



**THEME : TRANSFORMATION DU PLAN**

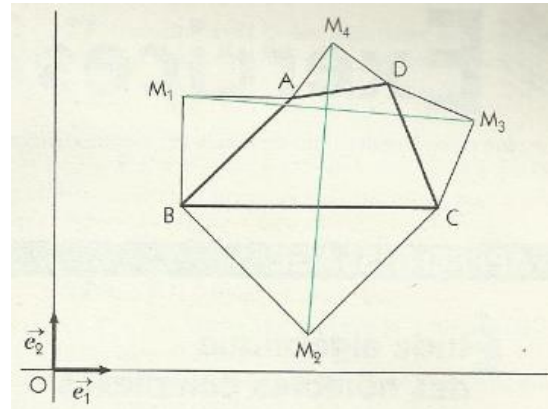
**Leçon 08 : NOMBRES COMPLEXES ET GEOMETRIE DU PLAN**

**A- SITUATION D'APPRENTISSAGE**

Des élèves d'un lycée ont décoré avec différentes figures géométriques les murs de la salle du club de Mathématiques. La figure ci-contre représentant l'une d'elles est constituée d'un quadrilatère  $ABCD$  de sens direct et de triangles rectangles isocèles  $AM_1B$ ,  $BM_2C$ ,  $CM_3D$  et  $DM_4A$  de sommets respectifs  $M_1, M_2, M_3$  et  $M_4$ .

Observant attentivement cette figure, l'un des élèves de la promotion de Terminale, passionné de nombres complexes et géométrie, affirme que les segments  $[M_1M_3]$  et  $[M_2M_4]$  ont des supports perpendiculaires et ont la même longueur. D'autres élèves n'étant pas de cet avis, portent le problème aux autres.

Ceux-ci décident d'effectuer des calculs pour vérifier cette affirmation.



## B-CONTENU DE LA LEÇON

### 1. ENSEMBLE DE POINTS ET NOMBRES COMPLEXES

#### 1) Interprétation de $\arg\left(\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D}\right)$ et de $\left|\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D}\right|$

##### a) Interprétation de $\arg\left(\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D}\right)$

##### Propriété

Si A, B, C et D sont des points d'affixes respectives  $z_A$ ,  $z_B$ ,  $z_C$  et  $z_D$  tels que

$A \neq B$  et  $C \neq D$ , alors  $\arg\left(\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D}\right)$  est une mesure de l'angle orienté  $(\overrightarrow{DC}; \overrightarrow{BA})$ .

Autrement dit :  $\text{mes}(\overrightarrow{DC}; \overrightarrow{BA}) = \arg\left(\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D}\right) + 2k\pi$ ,  $k \in \mathbb{Z}$

##### Exercice de fixation

Le plan complexe est rapporté à un repère orthonormé direct (O ; I ; J)

On considère les points A, B et C d'affixes respectives  $-1 + i\sqrt{3}$  ; 2 et  $-1 - i\sqrt{3}$ .

Détermine la mesure principale de l'angle orienté  $(\overrightarrow{BC}; \overrightarrow{BA})$ .

##### Solution

$z_A \neq z_B$  et  $z_B \neq z_C$ . donc les points A, B et C sont tels que  $A \neq B$  et  $B \neq C$ .

On a :  $\text{Mes}(\overrightarrow{BC}; \overrightarrow{BA}) = \text{Arg}\left(\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}\right)$ .

Calculons  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}$

$$\begin{aligned}\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} &= \frac{-1 + i\sqrt{3} - 2}{-1 - i\sqrt{3} - 2} \\ &= \frac{-3 + i\sqrt{3}}{-3 - i\sqrt{3}} \\ &= \frac{(-3 + i\sqrt{3})(-3 + i\sqrt{3})}{(-3 - i\sqrt{3})(-3 + i\sqrt{3})} \\ &= \frac{9 - 6i\sqrt{3} - 3}{9 + 3} \\ &= \frac{6 - 6i\sqrt{3}}{12} \\ &= \frac{1 - i\sqrt{3}}{2} \\ &= \frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}\end{aligned}$$

Posons  $\text{Arg}\left(\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \alpha$ .

$$\text{On a } \begin{cases} \cos\alpha = \frac{1}{2} \\ \sin\alpha = \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{cases} \text{ Donc } \alpha = -\frac{\pi}{3}$$

$$\begin{aligned}\text{D'où : } \text{Mes}(\overrightarrow{BC}; \overrightarrow{BA}) &= \text{Arg}\left(\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}\right) \\ &= \text{Arg}\left(\frac{1 - \sqrt{3}i}{2}\right) \\ &= -\frac{\pi}{3}\end{aligned}$$

Par suite la mesure principale de l'angle orienté  $(\overrightarrow{BC}; \overrightarrow{BA})$  est  $-\frac{\pi}{3}$ .

## b) Interprétation de $\left| \frac{z_A - z_B}{z_C - z_D} \right|$

### Propriété

Si A, B, C et D sont des points d'affixes respectives  $z_A, z_B, z_C$  et  $z_D$  tels que  $C \neq D$ , alors :

$$\left| \frac{z_A - z_B}{z_C - z_D} \right| = \frac{AB}{CD}.$$

### Exercice de fixation

Le plan complexe est rapporté à un repère orthonormé direct.

On considère les points non alignés A, B et C d'affixes respectives  $-1 + i\sqrt{3}$  ; 2 et  $-1 - i\sqrt{3}$

1) Donne une interprétation de  $\left| \frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} \right|$ .

2) Déduis-en que :  $AB = BC$ .

### Solution

1) On a :  $z_B \neq z_C$  ; ce qui justifie l'existence du quotient  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}$

$$\left| \frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} \right| = \frac{AB}{BC}$$

2) Calculons  $\left| \frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} \right|$

$$\left| \frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} \right| = \left| \frac{1 - \sqrt{3}i}{2} \right| = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{3}{4}} = 1$$

D'où :  $\frac{BA}{BC} = 1$  et par suite  $AB = BC$ .

### TABLEAU RECAPITULATIF

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{e}_1, \vec{e}_2)$ .

A et B deux points distincts du plan d'affixes respectives  $z_A$  et  $z_B$ .

M est un point quelconque du plan d'affixe  $z$  et  $\vec{u}$  désigne le vecteur-image de  $z$ .

CARACTERISATIONS COMPLEXES	CARACTERISATIONS GEOMETRIQUES	ENSEMBLE DE POINTS
$ z - z_A  = r, r \in \mathbb{R}_+^*$	$AM = r$	Cercle de centre A et de rayon $r$ .
$ z - z_A  = \lambda  z - z_B , \lambda \in \mathbb{R}_+^*$	$AM = \lambda BM$ Ou bien $\frac{AM}{BM} = \lambda$	- la médiatrice du segment [AB] lorsque $\lambda = 1$ - le cercle de diamètre $[G_1 G_2]$ lorsque $\lambda \neq 1$ , où $G_1 = \text{bar} \{(A ; 1), (B ; \lambda)\}$ et $G_2 = \text{bar} \{(A ; 1), (B ; -\lambda)\}$
$\arg\left(\frac{z_B - z}{z_A - z}\right) = k\pi, k \in \mathbb{Z}$	$\text{mes}(\overrightarrow{MA}, \overrightarrow{MB}) = k\pi, k \in \mathbb{Z}$	La droite (AB) privée des points A et B.
$\arg\left(\frac{z_B - z}{z_A - z}\right) = \frac{\pi}{2} + k\pi, k \in \mathbb{Z}$	$\text{mes}(\overrightarrow{MA}, \overrightarrow{MB}) = \frac{\pi}{2} + k\pi, k \in \mathbb{Z}$	Le cercle de diamètre [AB] privé des points A et B.
$\arg(z - z_A) = \alpha + k\pi, \alpha \in \mathbb{R}$	$\text{mes}(\overrightarrow{e_1}, \overrightarrow{AM}) = \alpha + k\pi, k \in \mathbb{Z}$	la droite de repère $(A, \vec{u})$ , privée de A, où $\text{mes}(\overrightarrow{e_1}, \vec{u}) = \alpha$
$\arg(z - z_A) = \alpha + 2k\pi, \alpha \in \mathbb{R}$	$\text{mes}(\overrightarrow{e_1}, \overrightarrow{AM}) = \alpha + 2k\pi, k \in \mathbb{Z}$	la demi-droite de repère $(A, \vec{u})$ , privée de A, où $\text{mes}(\overrightarrow{e_1}, \vec{u}) = \alpha$

## Exercices de fixation

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{e}_1, \vec{e}_2)$ , A et B deux points distincts du plan d'affixes respectives  $z_A$  et  $z_B$ , M est un point quelconque du plan d'affixe  $z$  et de vecteur-image  $\vec{u}$ .

Associe chaque caractérisation complexe à l'ensemble des points du plan qui convient

caractérisations complexes		ensembles	
$ z - z_A  = r, r \in \mathbb{R}_+^*$	<b>A</b>	<b>1</b>	Le cercle de diamètre [AB] privé des points A et B.
$ z - z_A  = \lambda  z - z_B , \lambda \in \mathbb{R}_+^*$	<b>B</b>	<b>2</b>	la droite de repère $(A, \vec{u})$ , privée de A, où $\text{mes}(\vec{e}_1, \vec{u}) = \alpha$
$\arg\left(\frac{z_B - z}{z_A - z}\right) = k\pi$	<b>C</b>	<b>3</b>	la demi-droite de repère $(A, \vec{u})$ , privée de A, où $\text{mes}(\vec{e}_1, \vec{u}) = \alpha$
$\arg\left(\frac{z_B - z}{z_A - z}\right) = \frac{\pi}{2} + k\pi$	<b>D</b>	<b>4</b>	Cercle de centre A et de rayon $r$ .
$\arg(z - z_A) = \alpha + k\pi, \alpha \in \mathbb{R}$	<b>E</b>	<b>5</b>	- la médiatrice du segment [AB] lorsque $\lambda = 1$ - le cercle de diamètre $[G_1 G_2]$ lorsque $\lambda \neq 1$ , où $G_1 = \text{bar} \{(A ; 1), (B ; \lambda)\}$ et $G_2 = \text{bar} \{(A ; 1), (B ; -\lambda)\}$
$\text{Arg}(z - z_A) = \alpha + k\pi, \alpha \in \mathbb{R}$	<b>F</b>	<b>6</b>	La droite (AB) privée des points A et B.

### Solution

A-4 ; B-5 ; C-6 ; D-1 ; E-2 ; F-3

## Exercice de fixation 2

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{u}, \vec{v})$ . Détermine l'ensemble des points M d'affixe  $z$  vérifiant  $|2iz - 3 + 2i| = |z - 2|$ .

