\cos 2\theta) - 2(1 - i\sin 2\theta)}{2(4\cos\theta)}$$

les solutions sont :  $z_1 = \frac{\cos 2\theta + 1 - i\sin 2\theta}{4\cos\theta}$

$$\text{et : } z_2 = \frac{\cos 2\theta - 1 + i\sin 2\theta}{4\cos\theta}$$

et on a :  $\cos 2\theta - 1 = -2\sin^2\theta$  et  $\cos 2\theta + 1 = 2\cos^2\theta$

donc :  $z_1 = \frac{2\cos^2\theta - i2\sin\theta\cos\theta}{4\cos\theta} = \frac{\cos\theta - i\sin\theta}{2}$

$$\text{et } z_2 = \frac{-\sin^2\theta + i\sin\theta\cos\theta}{2\cos\theta}$$

**Exercice3** :1) Résoudre dans  $\mathbb{C}$  l'équation :

$$z^2 - 8z + 17 = 0$$

2) Soit  $P(z) = z^3 + (-8 + i)z^2 + (17 - 8i)z + 17i$

a) Montrer que l'équation  $P(z) = 0$  admet un imaginaire pur unique comme solution.

b) déterminer les réels  $a; b; c$  tels que :

$$P(z) = (z + i)(az^2 + bz + c)$$

c) Résoudre dans  $\mathbb{C}$  l'équation :  $P(z) = 0$

**Solution :1)**  $z^2 - 8z + 17 = 0$

$$\Delta = b^2 - 4ac = (-8)^2 - 4(17) = 64 - 68 = (2i)^2$$

les solutions sont :  $z_1 = \frac{8 + 2i}{2} = 4 + i$  et  $z_2 = \overline{z_1} = 4 - i$

donc :  $S = \{4 - i; 4 + i\}$

2)a) soit  $z_0 = bi$  une solution imaginaire pur de

l'équation  $P(z) = 0$  donc :

$$z_0^3 + (-8 + i)z_0^2 + (17 - 8i)z_0 + 17i = 0$$

Donc :  $(bi)^3 + (-8 + i)(bi)^2 + (17 - 8i)(bi) + 17i = 0$

Donc :  $-ib^3 - (-8 + i)b^2 + 17bi + 8b + 17i = 0$

Donc :  $-ib^3 + 8b^2 - ib^2 + 17bi + 8b + 17i = 0$

Donc :  $8b^2 + 8b + i(-b^3 - b^2 + 17b + 17) = 0$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 8b^2 + 8b = 0 \\ -b^3 - b^2 + 17b + 17 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 8b(b+1) = 0 \\ -b^3 - b^2 + 17b + 17 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} b = 0 \text{ ou } b = -1 \\ -b^3 - b^2 + 17b + 17 = 0 \end{cases}$$

$b = 0$  ne vérifie pas  $-b^3 - b^2 + 17b + 17 = 0$

Car  $-0^3 - 0^2 + 17 \cdot 0 + 17 \neq 0$

$b = -1$  vérifie  $-b^3 - b^2 + 17b + 17 = 0$  car :

$$-(-1)^3 - (-1)^2 + 17(-1) + 17 = 0$$

Donc :  $b = -1$  donc :  $z_0 = (-1)i = -i$  est l'unique solution imaginaire pur de l'équation  $P(z) = 0$

2)b)  $(z+i)(az^2 + bz + c) = az^3 + bz^2 + cz + aiz^2 + biz + ci$

$$P(z) = az^3 + (b+ai)z^2 + (c+bi)z + ci$$

Et on a :  $P(z) = z^3 + (-8+i)z^2 + (17-8i)z + 17i$

$$\text{Donc : } \begin{cases} a = 1 \\ b + ai = -8 + i \\ c + bi = 17 - 8i \\ ci = 17i \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = 1 \\ b = -8 \\ c - 8i = 17 - 8i \\ c = 17 \end{cases}$$

