

## CONCOURS D'ADMISSION

### Option économique et technologique

## MATHEMATIQUES II

**Année 1990**

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Les candidats sont invités à **encadrer** dans la mesure du possible les résultats de leurs calculs.

Ils ne doivent faire usage d'aucun document; l'utilisation de toute calculatrice et de tout matériel électronique est interdite. Seule l'utilisation d'une règle graduée est autorisée.

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il sera amené à prendre.

L'objet du problème consiste en l'étude de la complexité d'un algorithme (décrit à la partie II) permettant la recherche du plus grand élément d'un tableau de nombres non triés. Dans la partie I sont établis quelques résultats préliminaires.

## PARTIE I

1. On considère la fonction définie pour tout réel positif  $x$  par :

$$f(x) = \frac{x}{2} + \frac{x}{2(1+x)} - \ln(1+x)$$

- (a) Calculer  $f'(x)$ , étudier  $f$  et tracer sa courbe représentative.  
(b) En déduire successivement que :

$$(1) \quad 0 \leq f'(x) \leq \frac{x^2}{2} \quad ; \quad 0 \leq f(x) \leq \frac{x^3}{6}$$

2. Soient  $n, p, k$  des entiers naturels non nuls tels que  $n \geq 2, k \geq 2$ .

- (a) A l'aide du théorème des accroissements finis, établir que :

$$(3) \quad \frac{1}{k^3} \leq \frac{1}{2(k-1)^2} - \frac{1}{2k^2}.$$

(b) Dédurre des résultats qui précèdent l'inégalité suivante :

$$(4) \quad 0 \leq \sum_{k=n}^{n+p-1} f\left(\frac{1}{k}\right) \leq \frac{1}{12(n-1)^2}$$

3. On se propose d'étudier la suite  $(u_n)$  définie pour  $n \geq 1$  par:  $u_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln(n)$ . A cet effet, on introduit la suite  $(v_n)$  définie pour  $n \geq 1$  par  $v_n = u_n - \frac{1}{n}$ .

(a) Etablir l'encadrement suivant :

$$\frac{1}{n+1} \leq \ln(n+1) - \ln(n) \leq \frac{1}{n}$$

- (b) En déduire le sens de variation des suites  $(u_n)$  et  $(v_n)$ , et prouver qu'elles sont adjacentes (on rappelle que deux suites sont dites adjacentes si l'une est croissante, l'autre décroissante, la différence des deux ayant pour limite 0).
4. On note  $\gamma$  la limite commune des suites  $(u_n)$  et  $(v_n)$  et, pour évaluer numériquement  $\gamma$ , on se propose d'utiliser la moyenne arithmétique  $m_n$  de  $u_n$  et  $v_n$ :

$$m_n = \frac{u_n + v_n}{2}$$

(a) Prouver l'inégalité suivante:

$$|m_n - \gamma| \leq \frac{1}{2n}$$

- (b) Ecrire (en PASCAL) un algorithme permettant de calculer  $m_n$  pour un entier naturel non nul  $n$  donné. Préciser en particulier  $m_5$  et  $m_{50}$  et en déduire des valeurs approchées de  $\gamma$  à 0,1 et 0,01 près. Que constate-t-on a posteriori sur la qualité de l'approximation réalisée par  $m_5$ ?
5. On améliore dans cette question la majoration obtenue pour  $|m_n - \gamma|$  à l'aide de l'ensemble des résultats précédents.
- (a) Comparer  $f\left(\frac{1}{k}\right)$  et  $m_{k+1} - m_k$ .
- (b) Dédurre de l'inégalité (4) que, si  $n$  et  $p$  sont deux entiers naturels non nuls tels que  $n \geq 2$ , alors on a :

$$0 \leq m_{n+p} - m_n \leq \frac{1}{12(n-1)^2}$$

Quel encadrement de  $\gamma$  en déduit-on en faisant tendre  $p$  vers l'infini ?

A l'aide la valeur de  $m_{50}$  calculée à la question 5, quel encadrement de  $\gamma$  obtient-on finalement ?