### Solution

$$|2iz - 3 + 2i| = |z - 2| \Leftrightarrow \left| 2i \left( z + 1 + \frac{3}{2}i \right) \right| = |z - 2| \Leftrightarrow 2 \left| z + 1 + \frac{3}{2}i \right| = |z - 2|$$

$$\Leftrightarrow 2 \left| z - \left( -1 - \frac{3}{2}i \right) \right| = |z - 2| \Leftrightarrow 2 \text{ BM} = \text{AM} \text{ où A et B sont les points d'affixes respectives } 2 \text{ et } -1 - \frac{3}{2}i.$$

$$\Leftrightarrow \frac{\text{MA}}{\text{MB}} = 2.$$

On considère les points H et K tels que  $H = \text{bar} \{(A ; 1), (B ; 2)\}$  et  $K = \text{bar} \{(A ; 1), (B ; -2)\}$ .

L'ensemble des points M d'affixe  $z$  vérifiant :  $|2iz - 3 + 2i| = |z - 2|$  est le cercle de diamètre [HK].

$$\text{On a : } z_H = \frac{1 \times 2 + 2 \times \left( -1 - \frac{3}{2}i \right)}{3} = -1 \text{ et } z_K = \frac{1 \times 2 - 2 \times \left( -1 - \frac{3}{2}i \right)}{-1} = -4 - 3i.$$

## II. CONFIGURATIONS DU PLAN ET NOMBRES COMPLEXES

### 1) Droites parallèles

#### Propriété:

A, B, C et D sont des points d'affixes respectives  $z_A$ ,  $z_B$ ,  $z_C$  et  $z_D$  tels que :  $A \neq B$  et  $C \neq D$ .

Les droites (AB) et (CD) sont parallèles si et seulement si  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D} \in \mathbb{R}^*$ .

#### Exercice de fixation

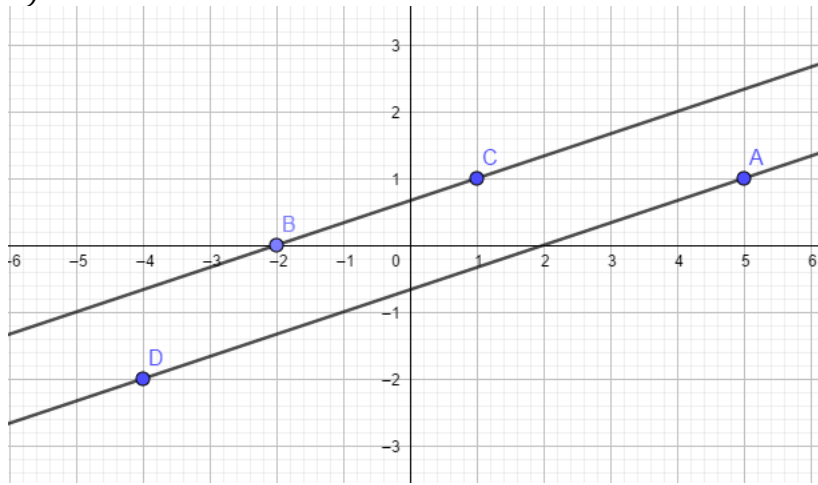
On considère les points A, B, C et D d'affixes respectives  $5 + i$ ;  $-2$ ;  $1 + i$  et  $-4 - 2i$

1) Trace les droites (AD) et (BC).

2) Démontre que les droites (AD) et (BC) sont parallèles.

#### Solution

1)



2) On a :  $z_A \neq z_B$  et  $z_D \neq z_C$ . Donc  $A \neq B$  et  $D \neq C$ .

Calculons :  $\frac{z_D - z_A}{z_C - z_B}$

$$\begin{aligned} \frac{z_D - z_A}{z_C - z_B} &= \frac{-4 - 2i - (5 + i)}{1 + i - (-2)} \\ &= \frac{-9 - 3i}{-9 - 3i} \\ &= \frac{3 + i}{3 + i} \\ &= \frac{-3(3+i)}{3+i} = -3. \end{aligned}$$

$-3 \in \mathbb{R}^*$ . Donc  $\frac{z_D - z_A}{z_C - z_B} \in \mathbb{R}^*$ . Par suite les droites (AD) et (BC) sont parallèles.

### 2) Alignements de trois points

#### Propriété:

A, B et C sont des points tels que  $A \neq B$  et  $B \neq C$  d'affixes respectives  $z_A$ ,  $z_B$  et  $z_C$ .

Les points distincts A, B, et C sont alignés si et seulement si  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} \in \mathbb{R}^*$ .

#### Exercice de fixation

On considère les points A, B et C d'affixes respectives  $2 + i\sqrt{3}$ ;  $-1$  et

$11 + 4i\sqrt{3}$

Démontre que les points A, B et C sont alignés.

### Solution

On a :  $z_A \neq z_B$  et  $z_B \neq z_C$  donc  $A \neq B$  et  $B \neq C$ .

Calculons :  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}$

$$\begin{aligned}\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} &= \frac{2 + i\sqrt{3} - (-1)}{11 + 4i\sqrt{3} - (-1)} \\ &= \frac{3 + i\sqrt{3}}{12 + 4i\sqrt{3}} \\ &= \frac{3 + i\sqrt{3}}{4(3 + i\sqrt{3})} \\ &= \frac{1}{4}\end{aligned}$$

$\frac{1}{4} \in \mathbb{R}^*$ . Donc  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} \in \mathbb{R}^*$ . Par suite les points A, B et C sont alignés.

### 3) Droites perpendiculaires

#### Propriété

A, B, C et D sont des points d'affixes respectives  $z_A, z_B, z_C$  et  $z_D$  tels que :  $A \neq B$  et  $C \neq D$ .

Les droites (AB) et (CD) sont perpendiculaires si et seulement si  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_D} \in i\mathbb{R}^*$ .

#### Exercice de fixation

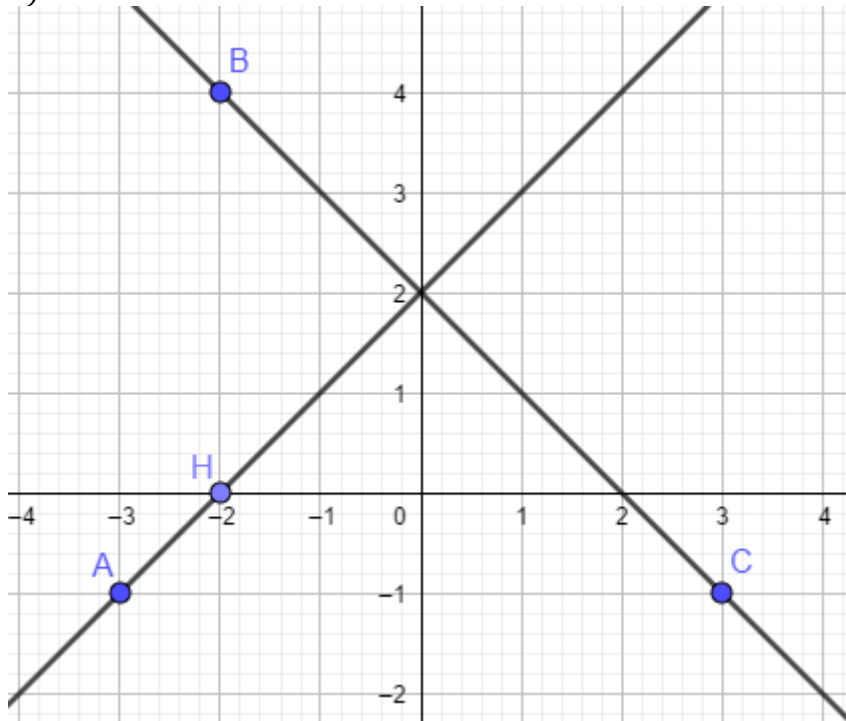
On considère les points A, B, C et H d'affixes respectives  $-3 - i$  ;  $-2 + 4i$  ;  $3 - i$  et  $-2$ .

1) Trace les droites (AH) et (BC).

2) Démontre que les droites (AH) et (BC) sont perpendiculaires.

#### Solution

1)



2) On a :  $z_A \neq z_H$  et  $z_B \neq z_C$  donc  $A \neq H$  et  $C \neq B$ .

Calculons  $\frac{z_B - z_C}{z_H - z_A}$

$$\begin{aligned} \frac{z_B - z_C}{z_H - z_A} &= \frac{-2+4i-(3-i)}{-2-(-3-i)} = \frac{-5+5i}{1+i} = \frac{(-5+5i)(1-i)}{(1+i)(1-i)} \\ &= \frac{-5 + 5i + 5i + 5}{1+1} \\ &= \frac{10i}{2} = 5i \end{aligned}$$

$5i \in i\mathbb{R}^*$ . Donc les droites (AH) et (BC) sont perpendiculaires.

#### 4) Points cocycliques

(C'est-à-dire des points situés sur un cercle)

##### Propriété

A, B, C et D sont des points deux à deux distincts et non alignés d'affixes respectives

$z_A, z_B, z_C$  et  $z_D$ .

A, B, C et D sont cocycliques si et seulement si  $\frac{z_C - z_A}{z_D - z_A} ; \frac{z_C - z_B}{z_D - z_B} \in \mathbb{R}^*$

##### Exercice de fixation

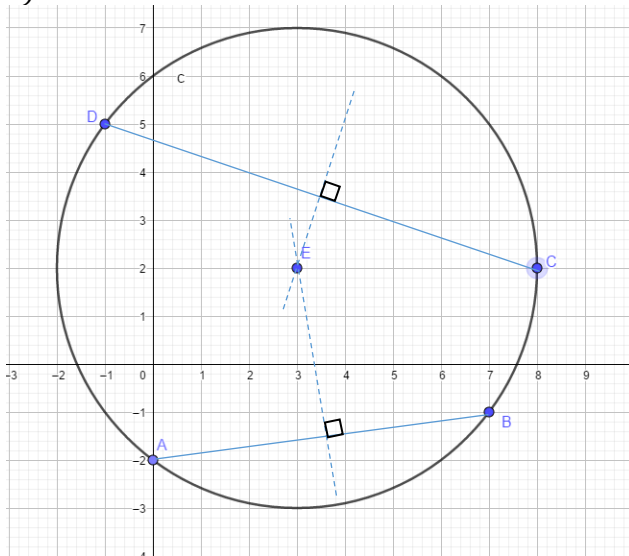
Dans le plan complexe rapporté au repère orthonormé (O, I, J), on considère les points A, B, C et D d'affixes respectives  $-2i$  ;  $7 - i$  et  $8 + 2i$  et  $-1 + 5i$ .

a) Place les points A, B, C et D dans le repère.

b) Démontre que les points A, B, C et D sont cocycliques.