donc :  $a = 1$  et  $b = -8$  et  $c = 17$

Donc :  $P(z) = (z+i)(z^2 - 8z + 17)$

2)c)  $P(z) = 0 \Leftrightarrow (z+i)(z^2 - 8z + 17) = 0$

$$\Leftrightarrow z^2 - 8z + 17 = 0 \text{ ou } z + i = 0$$

$$\Leftrightarrow z_1 = 4 + i \text{ ou } z_2 = 4 - i \text{ ou } z_0 = -i$$

Donc :  $S = \{4 - i; 4 + i; -i\}$

**Exercice4** : Résoudre dans  $\mathbb{C}$  les équations suivantes :

1)  $2Z^2 - 2Z + 5 = 0$     2)  $3Z^3 - 3Z^2 + 2Z - 2 = 0$

**Solutions** : 1)  $2Z^2 - 2Z + 5 = 0$      $\Delta = -36$

Donc :  $z_1 = \frac{2 - i\sqrt{36}}{4}$  ;  $z_2 = \frac{2 + i\sqrt{36}}{4}$

Donc :  $S = \left\{ \frac{1-3i}{2} ; \frac{1+3i}{2} \right\}$

2)  $3Z^3 - 3Z^2 + 2Z - 2 = 0$

On remarque que 2 est solution

donc :  $3Z^3 - 3Z^2 + 2Z - 2$  est divisible par :  $z - 1$

La division euclidienne de  $3Z^3 - 3Z^2 + 2Z - 2$  par :

$z - 1$  nous donne :  $3Z^3 - 3Z^2 + 2Z - 2 = (Z-1)(3Z^2 + 2)$

$$3Z^2 + 2 = 0 \Leftrightarrow Z^2 = -\frac{2}{3} \Leftrightarrow Z = i\sqrt{\frac{2}{3}} \text{ ou } Z = -i\sqrt{\frac{2}{3}}$$

Donc les solutions de :  $3Z^3 - 3Z^2 + 2Z - 2 = 0$

sont :  $Z = 1$  ou  $Z = i\sqrt{\frac{2}{3}}$  ou  $Z = -i\sqrt{\frac{2}{3}}$

Donc :  $S = \left\{ 1; i\sqrt{\frac{2}{3}}; -i\sqrt{\frac{2}{3}} \right\}$

**Exercice5** : soit :  $z = -\frac{1+i\sqrt{3}}{\sqrt{2}+i\sqrt{2}}$

1) Donner la forme exponentielle et la forme algébrique du nombre complexes  $z$

2) en déduire :  $\cos \frac{11\pi}{12}$  et  $\sin \frac{11\pi}{12}$

**Solution** : 1)  $z = e^{-i\pi} \frac{2e^{\frac{i\pi}{3}}}{2e^{\frac{i\pi}{4}}} = e^{\frac{i\pi}{3} - \frac{\pi}{4} - \pi} = e^{-i\frac{11\pi}{12}}$

$$z = -\frac{1+i\sqrt{3}}{\sqrt{2}+i\sqrt{2}} = -\frac{(1+i\sqrt{3})(\sqrt{2}-i\sqrt{2})}{4} = -\frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}+i(\sqrt{6}-\sqrt{2})}{4}$$

$$z = \frac{-(\sqrt{6}+\sqrt{2})}{4} + i \frac{(\sqrt{2}-\sqrt{6})}{4}$$

2)  $\sin \frac{-11\pi}{12} = \frac{(\sqrt{2}-\sqrt{6})}{4}$  et  $\cos \frac{-11\pi}{12} = -\frac{(\sqrt{6}+\sqrt{2})}{4}$

Donc :  $\boxed{\cos \frac{11\pi}{12} = -\frac{(\sqrt{6} + \sqrt{2})}{4}}$  et  $\boxed{\sin \frac{11\pi}{12} = \frac{(\sqrt{6} - \sqrt{2})}{4}}$

### III) LES TRANSFORMATIONS DANS LE PLAN COMPLEXE.

#### 1) La translation :

##### 1.1 Définition géométrique.

Soit  $\vec{u}$  un vecteur de  $\mathcal{V}_2$  ; on appelle translation la transformation dans le plan qui associe à tout point  $M$  du plan le point  $M'$  tel que :  $\overrightarrow{MM'} = \vec{u}$