## PARTIE II

On considère une urne remplie de  $n$  boules ( $n \geq 1$ ) numérotées respectivement  $1, 2, \dots, n$ . On extrait ces  $n$  boules, une à une et sans remise, et l'on désigne par  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  les variables aléatoires indiquant, dans cet ordre, les numéros des boules ainsi obtenues.

Pour tout entier  $p$  tel que  $1 \leq p \leq n$ , on note d'autre part  $X_p$  la variable aléatoire indiquant le plus grand des  $p$  numéros obtenus au cours des  $p$  premiers tirages, autrement dit:  $X_p = \sup(Z_1, Z_2, \dots, Z_p)$ .

1. On se propose de déterminer  $P(Z_p > X_{p-1})$  pour  $1 < p \leq n$ . On pose  $\mathbb{N}_n = \{1, \dots, n\}$ . On demande de préciser:
- (a) le nombre de parties  $A$  à  $p$  éléments choisis dans l'ensemble  $\mathbb{N}_n$ .

- (b) le nombre de suites  $(a_1, a_2, \dots, a_p)$  composées de  $p$  éléments deux à deux distincts d'une partie donnée  $A$  à  $p$  éléments de l'ensemble  $\mathbb{N}_n$ .
  - (c) le nombre de suites  $(a_1, a_2, \dots, a_p)$  composées de  $p$  éléments deux à deux distincts de l'ensemble  $\mathbb{N}_n$ .
  - (d) le nombre de suites  $(a_1, a_2, \dots, a_p)$  composées de  $p$  éléments deux à deux distincts d'une partie donnée  $A$  à  $p$  éléments de l'ensemble  $\mathbb{N}_n$ , et telles que le plus grand des  $p$  éléments soit situé en  $p$ -ième position.
  - (e) le nombre de suites  $(a_1, a_2, \dots, a_p)$  composées de  $p$  éléments deux à deux distincts de l'ensemble  $\mathbb{N}_n$  et telles que le plus grand des  $p$  éléments soit situé en  $p$ -ième position.
  - (f) la probabilité  $P(Z_p > X_{p-1})$  pour  $1 < p \leq n$ .
2. Pour  $1 < p \leq n$ , on note  $B_p$  la variable aléatoire prenant pour valeurs 1 si l'événement  $Z_p > X_{p-1}$  est réalisé, et 0 sinon. Montrer que l'espérance de  $B_p$  est égale à  $1/p$ , et donner l'expression et l'interprétation de  $E(B_2 + B_3 + \dots + B_n)$ .

3. On considère l'algorithme suivant, dans lequel toutes les variables sont de type entier, et où l'on a affecté un entier supérieur à 1 à la variable  $n$ , et les entiers  $1, 2, \dots, n$  dans un ordre quelconque aux variables  $Z[1], Z[2], \dots, Z[n]$  :

```
begin
X := Z[1];
for p:=2 to n do
    if Z[p] > X then X := Z[p];
end;
```

- (a) Indiquer les valeurs successivement prises par  $X$  au cours de l'algorithme :
  - d'une part lorsque  $Z[1] = 1, Z[2] = 2, \dots, Z[n] = n$ .
  - d'autre part lorsque  $Z[1] = n, Z[2] = n - 1, \dots, Z[n] = 1$ .
- (b) On revient au cas général. Indiquer la valeur contenue dans la variable  $X$  à l'issue de l'algorithme. Déterminer le nombre de comparaisons ( $>$ ) effectuées entre les valeurs de deux variables ainsi que le nombre maximal et le nombre minimal d'affectations ( $:=$ ) effectuées.
- (c) A l'aide des résultats précédents, exprimer l'espérance  $E_n$  du nombre d'affectations effectuées au cours de l'algorithme en fonction de  $n$ , puis expliciter à l'aide du nombre  $\gamma$  des réels  $a$  et  $b$  tels que l'on ait:

$$E_n = a \ln(n) + b + \varepsilon_n, \quad \text{avec} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \varepsilon_n = 0$$