##### Solution

a)



b) On a :  $z_B \neq z_A$  et  $z_B \neq z_C$ . Calculons  $\frac{z_D - z_A}{z_B - z_A}$  et  $\frac{z_D - z_C}{z_B - z_C}$

$$\frac{z_D - z_A}{z_B - z_A} = \frac{-1 + 5i - (-2i)}{7 - i - (-2i)}$$

$$= \frac{-1+7i}{7+i} = \frac{(-1+7i)(7-i)}{(7+i)(7-i)} = \frac{-7+i+49i+7}{49+1} = \frac{50i}{50} = i$$

$$\frac{z_D - z_C}{z_B - z_C} = \frac{-1+5i-(8+2i)}{7-i-(8+2i)} = \frac{-9+3i}{-1-3i} = \frac{(-9+3i)(-1+3i)}{(-1-3i)(-1+3i)} = \frac{9-27i-3i-9}{1+9} = \frac{-30i}{10} = -3i$$

$$\frac{z_D - z_A}{z_B - z_A} ; \frac{z_D - z_C}{z_B - z_C} = \frac{i}{-3i} = -\frac{1}{3}$$

## Conclusion

$\frac{z_D - z_A}{z_B - z_A} = i$  donc A, B et D sont non alignés.

De plus  $\frac{z_D - z_A}{z_B - z_A} : \frac{z_D - z_C}{z_B - z_C} \in \mathbb{R}^*$ .

Donc les points A, B, C et D sont cocycliques.

## 5) Triangles particuliers et nombres complexes

### Propriétés

A, B et C sont des points non alignés d'affixes respectives  $z_A$ ,  $z_B$  et  $z_C$ .

- Le triangle ABC est rectangle en A si et seulement si  $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} \in i\mathbb{R}^*$ .

- Le triangle ABC est isocèle en A si et seulement si

$$\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = e^{i\alpha} \text{ ou } \frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = e^{-i\alpha}, \text{ avec } 0 < \alpha < \pi$$

- Le triangle ABC est rectangle et isocèle en A si et seulement si  $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = i$  ou  $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = -i$ .

- Le triangle ABC est équilatéral si et seulement si  $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = e^{i\frac{\pi}{3}}$  ou  $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = e^{-i\frac{\pi}{3}}$ .

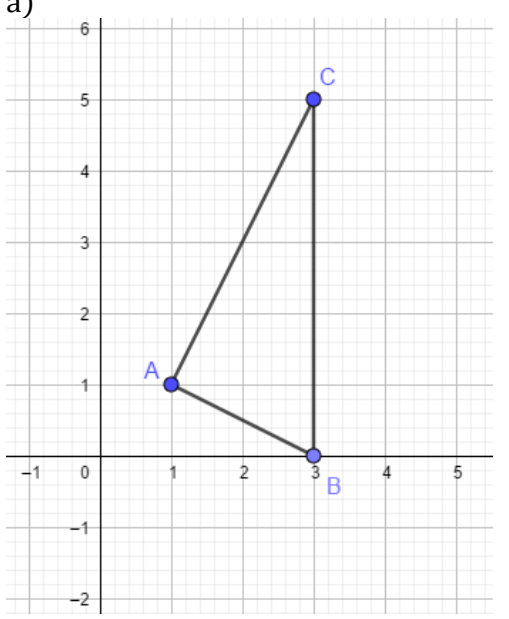
### Exercice de fixation 1

Dans le plan complexe rapporté à un repère orthonormé (O, I, J), on considère les points A, B et C d'affixes respectives  $1 + i$ ;  $3$  et  $3 + 5i$ .

a) Place les points A, B et C dans le repère (O, I, J).

b) Démontre que le triangle ABC est rectangle en A.

### Solution

<p>a)</p> 	<p>b) On a : <math>z_A \neq z_B</math> et <math>z_C \neq z_A</math>. Donc <math>A \neq B</math> et <math>C \neq A</math>.</p> <p>Calculons : <math>\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A}</math></p> $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = \frac{3 - (1 + i)}{3 + 5i - (1 + i)}$ $= \frac{2 - i}{2 + 4i}$ $= \frac{(2 - i)(2 - 4i)}{(2 + 4i)(2 - 4i)}$ $= \frac{4 - 8i - 2i - 4}{4 - 8i - 2i - 4}$ $= \frac{-10i}{-10i}$ $= 1$ <p><math>\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} \in i\mathbb{R}^*</math>. Donc le triangle ABC est rectangle en A.</p>
---	--

### Exercice de fixation 2

On considère les points A, B et C d'affixes respectives  $-3 + 2i$ ;  $-2 - 3i$  et  $3 - 2i$

Démontre que le triangle ABC est rectangle isocèle en B.

### Solution

On a :  $z_A \neq z_B$  et  $z_C \neq z_B$ . Donc  $A \neq B$  et  $C \neq B$ .

Calculons :  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}$



$$\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} = \frac{-3 + 2i + 2 + 3i}{3 - 2i + 2 + 3i} = \frac{-1 + 5i}{5 + i} = \frac{(-1 + 5i)(5 - i)}{(5 + i)(5 - i)} = \frac{-5 + i + 25i + 5}{25 + 1} = i$$

$\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} = i$ , donc le triangle est rectangle isocèle en B.

### Exercice de fixation 3

On considère les points A, B et C d'affixes respectives  $-1 + i\sqrt{3}$ ; 2 et  $-1 - i\sqrt{3}$ .  
Démontrez que le triangle ABC est équilatéral.

#### Solution

On a :  $z_A \neq z_B$  et  $z_C \neq z_B$ . Les points A, B et C sont  $A \neq B$  et  $C \neq B$ .

Calculons :  $\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B}$

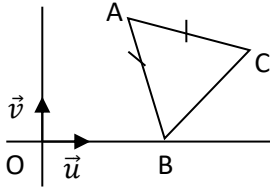
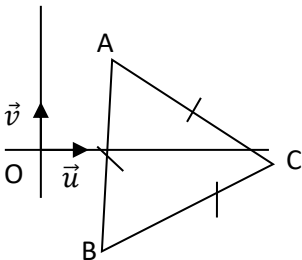
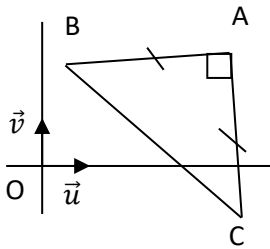
$$\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} = \frac{-1 + i\sqrt{3} - 2}{-1 - i\sqrt{3} - 2} = \frac{-3 + i\sqrt{3}}{-3 - i\sqrt{3}} = \frac{(-3 + i\sqrt{3})(-3 + i\sqrt{3})}{9 + 3} = \frac{9 - 6i\sqrt{3} - 3}{12} = \frac{6 - 6i\sqrt{3}}{12} = \frac{1 - i\sqrt{3}}{2}$$

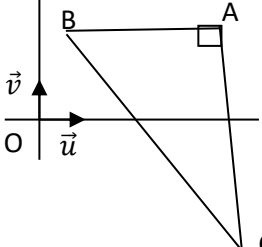
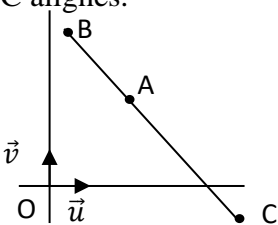
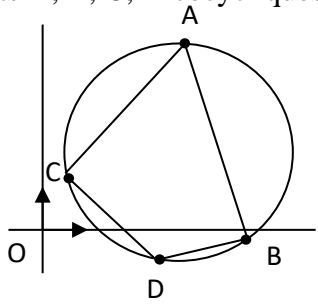
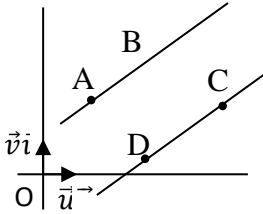
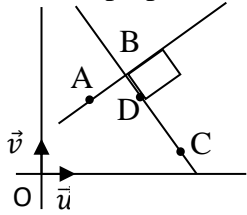
$$= \frac{1}{2} - i \frac{\sqrt{3}}{2} = \cos\left(-\frac{\pi}{3}\right) + i \sin\left(-\frac{\pi}{3}\right) = e^{-i\frac{\pi}{3}},$$

$\frac{z_A - z_B}{z_C - z_B} = e^{-i\frac{\pi}{3}}$ , donc ABC est un triangle équilatéral.

#### TABLEAU RECAPITULATIF

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{u} ; \vec{v})$ .

Configurations	Caractérisations géométriques	Caractérisations complexes
Triangle ABC isocèle en A. 	$AB = AC$ et $\text{mes}\hat{A} = \alpha$ $(0 < \alpha < \pi)$ .	$\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = e^{i\alpha}$ ou $\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = e^{-i\alpha}$
Triangle ABC équilatéral. 	$AB = AC$ et $\text{mes}\hat{A} = \frac{\pi}{3}$ .	$\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = e^{i\frac{\pi}{3}}$ ou $\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = e^{-i\frac{\pi}{3}}$
Triangle ABC rectangle et isocèle en A. 	$AB = AC$ et $\text{mes}\hat{A} = \frac{\pi}{2}$ .	$\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = i$ ou $\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = -i$

<p>Triangle ABC rectangle en A.</p> 	$\text{mes}\widehat{A} = \frac{\pi}{2}$	$\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} = bi, \text{ avec } b \in \mathbb{R}^*$
<p>Points A, B, C alignés.</p> 	$\text{mes}(\widehat{AB}, \widehat{AC}) = k\pi, k \in \mathbb{Z}$	$\frac{z_C - z_A}{z_B - z_A} \in \mathbb{R}^*$
<p>Points A, B, C, D cocycliques</p> 	$\text{mes}(\widehat{CA}, \widehat{CB}) = \text{mes}(\widehat{DA}, \widehat{DB}) + k\pi, k \in \mathbb{Z}$ <p>et <math>\text{mes}(\widehat{CA}, \widehat{CB}) \neq k\pi, k \in \mathbb{Z}</math></p>	$\frac{z_B - z_C}{z_A - z_C}; \frac{z_B - z_D}{z_A - z_D} \in \mathbb{R}^*$
<p>Droites parallèles</p> 	<p>Il existe un nombre réel <math>\lambda</math> non nul tel que :</p> $\overrightarrow{CD} = \lambda \overrightarrow{AB}$ <p>ou</p> $\text{mes}(\widehat{AB}, \widehat{CD}) = k\pi; k \in \mathbb{Z}$	$\arg\left(\frac{z_D - z_C}{z_B - z_A}\right) = k\pi; k \in \mathbb{Z}$ <p>ou</p> $\frac{z_D - z_C}{z_B - z_A} \in \mathbb{R}^*$
<p>Droites perpendiculaires</p> 	$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{CD} = 0$ <p>ou</p> $\text{mes}(\widehat{AB}, \widehat{CD}) = \frac{\pi}{2} + k\pi; k \in \mathbb{Z}$	$\arg\left(\frac{z_D - z_C}{z_B - z_A}\right) = \frac{\pi}{2} + k\pi; k \in \mathbb{Z}$ <p>ou</p> $\frac{z_D - z_C}{z_B - z_A} \in i\mathbb{R}^*$

### Exercice de fixation

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O; \vec{u}, \vec{v})$ .