##### 1.2 Ecriture complexe d'une translation.

Soit  $\vec{u}$  un vecteur de  $\mathcal{V}_2$  tel que :  $\text{aff}(\vec{u}) = a$

et  $t_{\vec{u}}$  la translation de  $\vec{u}$ . La translation  $t_{\vec{u}}$

transforme  $M(z)$  en  $M'(z')$  tel que :  $\overrightarrow{MM'} = \vec{u}$

$$\overrightarrow{MM'} = \vec{u} \Leftrightarrow \text{aff}(\overrightarrow{MM'}) = \text{aff}(\vec{u})$$

$$\Leftrightarrow \text{aff}(M') - \text{aff}(M) = \text{aff}(\vec{u})$$

$$\Leftrightarrow z' - z = a \Leftrightarrow z' = z + a$$

**Propriété :** Soit  $\vec{u}$  un vecteur de  $\mathcal{V}_2$  tel que :

$\text{aff}(\vec{u}) = a$  ; la Translation  $t_{\vec{u}}$  transforme  $M(z)$

en  $M'(z')$  si et seulement si :  $z' = z + a$

Cette égalité s'appelle l'écriture complexe de la translation  $t_{\vec{u}}$  de vecteur  $\vec{u}$  tel que  $\text{aff}(\vec{u}) = a$

**Exemple :** Dans le plan complexe  $(O; \vec{i}, \vec{j})$ , on

considère les points : A ; B ; C d'affixe

respectivement  $z_A = 3 + 5i$  ;  $z_B = 3 - 5i$  ;  $z_C = 7 + 3i$

Et soit  $z'$  l'affixe de  $M'$  l'image de  $M(z)$  par la

translation  $t_{\vec{u}}$  tel que  $\text{aff}(\vec{u}) = 4 - 2i$

1) montrer que :  $z' = z + 4 - 2i$  ( l'écriture complexe de la translation de vecteur  $\vec{u}$  )

2) vérifier que le Point C est l'image de A par  $t_{\vec{u}}$

3) déterminer  $z_{B'}$  l'affixe de  $B'$  l'image de B par la translation  $t_{\vec{u}}$

**Solution:** 1)  $T(M) = M' \Leftrightarrow \overrightarrow{MM'} = \vec{u}$

$$\Leftrightarrow z_{M'} - z_M = z_{\vec{u}} \Leftrightarrow z_{M'} = z_M + z_{\vec{u}} \Leftrightarrow z' = z + z_{\vec{u}}$$

$$\Leftrightarrow z' = z + 4 - 2i \text{ (l'écriture complexe de la translation de vecteur } \vec{u} \text{)}$$

2) on a :  $z_A = 3 + 5i$

$$\text{Donc : } z' = 3 + 5i + 4 - 2i$$

$$\text{Donc : } z' = 7 + 3i = z_C$$

Donc: le point C est l'image de A par  $t_{\vec{u}}$

3) on a :  $z_B = 3 - 5i$  Donc :  $z' = 3 - 5i + 4 - 2i$

$$\Leftrightarrow z' = 7 - 7i = z_{B'}$$

Donc l'affixe de  $B'$  l'image de B par la translation  $t_{\vec{u}}$  est  $z_{B'} = 7 - 7i$

#### 2) L'homothétie

##### 2.1 Définition géométrique.

**Définition :** Soient  $\Omega(\omega)$  un point dans le plan et  $k$  un réel non nul ; on appelle l'homothétie de centre  $\Omega$  et de rapport  $k$ , la transformation dans le plan qui associe à tout point  $M$  du plan le point  $M'$  tel que  $\overrightarrow{\Omega M'} = k \cdot \overrightarrow{\Omega M}$  et se note  $h(\Omega, k)$

• Si  $k = 1$  alors la transformation  $h(\Omega, 1)$  est l'identité de  $(\mathcal{P})$  et tous les points du plan seront invariants

• Si  $k \neq 1$  alors le seul point invariant par  $h(\Omega, k)$  est le point  $\Omega$  le centre de la transformation  $h(\Omega, k)$

##### 2.2 Ecriture complexe d'une homothétie.

$\Omega(\omega)$  un point dans le plan complexe et  $k$  un réel non nul et différent de 1

et  $h(\Omega, k)$  l'homothétie de centre  $\Omega(\omega)$  et de

Rapport  $k$ , qui transforme le point  $M(z)$  en  $M'(z')$

$$h(M) = M' \Leftrightarrow \overrightarrow{\Omega M'} = k \cdot \overrightarrow{\Omega M}$$

$$\Leftrightarrow z_{M'} - z_{\Omega} = k(z_M - z_{\Omega}) \Leftrightarrow z' - \omega = k(z - \omega) \Leftrightarrow$$

$$z' = kz + \omega(1 - k) \text{ (l'écriture complexe de}$$

l'homothétie de centre  $\Omega(\omega)$  et de Rapport  $k$ )

**Propriété:** l'homothétie de centre  $\Omega(\omega)$  et de Rapport  $k$ , admet une écriture complexe de la forme:  $z' = kz + \omega(1 - k)$

