

## TD

## Sources :

exercice 3 : Recherche d'invariant exercice 4 : Recherche d'invariant exercice 5 : Recherche d'invariant

## Savoirs et compétences :

- ☐ AN.C1 : Justifier qu'une itération (ou boucle) produit l'effet attendu au moyen d'un invariant
- ☐ AN.C2 : Démontrer qu'une boucle se termine effectivement

## Proposition de corrigé

### 0.1 Test de primalité

**Q 1 : Proposer un invariant de boucle pour démontrer cet algorithme.**

```
def est_premier(n):
    """ Renvoie True si n est premier, False sinon
        Précondition : n est un entier. """
    for d in range(2, n):
        # n n'est pas divisible par 2, 3, ..., d-1.
        if n % d == 0:
            return False
    return True
```

### 0.2 Fonction mystère

**Q 1 :** À chaque tour de boucle,  $k$  est incrémenté de 1 et  $p$  est multiplié par  $b$ .

Au début du premier tour de boucle, on a  $k = 0$  et  $p = 1$ . Au tour suivant,  $k = 1$  et  $p = b$ . Au second tour,  $k = 2$  et  $p = b^2$ . Le tableau se dresse aisément.

**Q 2 :** Montrons que «  $b = p^k$  » est un invariant pour la boucle `while`. En entrée de boucle, on a  $k = 0$  et  $p = 1 = b^0$ , donc l'invariant est bien initialisé. Supposons qu'au début d'un tour de boucle on ait  $b = p^k$ . À la fin de la ligne 5, comme  $k$  est incrémenté de 1,  $p = b^{k-1}$ . À la fin de la ligne 6, comme  $p$  est multiplié par  $b$ , on a  $p = b^k$ . L'invariant est donc vrai au début du tour de boucle suivant.

Ainsi, «  $b = p^k$  » est un invariant pour la boucle `while`.

**Q 3 :** Montrons que «  $a - p$  » est un variant pour la boucle `while`.

- C'est bien un entier car par construction  $p$  est toujours un entier et  $a$  est entier par définition.
- C'est un entier positif : d'après la condition de la boucle `while`,  $p$  divise  $a$ . Comme  $a$  est strictement positif et comme  $p$  est positif,  $p \leq a$ , donc  $a - p \geq 0$ .
- C'est un entier positif qui décroît strictement à chaque tour de boucle : à chaque tour de boucle,  $p$  est multiplié par  $b$  et  $b > 1$ .

**Q 4 :** On a écrit un variant pour la boucle `while`, donc la fonction renvoie bien un résultat. Par l'invariant, en sortie de boucle, on a  $p = b^k$ . En sortie de boucle,  $k$  est le plus petit entier pour lequel  $b^k$  ne divise pas  $a$ . On renvoie en sortie  $k - 1$ . Ainsi, la fonction renvoie le plus grand entier  $k$  tel que  $b^k$  divise  $a$ .

### 0.3 Invariant pour les calculs de moyennes et de variances

**Q 1 :** Soit les algorithmes de calculs de moyenne ci-dessous, proposez des invariants de boucles.

```
def moyenne(t):
    """Calcule la moyenne de t
    Précondition : t est un tableau de
    nombres non vide"""
    s = 0
    for x in t:
        # Invariant :
        # s == somme des éléments de t
        # avant x
        s = s + x
    return s/len(t)
```

```
def moyenne(t):
    """Calcule la moyenne de t
    Précondition : t est un tableau de
    nombres non vide"""
    n = len(t) # Longueur de t
    s = 0
    for i in range(n):
        # Invariant : s == sum(t[0:i])
        s = s + t[i]
    return s/n
```

**Q 2 : Soit l'algorithme de calculs de variance ci-dessous, proposez un invariants de boucles.**

```
def variance(t):
    """Renvoie la variance de t
    Précondition : t est un tableau de
    nombres non vide"""
    sc = 0
    for x in t:
        # Invariant : sc == somme des
        # carrés des éléments de
        # t avant x
        sc = sc + x**2
    return sc/len(t) - moyenne(t)**2
```

## 0.4 Invariant pour les recherches de maximum de tableaux

**Q 1 : Soit les algorithmes de recherche de maximum d'un tableau ci-dessous, proposez des invariants de boucles.**

```
def maxi(t):
    """Renvoie le plus grand élément de t.
    Précondition : t est un tableau
    non vide"""
    m = t[0]
    for x in t:
        # Invariant : m est le plus grand
        # élément trouvé jusqu'ici
        if x > m:
            m = x # On a trouvé plus grand,
            # on met à jour m
    return m
```

```
def maxi(t):
    """Renvoie le plus grand élément de t.
    Précondition : t est un tableau
    non vide"""
    m = t[0] # Initialisation par le
    # premier élément
```

```
for i in range(1, len(t)):
    # Invariant : m == max(t[0:i])
    if t[i] > m:
        m = t[i] # On a trouvé plus
                  # grand, on met à
                  # jour m
return m
```

**Q 2 : Soit les algorithmes de recherche d'indice de maximum d'un tableau ci-dessous, proposez des invariants de boucles.**

```
def indicemaxi(t):
    """Renvoie l'indice du plus grand
       élément de t.
       Précondition : t est un tableau
       non vide"""
    im = 0 # Indice du maximum,
           # initialisation par
           # le premier élément
    for i in range(1, len(t)):
        # Invariant : im est indice d'un
        # plus grand élément de t[0:i]
        if t[i] > t[im]:
            im = i # On a trouvé plus grand,
                  # on met à jour im
    return im

def indicemaxi(t):
    """Renvoie l'indice du plus grand élément
       de t.
       Précondition : t est un tableau
       non vide"""
    im = 0 # Indice du maximum,
           # initialisation par le
           # premier élément
    for i, x in enumerate(t):
        # Invariant : im est indice
        # d'un plus grand élément de t[0:i]
        if x > t[im]:
            im = i # On a trouvé plus grand,
                  # on met à jour im
    return im
```

## 0.5 Invariant pour les recherches d'occurrences dans un tableau

**Q 1 : Soit les algorithmes de test d'appartenance d'un élément dans un tableau. Proposer un invariant de boucle.**

```
def appartient(e, t):
    """Renvoie un booléen disant si e
       appartient à t
       Précondition : t est un tableau"""
    for x in t:
        # Invariant : e n'est pas positionné
        # dans t avant x
        if e == x:
            return True # On a trouvé e,
                        # on s'arrête
    return False
```

**Q 2 : Soit les algorithmes de recherche d'indice de première occurrence d'un élément dans un tableau. Proposer un invariant de boucle.**

```
def ind_appartient(e,t):
    """Renvoie l'indice de la première
       occurrence de e dans t,
       None si e n'est pas dans t
       Précondition : t est un tableau"""
    for i in len(t):
        # Invariant : e n'est pas dans t[0:i]
        if t[i] == e:
            return i # On a trouvé e
                       # à l'indice i
    return None
```