On donne les points A, B, C, D et K d'affixes respectives  $2 + i, 2 - i, 5 - 2i, 5 + 2i$  et 4.

Justifie que :

- 1) les droites (AB) et (CD) sont parallèles ;
- 2) les droites (OK) et (DC) sont perpendiculaires

### Solution

1) On a :  $\frac{z_D - z_C}{z_B - z_A} = \frac{5+2i-(5-2i)}{2-i-(2+i)} = \frac{4i}{-2i} = -2$ . D'où :  $\frac{z_D - z_C}{z_B - z_A} \in \mathbb{R}^*$  ; Par suite les droites (AB) et (CD) sont parallèles.

2) On a :  $\frac{z_D - z_C}{z_K - z_O} = \frac{5+2i-(5-2i)}{4-0} = \frac{4}{4} i = i$ . D'où :  $\frac{z_D - z_C}{z_K - z_O} \in i \mathbb{R}^*$ . Par conséquent les droites (OK) et (DC) sont perpendiculaires.

### III. TRANSFORMATIONS DU PLAN ET NOMBRES COMPLEXES

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O ; \overrightarrow{OI} ; \overrightarrow{OJ})$ .

- Une transformation du plan est une application bijective du plan dans le plan.
- Soit  $f$  une transformation du plan qui, à tout point  $M$ , associe le point  $M'$ .

L'application  $F$  de  $\mathbb{C}$  dans  $\mathbb{C}$  qui, à l'affixe  $z$  de  $M$ , associe l'affixe  $z'$  de  $M'$  s'appelle la **transformation complexe associée à  $f$** .

L'application  $f$  s'appelle la **transformation ponctuelle associée à  $F$** .

L'expression de  $z'$  en fonction de  $z$  s'appelle **l'écriture complexe de  $f$** .

#### 1- Définition d'une transformation du plan et d'écriture complexe

##### Définition

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O, I, J)$ .

- Une transformation du plan est une application bijective du plan dans le plan.
- Soit  $F$  une transformation du plan qui à tout point  $M$  associe le point  $M'$ .

L'application bijective  $f$  de  $\mathbb{C}$  dans  $\mathbb{C}$  qui à l'affixe  $z$  de  $M$ , associe l'affixe  $z'$  de  $M'$  s'appelle la transformation complexe associée à  $F$ .

L'application  $F$  s'appelle la transformation ponctuelle associée à  $f$ .

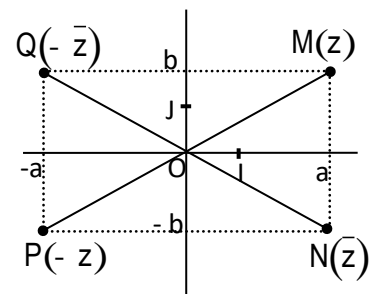
L'expression de  $z'$  en fonction de  $z$  s'appelle l'écriture complexe de  $F$ .

#### 2. Ecritures complexes de symétrie centrale de centre $O$ et de symétries orthogonales d'axes $(OI)$ et $(OJ)$ dans le repère $(O, I, J)$ .

##### Propriété

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O, I, J)$ .

- La symétrie orthogonale d'axe  $(OI)$  a pour écriture complexe :  $z' = \bar{z}$ .
- La symétrie centrale de centre  $O$  a pour écriture complexe :  $z' = -z$ .
- La symétrie orthogonale d'axe  $(OJ)$  a pour écriture complexe :  $z' = -\bar{z}$ .



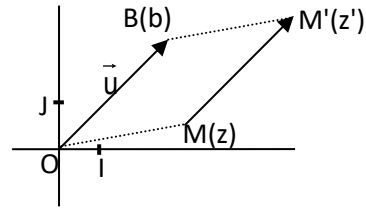
#### 3. Ecriture complexe d'une translation, d'une homothétie et d'une rotation

- Translation

$t_{\vec{u}}$  est la translation de vecteur  $\vec{u}$  d'affixe  $b$ ,  $M$  et  $M'$  sont les points du plan d'affixes respectives  $z$  et  $z'$ .

$$\begin{aligned} \text{On a : } M' = t_{\vec{u}}(M) &\Leftrightarrow \overrightarrow{MM'} = \vec{u}. \\ &\Leftrightarrow z' - z = b \\ &\Leftrightarrow z' = z + b \end{aligned}$$

La translation de vecteur  $\vec{u}$  d'affixe  $b$  a pour écriture complexe :  $z' = z + b$ .



### Exercice

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé.

On donne le vecteur  $\vec{u}$  d'affixe  $1 - 2i$ .

1) Donne l'écriture complexe de la translation  $t$  de vecteur  $\vec{u}$ .

2) Détermine les affixes des images respectives  $A'$  et  $B'$  par  $t$  de chacun des points  $A$  et  $B$ , d'affixes respectives  $3 - i$  et  $5$ .

### Solution

1) L'écriture complexe de la translation  $t$  de vecteur  $\vec{u}$  d'affixe  $1 - 2i$  est :

$$z' = z + 1 - 2i$$

2) Déterminons les affixes des images  $A'$  et  $B'$  respectives de  $A$  et de  $B$  par  $t$ .

$$z_{A'} = z_A + 1 - 2i$$

$$\text{On a : } z_{A'} = 3 - i + 1 - 2i = 4 - 3i$$

$$\text{Donc } z_{A'} = 4 - 3i$$

$$z_{B'} = z_B + 1 - 2i$$

$$\text{On a : } z_{B'} = 5 + 1 - 2i = 6 - 2i$$

$$\text{Donc : } z_{B'} = 6 - 2i$$

- **Homothétie de centre  $\Omega$  et de rapport  $k$ ,  $k \in \mathbb{R}^*$**

$h$  est l'homothétie de centre  $\Omega$  d'affixe  $Z_\Omega$  et de rapport  $k$ ,  $k \in \mathbb{R}^*$ .

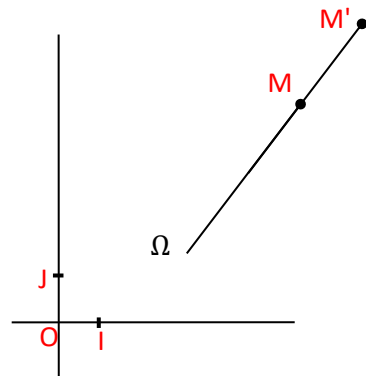
$M$  et  $M'$  sont les points du plan d'affixes respectives  $z$  et  $z'$ . On a :

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

$$\Leftrightarrow Z' - Z_\Omega = k(Z - Z_\Omega)$$

$$\Leftrightarrow Z' = k(Z - Z_\Omega) + Z_\Omega$$

L'homothétie de centre  $\Omega$  d'affixe  $Z_\Omega$  et de rapport  $k$  a pour écriture complexe :  $Z' = k(Z - Z_\Omega) + Z_\Omega$



### Exercice

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé.

Détermine l'écriture complexe associée à l'homothétie  $h$  de rapport  $-2$  et de centre  $\Omega$  d'affixe  $3 - i$ .

### Solution

L'écriture complexe associée à l'homothétie  $h$  de rapport  $-2$  et de centre  $\Omega$  d'affixe

$$3 - i \text{ est : } z' = -2(z - (3 - i)) + (3 - i).$$

$$\text{Par suite : } z' = -2z + 9 - 3i.$$

- **Rotation de centre  $\Omega$  et d'angle  $\theta, \theta \in ]-\pi, \pi]$**

$r$  est la rotation de centre de centre  $\Omega$  d'affixe  $Z_\Omega$  et d'angle orienté de mesure principale  $\theta$ .

•  $M$  et  $M'$  sont les points du plan d'affixes respectives  $z$  et  $z'$  tels que  $M$  est distinct de  $\Omega$ . On a :

$$M' = r(M) \Leftrightarrow \begin{cases} \Omega M' = \Omega M \\ Mes(\overrightarrow{\Omega M}; \overrightarrow{\Omega M'}) = \theta \end{cases}$$

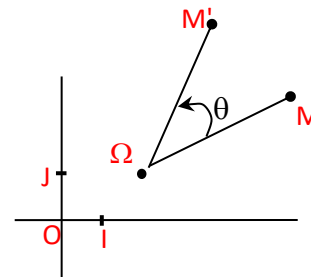
•  $r(\Omega) = \Omega$

On a :  $\frac{z' - z_\Omega}{z - z_\Omega} = e^{i\theta}$

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

La rotation de centre  $\Omega$  d'affixe  $Z_\Omega$  et d'angle orienté de mesure principale  $\theta$  a pour écriture complexe :

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



**Exercice**

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct.  $(O; \vec{u}, \vec{v})$

Trouve l'écriture complexe de la rotation  $r$  de centre  $\Omega$  d'affixe  $i\sqrt{3}$  et d'angle orienté de mesure  $\frac{\pi}{3}$ .