**Exemple:** Dans le plan complexe  $(O; \vec{i}, \vec{j})$ , on

considère les points : A d'affixe  $z_A = 3 + 5i$  et soit

$z'$  l'affixe de  $M'$  l'image de  $M(z)$  par l'homothétie

de centre  $\Omega(3; -2)$  et de Rapport  $k = 4$

1) montrer que :  $z' = 4z - 9 + 6i$  ( l'écriture complexe de l'homothétie  $h(\Omega, k)$ )

2) déterminer  $z_{A'}$  l'affixe de  $A'$  l'image de A par l'homothétie  $h(\Omega, k)$

**Solution:** 1)  $h_{(\Omega; k)}(M) = M' \Leftrightarrow \overrightarrow{\Omega M'} = k \overrightarrow{\Omega M}$

$$\Leftrightarrow z_{M'} = kz_M + z_{\Omega}(1 - k)$$

$$\Leftrightarrow z' = 4z + z_{\Omega}(1 - 4) \Leftrightarrow z' = 4z - 3(3 - 2i)$$

$$\Leftrightarrow z' = 4z - 9 + 6i$$

2) on a :  $z_A = 3 + 5i$  et  $z' = 4z - 9 + 6i$

$$\text{Donc : } z' = 4(3 + 5i) - 9 + 6i$$

$$\text{Donc } z_{A'} = 3 + 26i$$

### 3) La rotation :

#### 3.1 Définition géométrique :

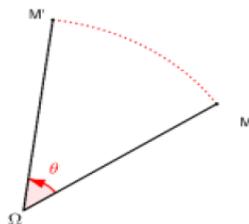
**Définition:** Soit  $\Omega$  un point dans le plan et  $\theta$  un nombre réel, la Rotation de centre  $\Omega$  et d'angle  $\theta$  est l'application qui

transforme tout point  $M$  en

$M'$  tel que:

$$\begin{cases} \Omega M = \Omega M' \\ \left( \overrightarrow{\Omega M}, \overrightarrow{\Omega M'} \right) \equiv \theta [2\pi] \end{cases}$$

On la note par :  $R(\Omega, \theta)$



#### Remarque :

• Si  $\theta \equiv 0 [2\pi]$  alors la rotation d'angle nul est l'identité de  $(\mathcal{P})$  et tous les points du plan seront invariants.

• Si  $\theta \not\equiv 0 [2\pi]$  alors le seul point invariant par  $R(\Omega, \theta)$  est le point  $\Omega$  le centre de la rotation  $(\Omega, \theta)$

#### 3.2 L'écriture complexe d'une rotation.

Soient  $\Omega(\omega)$  un point dans le plan complexe et  $\theta$  un réel non nul. la rotation de centre  $\Omega(\omega)$  et d'angle  $\theta$ , transforme le point  $M(z)$  en  $M'(z')$

$$\text{tel que : } \begin{cases} \Omega M = \Omega M' \\ \left( \overrightarrow{\Omega M}, \overrightarrow{\Omega M'} \right) \equiv \theta [2\pi] \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Omega M = \Omega M' \\ \left( \overrightarrow{\Omega M}, \overrightarrow{\Omega M'} \right) \equiv \theta [2\pi] \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} |z_M - z_{\Omega}| = |z_{M'} - z_{\Omega}| \\ \arg \left( \frac{z_{M'} - z_{\Omega}}{z_M - z_{\Omega}} \right) \equiv \theta [2\pi] \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \left| \frac{z_{M'} - z_{\Omega}}{z_M - z_{\Omega}} \right| = 1 \\ \arg \left( \frac{z_{M'} - z_{\Omega}}{z_M - z_{\Omega}} \right) \equiv \theta [2\pi] \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \frac{z_{M'} - z_{\Omega}}{z_M - z_{\Omega}} = e^{i\theta}$$

$$\Leftrightarrow z' = (z - \omega)e^{i\theta} + \omega$$

**Propriété :** La rotation de centre  $\Omega(\omega)$  et d'angle  $\theta$ , admet une écriture complexe de la forme :

$$z' = (z - \omega)e^{i\theta} + \omega$$

**Exemple:** Dans le plan complexe direct  $(O; \vec{i}, \vec{j})$ ,

on considère les points : A ; B d'affixe

respectivement  $z_A = 7 + 2i$  ;  $z_B = 4 + 8i$

Et soit  $z'$  l'affixe de  $M'$  l'image de  $M(z)$  par la

rotation  $r$  de centre B et d'angle  $\frac{\pi}{2}$

1) montrer que :  $z' = iz + 4i + 12$  ( l'écriture complexe de la rotation  $r$ )

