

## Simulation de lois

le 31 janvier 2017

## 1 Simulation de lois discrètes

Exercice 1 (*Simulation de la loi géométrique*)

1. Que retourne `rand() < 0.5` ?
2. Dans une fonction `compteur = premierSucces(p)`, écrire une boucle pour compter le nombre d'essais nécessaires pour retourner le rang d'apparition du premier succès de probabilité  $p$ .
3. Dans une fonction `echGeom = echantillonGeometrique(n, p)`, écrire une deuxième boucle pour obtenir un échantillon de  $n$  valeurs de la loi géométrique.
4. Comparer les performances avec le programme `echantillonGeom.sce`

Exercice 2 (*Simulation de la loi binomiale*)

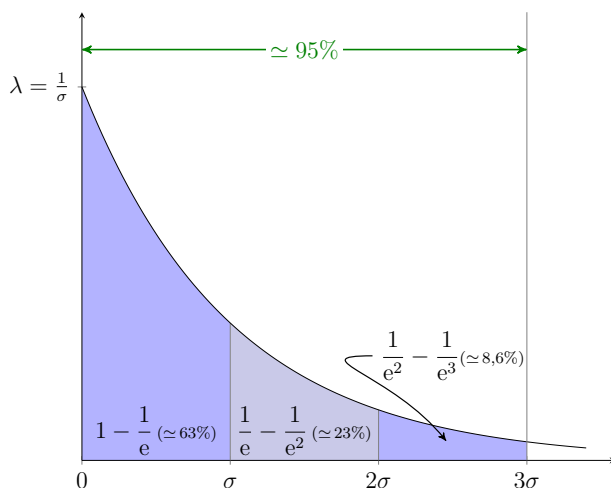
1. Écrire une fonction `nombreDeSucces(n, p)` qui simule la loi binomiale  $\mathcal{B}(n, p)$ .
2. Vérifier que pour  $n$  grand et  $Np = \lambda$  pas trop grand, on a  $\mathcal{B}(n, p) \sim \mathcal{P}(\lambda)$ .

## 2 Rappels sur les lois usuelles

## 2.1 Rappels sur la loi exponentielle

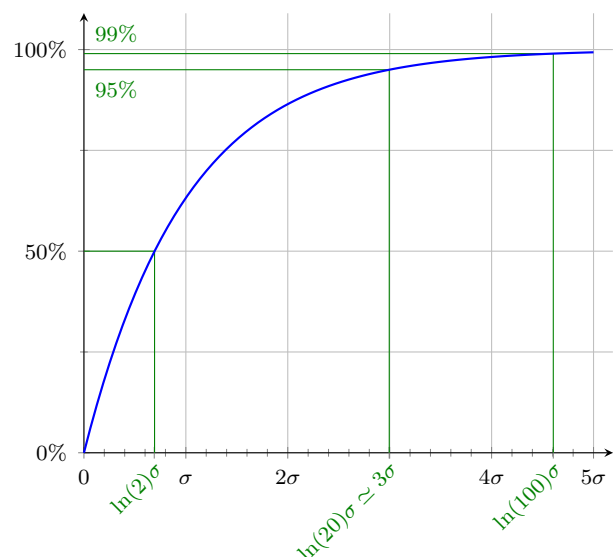
## ► Densité

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$



## ► Fonction de répartition

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$



## ► Fonction d'anti-répartition

C'est la fonction  $A(x) = \mathbb{P}(X > x)$ .