**Solution**

La rotation de centre  $\Omega$  d'affixe  $Z_\Omega$  et d'angle orienté de mesure principale  $\theta$  a pour écriture complexe :  $z' = e^{i\theta}(z - z_\Omega) + z_\Omega$

Or  $z_\Omega = i\sqrt{3}$  et  $\theta = \frac{\pi}{3}$

Donc  $z' = e^{i\frac{\pi}{3}}(z - i\sqrt{3}) + i\sqrt{3}$

Comme  $e^{i\frac{\pi}{3}} = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}$

On a :  $z' = \left(\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}\right)(z - i\sqrt{3}) + i\sqrt{3}$

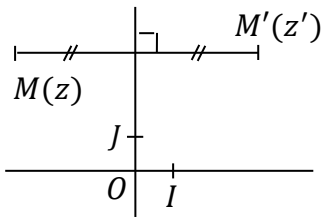
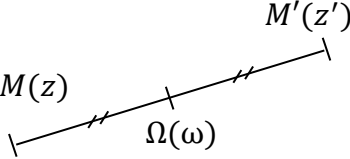
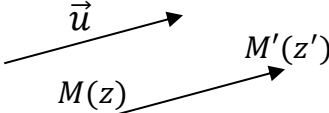
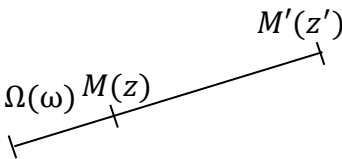
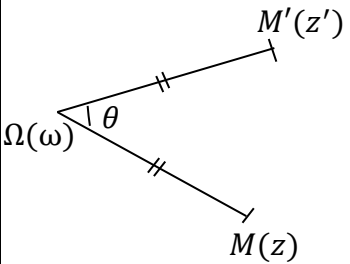
$z' = \left(\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}\right)z - i\sqrt{3}\left(\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}\right) + i\sqrt{3}$

Par suite :  $z' = \left(\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}\right)z - i\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3}{2} + i\sqrt{3}$

On en déduit que :  $z' = \left(\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}\right)z + \frac{3}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}$

Le tableau suivant donne des transformations du plan et leurs écritures complexes

Transformation du Plan	Image $M'(z')$ d'un point $M(z)$	Définition géométrique	Ecriture complexe
Symétrie orthogonale d'axe (OI)		La droite (OI) est la médiatrice du segment $[MM']$	$z' = \bar{z}$

Symétrie orthogonale d'axe (OJ)		La droite (OJ) est la médiatrice du segment [MM']	$z' = -\bar{z}$
Symétrie centrale de centre $\Omega(\omega)$		$\overrightarrow{\Omega M'} = -\overrightarrow{\Omega M}$	$z' - \omega = -(z - \omega)$
Translation de vecteur $\vec{u}$ d'affixe b		$\overrightarrow{MM'} = \vec{u}$	$z' = z + b$
Homothétie de Centre $\Omega(\omega)$ et de rapport $k$ ( $k \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ )		$\overrightarrow{\Omega M'} = k\overrightarrow{\Omega M}$	$z' - \omega = k(z - \omega)$
Rotation de centre $\Omega(\omega)$ et d'angle $\theta$		$M \neq \Omega$ $\begin{cases} \Omega M' = \Omega M \\ \text{mes}(\overrightarrow{\Omega M}, \overrightarrow{\Omega M'}) = \theta \end{cases}$	$z' - \omega = e^{i\theta}(z - \omega)$

## Exercices de fixation

### Exercice

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O; \overrightarrow{OI}; \overrightarrow{OJ})$ .

Détermine l'écriture complexe de l'homothétie h de centre  $\Omega$  d'affixe  $-1 - i$  et de rapport 3.

### Solution

h étant l'homothétie de centre  $\Omega$  d'affixe  $-1 - i$  et de rapport 3, son écriture complexe est :

$$z' - (-1 - i) = 3(z - (-1 - i)).$$

Par suite, l'écriture complexe de l'homothétie h de centre  $\Omega(-1 - i)$  et de rapport 3 est :

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

## 4. Similitude plane directe

### a- Ecriture complexe d'une similitude plane directe

Le plan complexe est rapporté à un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{u} ; \vec{v})$ .

#### 1. Définition

Une similitude directe est une transformation du plan dont l'écriture complexe est de la forme :  $z' = az + b$  où  $a \in \mathbb{C}^*$  et  $b \in \mathbb{C}$ .

#### Exemple :

Toute translation, toute homothétie et toute rotation est une similitude directe.

#### 2. Propriété

Soit  $s$  une similitude directe d'écriture complexe :  $z' = az + b$  où  $a \in \mathbb{C}^*$  et  $b \in \mathbb{C}$ .

\* Si  $a=1$ , alors  $s$  est la translation de vecteur d'affixe  $b$ .

\* Si  $a \neq 1$  alors  $s$  est la similitude directe de centre d'affixe  $\frac{b}{1-a}$ , de rapport  $|a|$ , d'angle  $\text{Arg}(a)$ .

#### Remarque :

Pour déterminer l'affixe du centre de la similitude, on résout l'équation :  $z \in \mathbb{C}, z = az + b$

#### Vocabulaire

Lorsque  $a \neq 1$ , la similitude directe est caractérisé par : son centre, son rapport et son angle.

#### Remarque

- Toute rotation de centre  $A$  et d'angle  $\alpha$  est une similitude directe de centre  $A$ , de rapport 1 et d'angle  $\alpha$ .
- Toute homothétie de centre  $A$  et de rapport  $k$  ( $k > 0$ ) est une similitude directe de centre  $A$ , de rapport  $k$  et d'angle nul.
- Toute homothétie de centre  $A$  et de rapport  $k$  ( $k < 0$ ) est une similitude directe de centre  $A$ , de rapport  $-k$  et d'angle  $\pi$ .

#### Exercice de fixation

Détermine les éléments caractéristiques de la similitude directe  $S$  dont l'écriture complexe est :  $z' = (1 - i)z + i$

#### Solution

L'écriture complexe de  $S$  est de la forme  $z' = az + b$  où  $a = 1 - i$ , et  $b = i$ .  
 $a \neq 1$ . Soit  $A$  le centre de  $S$ ,  $k$  son rapport et  $\theta$  son angle.

- L'affixe du centre  $A$  est  $\frac{b}{1-a}$

$$\frac{b}{1-a} = \frac{i}{1-(1-i)} = \frac{i}{i} = 1$$

- Le rapport  $k$  est tel que :  $k = |a|$

$$k = \sqrt{1^2 + (-1)^2} = \sqrt{2}$$

- L'angle  $\theta$  est tel que :  $\theta = \text{Arg}(a)$

$$\text{On a : } \cos\theta = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ et } \sin\theta = -\frac{\sqrt{2}}{2}, \text{ donc } \theta = -\frac{\pi}{4}$$

$S$  est la similitude directe de centre  $A$  d'affixe 1, de rapport  $\sqrt{2}$  et d'angle  $-\frac{\pi}{4}$ .

## b- Reconnaître une similitude directe définie par son écriture complexe

### Propriétés

Dans le plan complexe  $P$  muni d'un repère orthonormé direct, on considère la similitude directe  $S$  d'écriture complexe :  $z' = az + b$  où  $a \in \mathbb{C}^*$  et  $b \in \mathbb{C}$ .

**TABLEAU RECAPITULATIF PERMETTANT DE PARTICULARISER UNE SIMILITUDE**

	Conditions vérifiées par $a$		Nature et éléments caractéristiques de $S$
Similitude directe $S$ d'écriture complexe $z' = az + b$ où $a \in \mathbb{C}^*$ et $b \in \mathbb{C}$ .	Si $a \in \mathbb{R}^*$	$a = 1$	$S$ est la translation de vecteur $\vec{u}$ d'affixe $b$
		$a \in \mathbb{R}^* \setminus \{1\}$	$S$ est l'homothétie de centre $\Omega$ d'affixe $\frac{b}{1-a}$ et de rapport $a$ .
	Si $a \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$	$ a  = 1$	$S$ est la rotation de centre $\Omega$ d'affixe $\frac{b}{1-a}$ et d'angle $\text{Arg}(a)$
		$ a  \neq 1$	$S$ est la similitude directe de centre $\Omega$ d'affixe $\frac{b}{1-a}$ de rapport $ a $ et d'angle $\text{Arg}(a)$

### Exercice de fixation

Détermine dans chaque cas, la nature et les éléments caractéristiques de la similitude directe  $S$  définie par son écriture complexe :

a)  $z' = 5z + 2i$  ;

b)  $z' = z + 1 + 3i$  ;

c)  $z' = \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right)z + \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$  ;

d)  $z' = (-1 + i)z + 2$ .

### Solution

a)  $a = 5$ , dans ce cas  $a \in \mathbb{R}^* \setminus \{1\}$ ,  $S$  est une homothétie de rapport 5.

Déterminons l'affixe  $z_0$  de son centre.

$$z_0 = \frac{2i}{1-5} = -\frac{1}{2}i$$

Donc  $S$  est l'homothétie de centre le point d'affixe  $-\frac{1}{2}i$  et de rapport 5

b)  $a = 1$ . Donc,  $S$  est la translation de vecteur d'affixe  $1+3i$

c)  $a = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i$ , dans ce cas  $a \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$

$|\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i| = 1$ , donc  $S$  est une rotation

Déterminons son angle

$$\text{Arg}\left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right) = \frac{\pi}{3} \text{ car } \frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2} = \cos\frac{\pi}{3} + i\sin\frac{\pi}{3}.$$

Son angle est  $\frac{\pi}{3}$

Déterminons son centre

$$\frac{b}{1-a} = \frac{\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}}{1 - \left(\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}$$

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

$$= 1$$

Son centre a pour affixe 1.



D'où, S est la rotation de centre le point d'affixe 1 et d'angle  $\frac{\pi}{3}$ .

d)  $a = -1 + i$ , dans ce cas  $a \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$

$|-1+i| = \sqrt{2}$ ,  $|-1+i| \neq 1$  donc S est une similitude directe

$$\text{Arg}(-1+i) = \frac{3\pi}{4} \text{ car } -1 + i = \cos\frac{3\pi}{4} + i\sin\frac{3\pi}{4}$$

L'angle de S est  $\frac{3\pi}{4}$

$$\frac{b}{1-a} = \frac{2}{1-(-1+i)}$$

$$= \frac{2}{2-i}$$

$$= \frac{2(2+i)}{(2-i)(2+i)} = \frac{4+2i}{4+1} = \frac{4}{5} + \frac{2}{5}i$$

D'où, S est la similitude directe de centre le point d'affixe  $\frac{4}{5} + \frac{2}{5}i$ , de rapport  $\sqrt{2}$  et d'angle  $\frac{3\pi}{4}$ .

### c- Détermination de l'écriture complexe d'une similitude directe donnée par son centre, son rapport et son angle.

Le plan complexe est rapporté à un repère orthonormé direct  $(O; \vec{u}, \vec{v})$ .

#### Propriété

Soit  $M'$  un point du plan d'affixe  $z'$  qui est l'image d'un point  $M$  d'affixe  $z$  par une similitude directe  $S$  de centre  $\Omega$  d'affixe  $z_\Omega$ , de rapport  $k$  et d'angle  $\theta$ .

On a :  $z' = ke^{i\theta}(z - z_\Omega) + z_\Omega$ .

#### Exercice de fixation

Détermine l'écriture complexe de la similitude directe de centre le point  $A$  d'affixe  $i$ , de rapport  $\sqrt{2}$  et d'angle  $\frac{\pi}{4}$ .

#### Solution

La forme générale de l'écriture complexe de S est :  $z' = ke^{i\theta}(z - z_A) + z_A$

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

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

$$= (1 + i)(z - i) + i$$

$$= (1 + i)z + 1.$$

Donc l'écriture complexe de S est :  $z' = (1 + i)z + 1$ .

### d. Construction de l'image d'un point par une similitude directe définie par son centre, son rapport et son angle.

#### Propriété

Soit  $s$  une similitude plane directe de centre  $A$ , de rapport  $k$  et d'angle  $\theta$  ( $\theta \in ]-\pi; \pi[$ ).