2) montrer que l'affixe du point C l'image de A par la rotation  $r$  est  $z_C = 10 + 11i$

**Solution :**  $r(M) = M' \Leftrightarrow z_{M'} = e^{i\alpha} (z_M - z_B) + z_B$

$$\Leftrightarrow z' = e^{i\frac{\pi}{2}} (z - 4 - 8i) + 4 + 8i$$

$$\Leftrightarrow z' = \left( \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) (z - 4 - 8i) + z$$

$$\Leftrightarrow z' = i(z - 4 - 8i) + 4 + 8i$$

$$\Leftrightarrow z' = iz - 4i + 8 + 4 + 8i$$

$$\Leftrightarrow z' = iz + 4i + 12$$

2) on a :  $z_A = 7 + 2i$

Donc :  $z' = i(7 + 2i) + 4i + 12$

Donc :  $z' = 7i - 2 + 4i + 12 = 11i + 10$  cqfd

**Exercice6 :** Déterminer l'écriture complexe de la rotation  $r$  de centre  $\Omega (1+i)$  et d'angle  $\frac{3\pi}{4}$

**Solution :**  $r(M) = M' \Leftrightarrow z' = e^{i\alpha} (z - z_\Omega) + z_\Omega$

$$\Leftrightarrow z' = e^{i\frac{3\pi}{4}} (z - 1 - i) + 1 + i$$

$$\Leftrightarrow z' = \left( \cos \frac{3\pi}{4} + i \sin \frac{3\pi}{4} \right) (z - 1 - i) + 1 + i$$

$$\Leftrightarrow z' = \left( -\frac{\sqrt{2}}{2} + i\frac{\sqrt{2}}{2} \right) (z - 1 - i) + 1 + i$$

$$\Leftrightarrow z' = \frac{\sqrt{2}}{2} (-1 + i)z + \sqrt{2} + 1 + i$$

**Exercice7 :** Soit la rotation  $r$  de centre  $\Omega (i)$  et transforme  $O$  en  $O' \left( \frac{\sqrt{3} + i}{2} \right)$

Déterminer L'angle de cette rotation

**Solution :**  $r(M) = M' \Leftrightarrow z' = e^{i\alpha} (z - z_\Omega) + z_\Omega$

$$\Leftrightarrow z' = e^{i\theta} (z - i) + i$$

Et puisque :  $r(O) = O'$  alors :  $\frac{\sqrt{3} + i}{2} = e^{i\theta} (0 - i) + i$

$$\Leftrightarrow e^{i\theta} = \frac{\sqrt{3} + i}{0 - i} = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

Donc :  $\theta \equiv \frac{-\pi}{3} [2\pi]$

L'angle de cette rotation est  $-\frac{\pi}{3}$

**4) Etude de la transformation qui transforme  $M(z)$  en  $M'(z')$  tel que:  $z' = az + b$ :**

**Propriété1 :** La transformation plane  $f$  qui associe à tout point  $M(z)$  le point  $M'(z')$  tel que  $z' = z + b$  est la translation de vecteur  $\vec{u}$  tel que  $aff(\vec{u}) = b$

**Propriété2 :** La transformation plane  $f$  qui associe à tout point  $M(z)$  le point  $M'(z')$  tel que  $z' = az + b$  où  $a$  est un complexe tel que  $|a| = 1$  est la rotation d'angle  $\alpha \equiv \arg(a) [2\pi]$  et de centre  $\Omega(\omega)$

tel que  $\Omega(\omega = \frac{b}{1-a})$

**Propriété3 :** Soit  $a$  un complexe ( $a \notin \mathbb{R}$ ). La transformation plane  $f$  qui transforme  $M(z)$  en  $M'(z')$  tel que :  $z' = az + b$  est la composition de la rotation  $R$  et de l'homothétie  $h$  ;  $f = h \circ R$  où :