Elle vérifie :

$$A(x) = 1 - F(x) = \begin{cases} e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 1, & x < 0 \end{cases}$$

## ► Moments

(espérance)	(variance)	(écart-type)
$\mathbb{E}[X]$	$\text{Var}(X)$	$\sigma(X)$
$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$	$\frac{1}{\lambda}$

## 2.2 Rappels sur la loi normale

### ► Densité

$$\forall x \in \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad \text{pour } \mathcal{N}(0, 1)$$

$$\forall x \in \mathbb{R}, f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{pour } \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$$

### ► Fonction de répartition

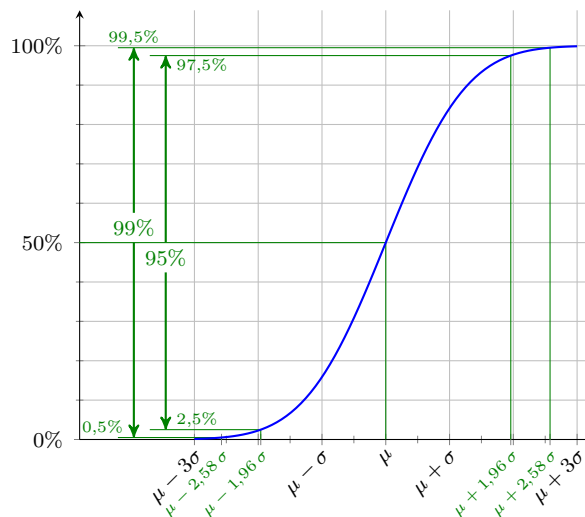
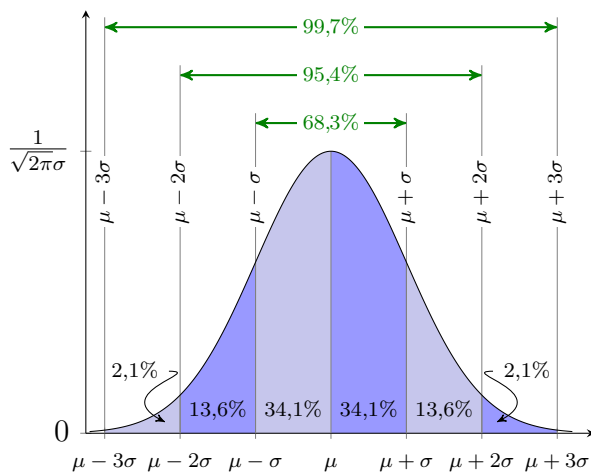
$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \text{pour } \mathcal{N}(0, 1),$$

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \quad \text{pour } \mathcal{N}(\mu, \sigma^2).$$

### ► Fonction d'anti-répartition

Par symétrie :  $1 - \Phi(x) = \Phi(-x)$ .

### ► Repères sur les probabilités associées



### ► Moments

(espérance)	(variance)	(écart-type)
$\mathbb{E}[X]$	$\text{Var}(X)$	$\sigma(X)$
$\mu$	$\sigma^2$	$\sigma$

### 3 Quantiles d'une loi continue

#### 3.1 Fonction de répartition

La fonction de répartition d'une distribution  $X$  est définie par :  $x \mapsto F(x) = \mathbb{P}(X \leq x)$ .

Il s'agit donc d'une représentation : valeur  $\mapsto$  probabilité

Pour  $X$  *va* continue (*p. ex :  $X$  à densité*) la fonct<sup>n</sup> de répartit<sup>n</sup> est « typiquement » **bijective**.

À chaque niveau de probabilité  $p \in [0; 1]$  est associée valeur  $x$  telle que  $F(x) = p$ .

Cette valeur  $x$  est appelée le **quantile** de la distribution **associé au niveau** de probabilité  $p$ .

La **bijection réciproque** de la fonct<sup>n</sup> de répartit<sup>n</sup> est donc « l'application quantile » de la distribution.

#### 3.2 Vocabulaire des quantiles

##### ► Quartiles

Il y a 5 quartiles  $Q_k$  avec  $k \in \llbracket 0, 4 \rrbracket$ , correspondant aux niveaux  $\frac{k}{4}$ .

Pour  $k \in \llbracket 0, 3 \rrbracket$ , un quart de la distribution est située entre les valeurs  $Q_k$  et  $Q_{k+1}$ .