Pour tout point  $M$  du plan distinct de  $A$ ,  $s(M) = M' \Leftrightarrow \begin{cases} AM' = kAM \\ \text{Mes}(\widehat{AM; AM'}) \end{cases}$

#### Conséquence

Toute similitude directe  $s_{(A, k, \theta)}$  de centre  $A$ , de rapport  $k$  et d'angle de mesure  $\theta$ , s'écrit de façon unique sous la forme :

$$S(A; k; \theta) = r(A; \theta) \circ h(A; k) = h(A; k) \circ r(A; \theta).$$

\*  $h(A; k)$  est l'homothétie de centre A et de rapport k

\*  $r(A; \theta)$  est la rotation de centre A et d'angle de mesure  $\theta$ .

### Vocabulaire:

L'écriture:  $s(A; k; \theta) = r(A; \theta) \circ h(A; k) = h(A; k) \circ r(A; \theta)$  s'appelle la décomposition canonique de la similitude directe  $S(A; k; \theta)$

### **Exercice de fixation 1**

Ecris la décomposition canonique de  $s(A; 2; \frac{3\pi}{2})$

### **Solution**

$$S(A; 2; \frac{3\pi}{2}) = r(A; \frac{3\pi}{2}) \circ h(A; 2) = h(A; 2) \circ r(A; \frac{3\pi}{2}).$$

### **Exercice de fixation 2 :**

Construis l'image  $M'$  d'un point M par la similitude directe S de centre A, de rapport 3 et d'angle  $\frac{\pi}{6}$ .

### **Solution**

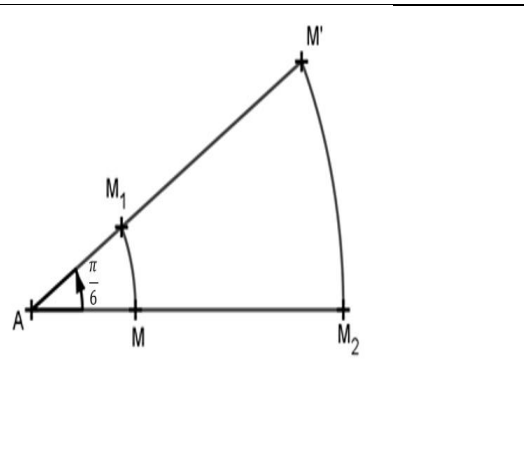
$$S(A; 3; \frac{\pi}{6}) = h(A; 3) \circ r(A; \frac{\pi}{6}) = r(A; \frac{\pi}{6}) \circ h(A; 3)$$

$$\bullet S(A; 3; \frac{\pi}{6}) = h(A; 3) \circ r(A; \frac{\pi}{6}).$$

$$M \xrightarrow{r} M_1 \xrightarrow{h} M'$$

$$\bullet S(A; 3; \frac{\pi}{6}) = r(A; \frac{\pi}{6}) \circ h(A; 3)$$

$$M \xrightarrow{h} M_2 \xrightarrow{r} M'$$



## **e. Similitude directe définie par deux points distincts et leurs images**

### **Propriété**

Soit A, B, C et D quatre points du plan tels que :  $A \neq B$  et  $C \neq D$ .

Il existe une unique similitude directe qui transforme A en C et B en D.

### **Conséquence**

Soit A, B et C trois points du plan tels que :  $A \neq B$  et  $B \neq C$ .

Il existe une unique similitude directe qui transforme A en B et B en C

### **Exercice de fixation**

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct.

On donne les points  $A(2)$ ,  $B(2+2i)$ ,  $C(1-3i)$  et  $D(-4i)$ .

a) Trouve l'écriture complexe de la similitude directe s telle que :  $s(A) = C$  et  $s(B) = D$ .

b) Détermine les éléments caractéristiques de S.

### **Solution**

a) Soit :  $z' = az + b$  où  $a \in \mathbb{C}^*$  et  $b \in \mathbb{C}$ , l'écriture complexe de S.

$$\begin{aligned} \begin{cases} s(A) = C \\ s(B) = D \end{cases} &\Leftrightarrow \begin{cases} az_A + b = z_C \\ az_B + b = z_D \end{cases} \\ &\Leftrightarrow \begin{cases} 2a + b = 1 - 3i \\ (2 + 2i)a + b = -4i \end{cases} \\ &\Leftrightarrow \begin{cases} 2a + b = 1 - 3i \\ (-2 - 2i)a - b = 4i \\ -2ia = 1 + i \end{cases} \\ a &= \frac{1+i}{-2i} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i \end{aligned}$$

La 1<sup>ère</sup> équation du système donne :

$$b = 1 - 3i - 2a = 1 - 3i - 2\left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i\right)$$

$$b = 2 - 4i$$

L'écriture complexe de s est :  $z' = \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i\right)z + 2 - 4i$

b) Notons  $k$  le rapport de S,  $\theta$  son angle et  $\Omega$  son centre :

$$* k = \left|-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i\right| = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$* \theta = \text{Arg}\left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i\right) = \frac{3\pi}{4}$$

$$* z_{\Omega} = \frac{2-4i}{1-\left(-\frac{1}{2}+\frac{i}{2}\right)} = \frac{2-2i}{1-\left(-\frac{1}{2}+\frac{i}{2}\right)} = 2 - 2i$$

Donc, S est la similitude directe de centre  $\Omega(2-2i)$ , de rapport  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  et d'angle  $\frac{3\pi}{4}$ .

### **Cas particulier : Similitude directe définie par son centre, un point et son image**

#### **Propriété**

Soit A, B et C trois points du plan tels que :  $A \neq B$  et  $A \neq C$ .

Il existe une unique similitude directe de centre A qui transforme B en C.

#### **Exercice de fixation**

Dans le plan muni d'un repère orthonormé direct, on donne les points A(-2+i), B(1+2i) et C(2-i).

On considère la similitude directe S de centre A telle que :  $S(B) = C$ .

a) Trouve l'écriture complexe de S.

b) Détermine les éléments caractéristiques de S

#### **SOLUTION**

a) L'écriture complexe de s est de la forme :  $z' = az + b$  où  $a \in \mathbb{C}^*$  et  $b \in \mathbb{C}$ .

$$\begin{cases} s(A) = A \\ s(B) = C \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} az_A + b = z_A \\ az_B + b = z_C \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} (-2+i)a + b = -2+i & (L_1) \\ (1+2i)a + b = 2-i & (L_2) \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} (-2+i)a + b = -2+i & (L_1) \\ (-1-2i)a - b = -2+i & -1 \times (L_2) \end{cases}$$

$$(L_1) - (L_2) \Leftrightarrow (-3-i)a = -4+2i$$

$$a = \frac{-4+2i}{-3-i}$$

$$a = 1 - i$$

$$(L_1) \text{ donne : } b = -2 + i - (-2+i)a$$

$$b = -2 + i - (-2+i)(1-i) = -1 - 2i$$

$$\text{Donc, } S : z' = (1-i)z - 1 - 2i$$

b) S a un centre, donc S n'est pas une translation.

$a = 1 - i$ ,  $a \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$  donc S n'est pas une homothétie.

$|1 - i| = \sqrt{2}$ ,  $|a| \neq 1$  donc S n'est pas une rotation.

D'où S est la similitude directe de centre A de rapport  $\sqrt{2}$  et d'angle  $\text{Arg}(1 - i)$

Soit  $\theta$  l'argument principal  $1-i$ .

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \sin \theta = -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{cases} \Rightarrow \theta = -\frac{\pi}{4}$$

Conclusion : S est la similitude directe de centre A, de rapport  $\sqrt{2}$  et d'angle  $-\frac{\pi}{4}$

## f. Images de figures simples par une similitude directe

### Propriété 1

Toute similitude directe de rapport  $k$  transforme :

- une droite en une droite ;
- une demi-droite en une demi-droite ;
- un segment de longueur  $\ell$  en un segment de longueur  $k\ell$  ;
- un cercle de centre A et de rayon  $r$  en un cercle de centre  $A'$ , image de A par la similitude directe, et de rayon  $kr$ .

### Propriété 2

Toute similitude directe de rapport  $k$  multiplie :

- les distances par  $k$  ;
- les aires par  $k^2$

### Exercice de fixation

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct (O, I, J).

On donne la similitude directe S dont l'écriture complexe est :  $z' = (1 + i)z - 1 - 2i$

a) Calcule l'aire  $a_1$  de l'image du triangle OIJ par S.

b) Trouve l'image  $(C_2)$  par S du cercle  $(C_1)$  de centre O et de rayon 2.

c) Détermine l'image de la droite (OI) par S.

### Solution

a) Le rapport de la similitude S est  $\sqrt{2}$ . Le triangle OIJ a pour aire  $\frac{1}{2}$  ua.

Donc l'aire  $a_1$  de l'image du triangle OIJ est :  $(\sqrt{2})^2 \times \frac{1}{2} = 2 \times \frac{1}{2}$  ua, soit 1ua.

b) Soit  $O'$  l'image de O par S. On a :  $z_{O'} = -1 - 2i$ .

$(C_2)$  est le cercle de  $O'$  et de rayon  $2\sqrt{2}$ .

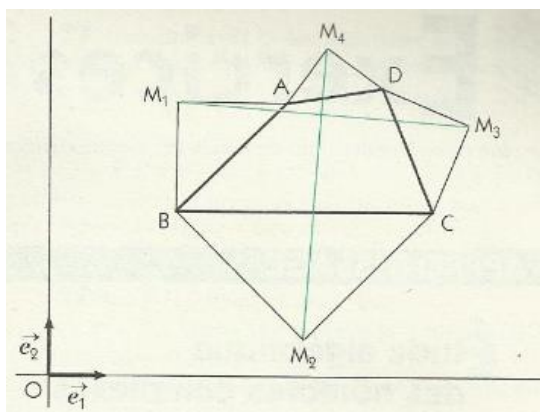
c) Soit  $I'$  l'image de  $I$  par  $S$ . On a :  $z_{I'} = -i$ .  
L'image de la droite  $(OI)$  par  $S$  est la droite  $(O'I')$ .

## C- SITUATION COMPLEXE

### Situation complexe 2

Des élèves d'un lycée ont décoré avec différentes figures géométriques les murs de la salle du club de Mathématiques.

La figure ci-contre représentant l'une d'elles est constituée d'un quadrilatère  $ABCD$  de sens direct et des triangles rectangles isocèles  $AM_1B$ ,  $BM_2C$ ,  $CM_3D$  et  $DM_4A$  de sommets respectifs  $M_1, M_2, M_3$  et  $M_4$ .