1)  $R$  est la rotation d'angle  $\alpha \equiv \arg(a) [2\pi]$  et de

centre  $\Omega(\omega)$  où  $\omega = \frac{b}{|a| - a}$

2)  $h$  est l'homothétie rapport  $r = |a|$  et de centre  $O(0)$

**Exercice 8:** Soit  $f$  une transformation plane qui transforme  $M(z)$  en  $M'(z')$  tel que

$$z' = -2z + 3 - 3i$$

Déterminer la nature de la transformation  $f$  et ses éléments caractéristiques

**Solution :** Soit :  $\omega = \frac{b}{1-a}$  on a : Le point  $\Omega(\omega)$  est

un point invariant par  $f$ :  $\omega = \frac{b}{1-a} = \frac{3-3i}{3} = 1-i$

D'où:  $\begin{cases} z' = -2z + 3 - 3i \\ \omega = -2\omega + 3 - 3i \end{cases}$  en faisant la différence on

obtient :  $z' - \omega = -2(z - \omega)$  qui se traduit par

$$\overrightarrow{\Omega M'} = -2\overrightarrow{\Omega M} \text{ Donc : } f \text{ est l'homothétie de centre}$$

$\Omega(\omega = 1 - i)$  et de Rapport -2

**Exercice 9:** Dans le plan complexe direct

$(O; \vec{i}, \vec{j})$ , on considère le point : A ( $i$ ) et la

rotation  $R_0$  de centre O (0) et d'angle  $\frac{\pi}{6}$  et soit  $R_1$

la rotation de centre A ( $i$ ) et d'angle  $\frac{\pi}{3}$

Déterminer la nature de la transformation  $R_1 \circ R_0$

et ses éléments caractéristiques

**Solution :** soit un point M ( $z$ )

On pose :  $R_0(M) = M'(z')$  et  $R_1(M') = M''(z'')$

$$R_0(M) = M'(z') \Leftrightarrow z' = e^{i\frac{\pi}{6}}(z - z_O) + z_O$$

$$\Leftrightarrow z' = e^{i\frac{\pi}{6}}z \text{ Car } z_O = 0$$

Et on a :  $R_1(M') = M''(z'') \Leftrightarrow z'' = e^{i\frac{\pi}{3}}(z' - z_A) + z_A$

$$\Leftrightarrow z'' = e^{i\frac{\pi}{3}}\left(e^{i\frac{\pi}{6}}z - i\right) + i \Leftrightarrow z'' = e^{i\frac{\pi}{3}}e^{i\frac{\pi}{6}}z + i\left(1 - e^{i\frac{\pi}{3}}\right)$$

$$\Leftrightarrow z'' = e^{i\frac{\pi}{2}}z + i\left(1 - e^{i\frac{\pi}{3}}\right) \Leftrightarrow z'' = iz + \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i$$

On sait que la composée de deux rotation est une

rotation  $\left(\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \neq 2k\pi\right)$

Déterminons le centre de la rotation :  $R_1 \circ R_0$  ?

Le centre de la rotation est le point invariant :

$$\omega = i\omega + \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \Leftrightarrow \omega(1-i) = \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i$$

$$\text{Donc : } \omega = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3} + i}{1-i} = \frac{\sqrt{3}-1}{4} + i \frac{\sqrt{3}+1}{4}$$

$$\text{On a : } \arg i = \frac{\pi}{2} [2\pi]$$

L'angle de la rotation est :  $\frac{\pi}{2}$

**Exercice 10:** soit ABC un triangle isocèle et

rectangle en A tel que :  $(\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC}) \equiv \frac{\pi}{2} [2\pi]$

et soit  $R$  la rotation de centre A et qui transforme

B en C et soit la translation  $T = t_{\overrightarrow{AB}}$

Déterminer :  $F_1 = R \circ T$  et  $F_2 = T \circ R$

**Solution :** on considère  $(A; \overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC})$  comme

repère normé donc : L'angle de la rotation  $R$

est :  $(\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC})$

donc :  $R$  la rotation de centre A (0) et d'angle  $\frac{\pi}{2}$

$$\text{donc : } R(M) = M'(z') \Leftrightarrow z' = e^{i\frac{\pi}{2}}(z - z_A) + z_A$$

Donc l'écriture complexe de la rotation  $R$  est .