Observant attentivement cette figure, l'un des élèves de la promotion de Terminale, passionné de nombres complexes et de géométrie, affirme que les segments  $[M_1M_3]$  et  $[M_2M_4]$  ont des supports perpendiculaires et ont la même longueur.

Démontre en utilisant les nombres complexes que l'affirmation de cet élève est correcte.

### Solution

- Pour résoudre ce problème, on va utiliser les nombres complexes appliqués à la géométrie.
- Pour cela, désignons par  $z_A, z_B, z_C$  et  $z_D$ , les affixes respectifs des points  $A, B, C$  et  $D$  ;  $z_1, z_2, z_3$ , et  $z_4$  les affixes respectifs des points  $M_1, M_2, M_3$  et  $M_4$ .

Le triangle  $AM_1B$  est rectangle isocèle en  $M_1 \Leftrightarrow \frac{z_B - z_1}{z_A - z_1} = i$  (car le triangle  $AM_1B$  est directe).

$$\Leftrightarrow z_1 = \frac{z_B - iz_A}{1 - i}$$

$$\Leftrightarrow z_1 = \frac{(z_B - iz_A)(1+i)}{2}$$

$$\Leftrightarrow z_1 = \frac{z_A \times (1-i) + z_B \times (1+i)}{2}.$$

De même, on montre que les triangles  $BM_2C$ ,  $CM_3D$ ,  $DM_4A$  sont rectangles si et seulement si on a respectivement :

$$z_2 = \frac{z_B \times (1-i) + z_C \times (1+i)}{2}, \quad z_3 = \frac{z_C \times (1-i) + z_D \times (1+i)}{2} \quad \text{et} \quad z_4 = \frac{z_D \times (1-i) + z_A \times (1+i)}{2}.$$

Il reste à calculer :  $\frac{z_4 - z_2}{z_3 - z_1}$

$$\frac{z_4 - z_2}{z_3 - z_1} = \frac{\frac{z_D \times (1-i) + z_A \times (1+i)}{2} - \frac{z_B \times (1-i) + z_C \times (1+i)}{2}}{\frac{z_C \times (1-i) + z_D \times (1+i)}{2} - \frac{z_A \times (1-i) + z_B \times (1+i)}{2}}$$

$$= \frac{(1-i)(z_D - z_B) + (1+i)(z_A - z_C)}{(1-i)(z_C - z_A) + (1+i)(z_D - z_B)} \text{ et par multiplication par le}$$

conjugué

$$(1+i) \text{ de } (1-i) \quad = \frac{2 \times (z_D - z_B) + 2i \times (z_A - z_C)}{2 \times (z_C - z_A) + 2i \times (z_D - z_B)}$$

$$= \frac{[(z_D - z_B) + i \times (z_A - z_C)]}{i \times [(z_D - z_B) + i \times (z_A - z_C)]} = -i.$$

les segments  $[M_1M_3]$  et  $[M_2M_4]$  ont des supports perpendiculaires et puisque  $|z_4 - z_2| = |z_3 - z_1|$  ces segments sont de même longueur.

### Exercices de maison

#### Exercice 1

On donne le point A d'affixe  $2 + 2i$ .

- Détermine l'écriture complexe de la translation t de vecteur  $\vec{u}$  d'affixe  $1 - 3i$ .
- Détermine l'écriture complexe de l'homothétie h de centre A et de rapport  $-3$ .
- Détermine l'écriture complexe de la rotation r de centre A et d'angle  $\frac{\pi}{3}$ .

#### Exercice 2

Détermine les éléments caractéristiques de la similitude directe S dont l'écriture complexe est :  $z' = (1 + i\sqrt{3})z + 2i\sqrt{3}$ .

#### Exercice 3

Détermine dans chaque cas, la nature et les éléments caractéristiques de la similitude directe s définie par son écriture complexe :

- $z' = -3z + 1 - i$  ;
- $z' = z + i$  ;
- $z' = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}i\right)z + \frac{1}{2}i$  ;
- $z' = (2 - 2i)z$ .
- $z' = -z + i$

#### Exercice 4

Le plan complexe est rapporté à un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{e}_1, \vec{e}_2)$ .

- Détermine l'écriture complexe de la similitude directe de centre le point A d'affixe  $1 - i$ , de rapport 3 et d'angle  $\frac{-3\pi}{4}$ .
- Détermine l'écriture complexe de la similitude directe de centre le point B d'affixe  $i\sqrt{3}$ , de rapport 4 et d'angle  $\frac{-2\pi}{3}$ .
- Détermine l'écriture complexe de la similitude directe de centre le point O, de rapport  $\frac{1}{2}$  et d'angle  $\frac{5\pi}{6}$ .

## **D- EXERCICES**

### **Exercice 1**

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O ; \vec{u}, \vec{v})$ .

On donne les points A, B, C, D d'affixes respectives  $2 + i$ ,  $2 - i$ ,  $5 - 2i$ ,  $5 + 2i$ .

Justifie que : les points A, B, C et D sont cocycliques.

## Solution

$$\text{On a : } \frac{z_D - z_C}{z_D - z_A} : \frac{z_B - z_C}{z_B - z_A} = \frac{4i}{3+i} : \frac{-3+i}{-2i} = \frac{-2}{5}.$$

$$\text{D'où : } \frac{z_D - z_C}{z_D - z_A} : \frac{z_B - z_C}{z_B - z_A} \in \mathbb{R}^*.$$

Par suite les points A, B, C et D sont cocycliques.

## Exercice 2

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O; \vec{OI}, \vec{OJ})$ .

1) Détermine l'écriture complexe de la translation  $t$  de vecteur  $\vec{u}$  d'affixe  $1 + 4i$ .

2) Détermine l'écriture complexe de la rotation  $r$  de centre A d'affixe  $1 + i$  et d'angle  $\frac{2\pi}{3}$ .

## Solution

1) L'écriture complexe de la translation  $t$  de vecteur  $\vec{u}$  est :  $z' = z + z_{\vec{u}}$ . Or  $z_{\vec{u}} = 1 + 4i$ .  
L'écriture complexe de la translation  $t$  de vecteur  $\vec{u}$  est :  $z' = z + 1 + 4i$ .

2) L'écriture complexe de la rotation  $r$  de centre A et d'angle  $\frac{2\pi}{3}$  est :

$$z' - (1 + i) = e^{i\frac{2\pi}{3}}(z - (1 + i))$$

$$z' = \left(\frac{-1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(z - (1 + i)) + 1 + i$$

$$z' = \left(\frac{-1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)z + \frac{3 + \sqrt{3}}{2} + i\frac{3 - \sqrt{3}}{2}$$

L'écriture complexe de la rotation  $r$  de centre A  
d'affixe  $1 + i$  et d'angle  $\frac{2\pi}{3}$  est :

$$z' = \left(\frac{-1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)z + \frac{3 + \sqrt{3}}{2} + i\frac{3 - \sqrt{3}}{2}.$$

## Exercice de renforcement

### Exercice 3

Le plan complexe est muni d'un repère orthonormé direct  $(O; \vec{u}, \vec{v})$ .

Dans chaque cas, détermine et construis l'ensemble des points M d'affixe  $z$  vérifiant la condition donnée :

a)  $|z - 2i| = 3$ .

b)  $|z - 1 + i| = |z + 1 + 3i|$ .

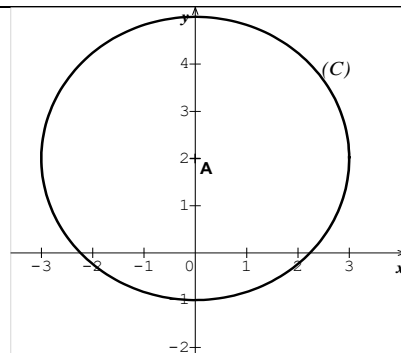
c)  $\arg(z - 1 - i) \equiv \frac{\pi}{6} [2\pi]$ .

## Solution

a)  $|z - 2i| = 3 \Leftrightarrow AM = 3$  où A est le point d'affixe  $2i$ .

L'ensemble des points M dont l'affixe  $z$  vérifie :

$|z - 2i| = 3$  est le cercle (C) de centre A de rayon 3.



b)

$$|z - 1 + i| = |z + 1 + 3i|$$

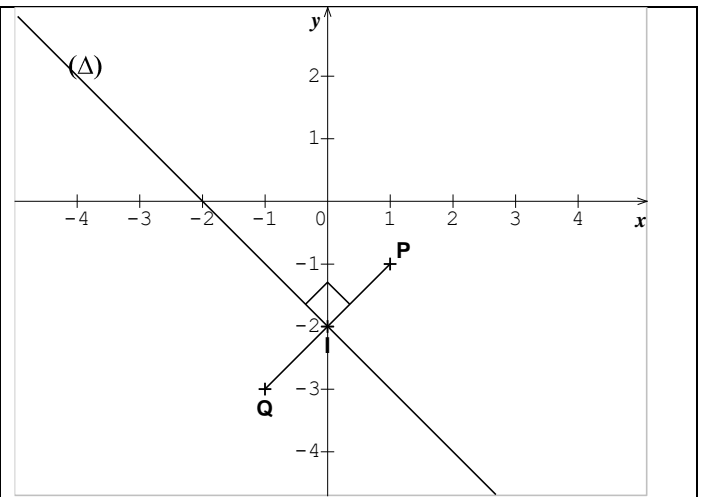
$$\Leftrightarrow |z - (1 - i)| =$$

$$|z - (-1 - 3i)|$$

$\Leftrightarrow PM = QM$  où P et Q sont les points d'affixes respectives  $1 - i$  et  $-1 - 3i$ .

L'ensemble des points M dont l'affixe z vérifie :

$|z - 1 + i| = |z + 1 + 3i|$  est la médiatrice ( $\Delta$ ) du segment [PQ].



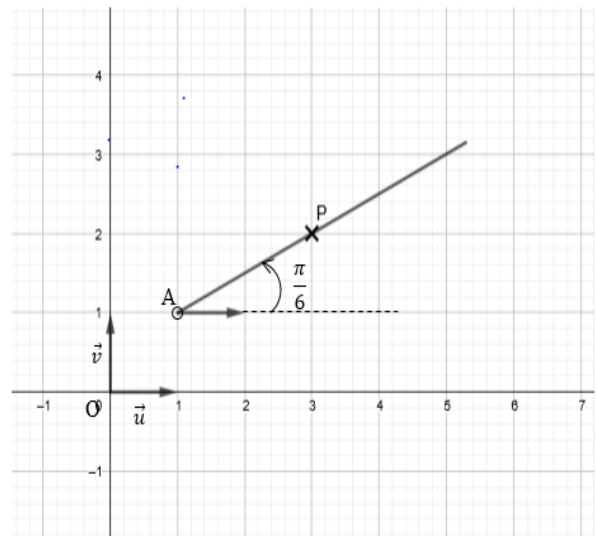
c)  $\arg(z - 1 - i) \equiv \frac{\pi}{6} [2\pi]$

$$\Leftrightarrow \arg(z - (1 + i)) \equiv \frac{\pi}{6} [2\pi]$$

$$\Leftrightarrow \arg(z - z_A) \equiv \frac{\pi}{6} [2\pi], \text{ où } A(1 + i)$$

$$\Leftrightarrow \text{Mes}(\vec{u}, \widehat{AM}) = \frac{\pi}{6}$$

L'ensemble des points M d'affixe z vérifiant :  $\arg(z - 1 - i) \equiv \frac{\pi}{6} [2\pi]$  est la demi-droite [AP) privée du point A, où  $\text{Mes}(\vec{u}, \widehat{AP}) = \frac{\pi}{6}$ .



### 3. Exercices d'approfondissement

#### Exercice 4

1) a) Résous dans  $\mathbb{C}$  l'équation  $z^2 - 2z + 2 = 0$ .

Précise le module et un argument de chacune des solutions.

b) Dédus les solutions de l'équation :  $(-iz + 3i + 3)^2 - 2(-iz + 3i + 3) + 2 = 0$

2) le plan est rapporté à un repère orthonormé direct  $(\vec{0}, \vec{u}, \vec{v})$  d'unité graphique 2cm,

On considère les points A, B et C d'affixes respectives  $z_A = 1 + i, z_B = \overline{z_A}, z_C = 2z_B$

a) Détermine les formes algébriques de  $z_A \cdot z_B$  et  $z_C$

b) Place les points A, B et C

c) Montre que les points A, B et C appartiennent au cercle (C) de centre I d'affixe 3 et de rayon  $\sqrt{5}$

d) Calcule  $\frac{z_C - 3}{z_A - 3}$  ; en déduire la nature du triangle IAC.



## Solution

1) a)  $z^2 - 2z + 2 = 0$ . Utilisons (une fois quand même la forme canonique !)

$$z^2 - 2z + 2 = 0 \Leftrightarrow (z-1)^2 - 1 + 2 = 0 \Leftrightarrow (z-1)^2 = -1 = i^2 \Leftrightarrow z-1 = i \text{ ou } z-1 = -i \Leftrightarrow z = 1+i \text{ ou } z = 1-i ;$$

$$\mathcal{S}_{\mathbb{C}} = \{ 1+i ; 1-i \}$$

$$1+i = \sqrt{2} \left( \frac{\sqrt{2}}{2} + i \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \sqrt{2} \left( \cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) ; |1+i| = \sqrt{2} \text{ et } \text{ARG}(1+i) = \frac{\pi}{4} .$$

$$\text{On montre de même que : } |1-i| = \sqrt{2} \text{ et } \text{ARG}(1-i) = -\frac{\pi}{4}$$

b) En posant  $Z = -iz + 3i + 3$ , l'équation dévient :  $Z^2 - 2Z + 2 = 0$  donc les solutions sont d'après la première question,  $Z = 1 + i$  ou  $Z = 1 - i$ . Donc  $-iz + 3i + 3 = 1 + i$  ou  $-iz + 3i + 3 = 1 - i$  ;  
 $z = 2 - 2i$  ou  $z = 4 - 2i$  ;  $\mathcal{S}_{\mathbb{C}} = \{ 2 - 2i ; 4 - 2i \}$

$$2^{\circ} \text{ a) } z_A = 1+i, z_B = 1-i, z_C = 2-2i ;$$

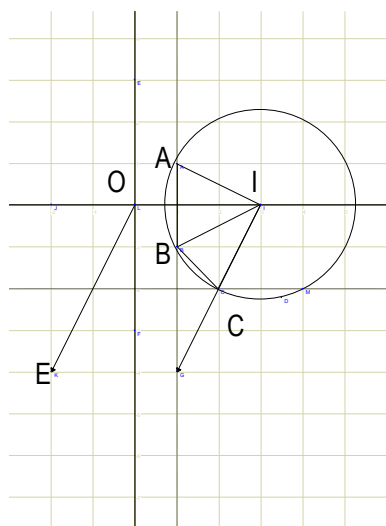
b) Figure

c) Il suffit de montrer que  $IA = IB = IC = \sqrt{5}$

$$IA = |z_{IA}| = |1+i-3| = |-2+i| = \sqrt{5} ; IB = |z_{IB}| = |1-i-3| = |-2-i| = \sqrt{5}$$

$$IC = |z_{IC}| = |2-2i-3| = |-1-2i| = \sqrt{5}$$

d)  $\frac{z_C - 3}{z_A - 3} = i$  ; le triangle IAC est rectangle et isocèle en I.



## Exercice 5

Le plan complexe est muni du repère orthonormé (O, I, J).

A, B et D sont les points d'affixes respectives  $-1 + 3i$  ;  $-2$  et  $2 + 2i$ .

Soit  $r$  la rotation d'angle  $\frac{\pi}{2}$  et de centre le point J d'affixe  $i$ .

1- a) Fais une figure.

b) Démontre que l'écriture complexe de  $r$  est :  $z' = iz + 1 + i$

2- a) Justifie que B est l'image du point A par la rotation  $r$ .

b) Justifie que D est l'antécédent du point A par  $r$ .

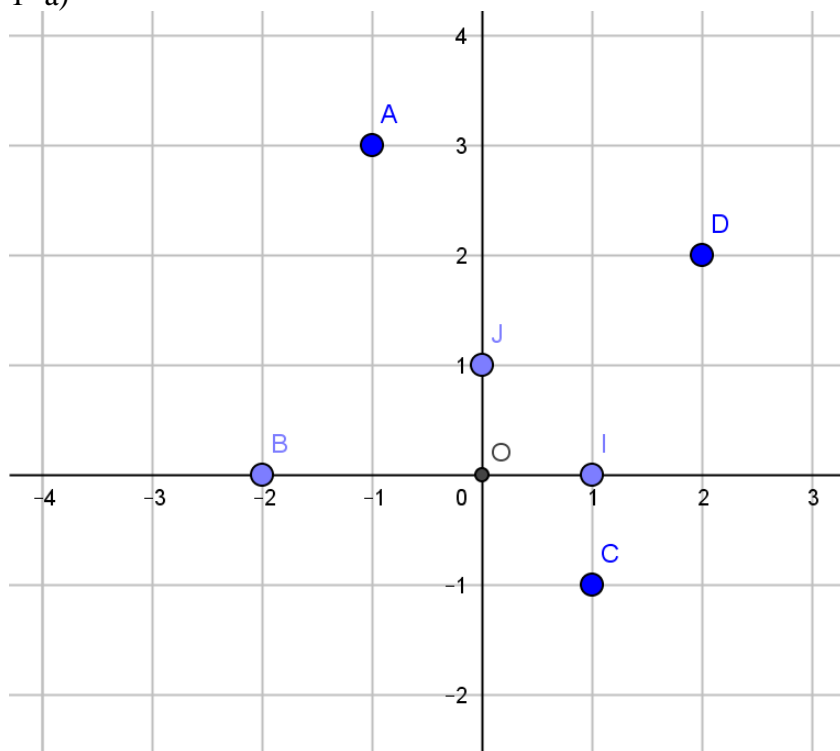
3- Soit C l'image du point A par la symétrie centrale de centre J.

a) Calcule l'affixe du point C.

b) Démontre que le quadrilatère ABCD est un carré.

### Solution

1- a)



b) écriture complexe de  $r$

L'écriture complexe d'une rotation est de la forme :  $z' = e^{i\alpha}(z - \omega) + \omega$  où  $\alpha$  est l'angle de la rotation et  $\omega$ , l'affixe du centre de cette rotation. on en déduit que :

$z' = e^{i\frac{\pi}{2}}(z - i) + i = iz + 1 + i$  est l'écriture complexe associée à cette rotation.

2) a- Soit  $z'_A$ , l'affixe de l'image de A par la rotation  $r$  ;  $z'_A = i \times (-1 + 3i) + 1 + i = -2 = z_B$ .

b- cela revient à résoudre l'équation :  $z \in \mathbb{C}, -1 + 3i = iz + 1 + i$ . On obtient :

$$z = \frac{-2+2i}{i} = 2 + 2i = z_D.$$

3) a- calcule de l'affixe de C

$$z_J = \frac{z_A + z_C}{2} \Leftrightarrow z_C = 2 \times z_J - z_A = 2 \times i - (-1 + 3i) = 1 - i.$$

b- démontrons que ABCD est un carré.

Il suffit pour cela de montrer que ABCD est un losange ayant deux cotés consécutifs perpendiculaires.

- $|z_B - z_A| = |z_B - z_C| = |z_C - z_D| = |z_D - z_A|$ , donc  $AB = BC = CD = DA$ .
- $\frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = \frac{-2 - (-1 + 3i)}{1 - i - (-1 + 3i)} = \frac{-1 - 3i}{2 - 4i} = \frac{(-1 - 3i)(2 + 4i)}{20} = \frac{-2 - 4i - 6i + 12}{20} = \frac{10 - 10i}{20} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}i$  donc  
 $Mes(\overrightarrow{AB}; \overrightarrow{AC}) = \arg \frac{z_B - z_A}{z_C - z_A} = \frac{\pi}{4}$  et puisque  $Mes(\overrightarrow{AB}; \overrightarrow{AD}) = 2 \times$   
 $Mes(\overrightarrow{AB}; \overrightarrow{AC}) = 2 \times \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2}$  d'où le résultat.

## Exercice 5

Lors de la préparation d'un exposé en géométrie, un groupe d'élèves d'une classe de terminale découvre l'équation (E) :  $z \in \mathbb{C}, 2z^2 + 2z + 1 = 0$ .

Ils veulent avoir des informations sur cette équation.

Après réflexion, un élève de ce groupe affirme que si l'on note  $a$  une solution de (E) dont la partie imaginaire est positive, les nombres  $a, a^2$  et  $a^3$  seront les affixes des sommets d'un triangle équilatéral. Sa voisine de classe ne partage pas cet avis.

Ayant suivi la discussion, tu décides de les départager.

Dis, en argumentant, lequel des deux élèves a raison.

### Solution

Les solutions de  $2z^2 + 2z + 1 = 0$  sont :  $-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}i$  et  $-\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i$ , les nombres  $a, a^2$  et  $a^3$  seront

les affixes des sommets d'un triangle équilatéral si  $\frac{a^3 - a}{a^2 - a} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i$  ou si  $\frac{a^3 - a}{a^2 - a} = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$  or

$\frac{a^3 - a}{a^2 - a} = a + 1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}i$  donc le triangle n'est pas équilatéral