$$R(M) = M'(z') \Leftrightarrow z' = iz$$

l'écriture complexe de la translation translation

$$T = t_{\overrightarrow{AB}} \text{ est : } z'' = z + 1$$

soit un point M ( $z$ ) : on pose :  $F_1(M) = M_1(z_1)$

et  $F_2(M) = M_2(z_2)$

on a donc :  $z_1 = i(z + 1)$  et  $z_2 = iz + 1$

on a : pour  $F_1$  :  $z = i(z + 1) \Leftrightarrow (1 - i)z = i$

$$z = \frac{i}{1-i} = \frac{-1+i}{2} \text{ et pour } F_1 \text{ le seul point}$$

invariant est  $\Omega_1 \left( \omega_1 = \frac{-1+i}{2} \right)$  et on a :

$$z_1 = e^{i\frac{\pi}{2}}z + \omega_1 \left( 1 - e^{i\frac{\pi}{2}} \right)$$

donc  $F_1$  est la rotation de centre  $\Omega_1 \left( \omega_1 = \frac{-1+i}{2} \right)$

et d'angle :  $\frac{\pi}{2}$

De même : pour  $F_2$  le seul point invariant est

$$\Omega_2 \left( \omega_2 = \frac{1+i}{2} \right) \text{ et on a : } z_2 = e^{\frac{\pi}{2}i} z + \omega_2 \left( 1 - e^{\frac{\pi}{2}i} \right)$$

donc  $F_2$  est la rotation de centre :  $\Omega_2 \left( \omega_2 = \frac{1+i}{2} \right)$

et d'angle :  $\frac{\pi}{2}$

**Exercice 11:** soit  $z$  un nombre complexe non nul

Montrer que :  $|z-1| \leq ||z|-1| + |z| \arg z$

**Solution :** soit  $z \in \mathbb{C}^*$  on a :

$$|z-1| = |z-|z| + (|z|-1)| \leq |z-|z|| + ||z|-1|$$

On pose :  $z = R e^{i\theta}$  avec  $R > 0$

$$\text{On a : } |z-|z|| = |R e^{i\theta} - R| = R |e^{i\theta} - 1|$$

$$= R \left| \begin{pmatrix} e^{i\theta/2} \\ e^{i\theta/2} \end{pmatrix} - e^{i\theta/2} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \right| = R \left| e^{i\theta/2} \begin{pmatrix} e^{i\theta/2} - 1 \\ e^{i\theta/2} - 1 \end{pmatrix} \right|$$

$$\text{Donc : } |z-|z|| = 2R \left| \sin \frac{\theta}{2} \right|$$

Or on sait que :  $|\sin x| \leq |x| \quad \forall x \in \mathbb{R}$

$$\text{Donc : } |z-|z|| \leq |z| |\theta| = |z| \arg z$$

$$\text{Donc : } |z-1| \leq ||z|-1| + |z| \arg z$$

**Exercice 12 :** soit  $a$  et  $b$  et  $c$  des nombres complexes tels que :

$$|a|=|b|=|c|=1 \text{ et } a \neq c \text{ et } b \neq c$$

$$1) \text{ Montrer que : } \left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b} \in \mathbb{R}$$

$$2) \text{ en d\u00e9duire que : } \arg \left( \frac{c-b}{c-a} \right) \equiv \frac{1}{2} \arg \left( \frac{b}{a} \right) \left[ \frac{\pi}{2} \right]$$

$$\text{Solution : } \overline{\left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b}} = \left( \frac{\bar{c}-\bar{b}}{\bar{c}-\bar{a}} \right)^2 \times \frac{\bar{a}}{\bar{b}}$$

On a si :  $|z|=1$  alors :  $\bar{z} = \frac{1}{z}$  donc :

$$\overline{\left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b}} = \left( \frac{\frac{1}{c}-\frac{1}{a}}{\frac{1}{c}-\frac{1}{a}} \right)^2 \times \frac{\frac{1}{a}}{\frac{1}{b}} = \left( \frac{b-c}{a-c} \right)^2 \times \frac{b}{a}$$

$$\overline{\left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b}} = \left( \frac{\frac{1}{c}-\frac{1}{a}}{\frac{1}{c}-\frac{1}{a}} \right)^2 \times \frac{\frac{1}{a}}{\frac{1}{b}} = \left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{b}{a}$$

$$\text{Donc : } \left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b} \in \mathbb{R}$$

2) puisque :  $\left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b} \in \mathbb{R}$  alors :

$$\arg \left( \left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 \times \frac{a}{b} \right) \equiv 0 [\pi]$$

$$\text{Donc : } \arg \left( \frac{c-b}{c-a} \right)^2 + \arg \left( \frac{a}{b} \right) \equiv 0 [\pi]$$

$$\text{Donc : } 2 \arg \left( \frac{c-b}{c-a} \right) \equiv -\arg \left( \frac{a}{b} \right) [\pi]$$

$$\arg \left( \frac{c-b}{c-a} \right) \equiv \frac{1}{2} \arg \left( \frac{b}{a} \right) \left[ \frac{\pi}{2} \right]$$

**Exercice 13 :** soit le nombre complexe  $z = e^{i\frac{2\pi}{7}}$

On pose :  $S = z + z^2 + z^4$  et  $T = z^3 + z^5 + z^6$

1) Montrer que les nombres  $S$  et  $T$  sont conjugu\u00e9s

2) Montrer que :  $\text{Im}(S) > 0$

3) calculer  $S+T$  et  $S \times T$

4) en d\u00e9duire les nombres  $S$  et  $T$

**Solution :** on a :  $z = e^{i\frac{2\pi}{7}}$  donc  $z^7 = 1$

$$1) \bar{S} = \bar{z} + \bar{z}^2 + \bar{z}^4$$

On a si :  $|z|=1$  alors :  $\bar{z} = \frac{1}{z}$  donc :

$$\bar{S} = \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^4} \text{ et on a } z^7 = 1$$

$$\text{Donc : } z^6 = \frac{1}{z} \text{ et } z^5 = \frac{1}{z^2} \text{ et } z^3 = \frac{1}{z^4}$$

$$\text{Donc : } \bar{S} = \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^4} = z^3 + z^5 + z^6 = T$$

Donc : les nombres  $S$  et  $T$  sont conjugués

2) Montrons que :  $\text{Im}(S) > 0$  ?

$$\text{On a : } S = z + z^2 + z^4 \text{ et } z = e^{i\frac{2\pi}{7}}$$

$$\text{Donc } \text{Im}(S) = \sin \frac{2\pi}{7} + \sin \frac{4\pi}{7} + \sin \frac{8\pi}{7}$$

$$\text{Im}(S) = \sin \frac{2\pi}{7} + \sin \frac{4\pi}{7} + \sin \left( \pi + \frac{\pi}{7} \right)$$

$$\text{Im}(S) = \sin \frac{2\pi}{7} - \sin \frac{\pi}{7} + \sin \frac{4\pi}{7} \text{ puisque : } \frac{\pi}{7} < \frac{2\pi}{7} < \frac{\pi}{2}$$

$$\text{Donc : } \sin \frac{\pi}{7} < \sin \frac{2\pi}{7} \text{ et on a } \sin \frac{4\pi}{7} > 0$$

$$\text{Donc : } \text{Im}(S) > 0$$

3) calculons  $S+T$  et  $S \times T$  ?

$$S+T = z + z^2 + z^3 + z^4 + z^5 + z^6$$

$$S+T = (1+z+z^2+z^3+z^4+z^5+z^6) - 1$$

$$S+T = \frac{1-z^7}{1-z} - 1 = -1 \text{ car } z^7 = 1$$

$$S \times T = (z+z^2+z^4)(z^3+z^5+z^6)$$

$$S \times T = z^4 + z^6 + z^7 + z^5 + z^7 + z^8 + z^7 + z^9 + z^{10}$$

$$S \times T = z^4 + z^5 + z^6 + 3z^7 + z^8 + z^9 + z^{10}$$

$$\text{On a } z^7 = 1 \text{ donc : } z^8 = z \text{ et } z^9 = z^2 \text{ et } z^{10} = z^3$$

$$\text{donc : } S \times T = 1 + z + z^2 + z^3 + z^4 + z^5 + z^6 + 2$$

$$S \times T = \frac{1-z^7}{1-z} + 2 = 2 \text{ car : } z^7 = 1$$

4) on a  $S+T = -1$  et  $S \times T = 2$  donc  $S$  et  $T$  sont

les solutions de l'équation :  $x^2 + 1x + 2 = 0$

$$\Delta = -7 = (\sqrt{7}i)^2$$

En résolvant l'équation on trouve :

$$x_1 = \frac{-1 + \sqrt{7}i}{2} \text{ et } x_2 = \frac{-1 - \sqrt{7}i}{2} \text{ et on a } \text{Im}(S) > 0$$

$$\text{Donc : } S = \frac{-1 + \sqrt{7}i}{2} \text{ et } T = \frac{-1 - \sqrt{7}i}{2}$$

« C'est en forgeant que l'on devient forgeron »

Dit un proverbe.

C'est en s'entraînant régulièrement aux calculs et exercices que l'on devient un mathématicien