Les quartiles extrémaux  $Q_0$  et  $Q_4$  correspondent respectivement au **minimum** et au **maximum** de la distribution. Le quartile  $Q_2$  est la **médiane** de la distribution : elle sépare la distribution en « deux parties de masse égale ».

$p$	0%	25%	50%	75%	100%
quantile	min	$Q_1$	$M$	$Q_3$	max

##### ► Déciles

C'est le même principe que pour les quartiles, mais en décomposant la distribution en 10 parties contenant chacune 10% de la masse.

Il y a donc 11 déciles  $D_k$  avec  $k \in \llbracket 0, 10 \rrbracket$ , correspondant aux niveaux  $\frac{k}{10}$ .

Les déciles extrémaux  $D_0$  et  $D_{10}$  correspondent respectivement au minimum et au maximum, et le décile  $D_5$  à la **médiane** de la distribution.

$p$	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
décile	min	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$M$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$	max

##### ► Centiles (ou percentiles)

Encore le même principe, mais on subdivise cette fois la distribution en 100 parties  $[C_k; C_{k+1}]$  où  $k \in \llbracket 0, 99 \rrbracket$

##### ► Implémentation Scilab

Les conventions implémentées pour les commandes **quart** et **perctl** sont contradictoires :

★) *quartiles* : la distribution est subdivisée en 4 parties (comme ci-dessus)

★) *centiles* : la distribution est subdivisée en 99 parties (au lieu de 100... !)

et l'on obtient donc des aberrations liées à cette incompatibilité :

### 3.3 Représentation des déciles, lois normale et exponentielle

On calcule les déciles des lois exponentielles et normale par Scilab :

```

quantiles/decilesShowcase.sci
3 // p= 10% 20%... q = 1 - p
4 p = .1*(1:9)      , q = ones (p) - p
5 // La fonction quantiles
6 x = - log (q)      ,
7
8 disp (x)

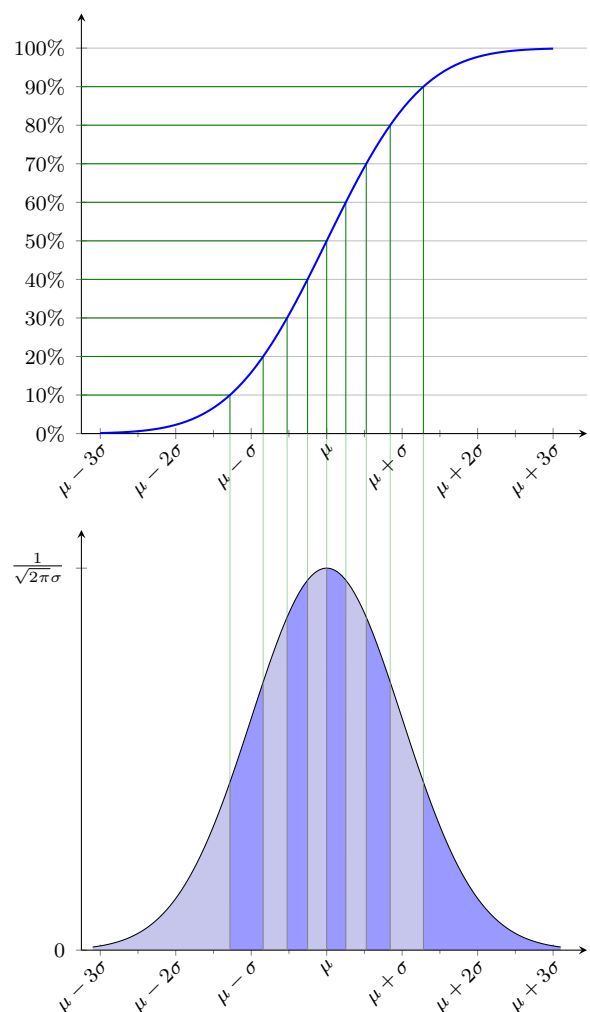
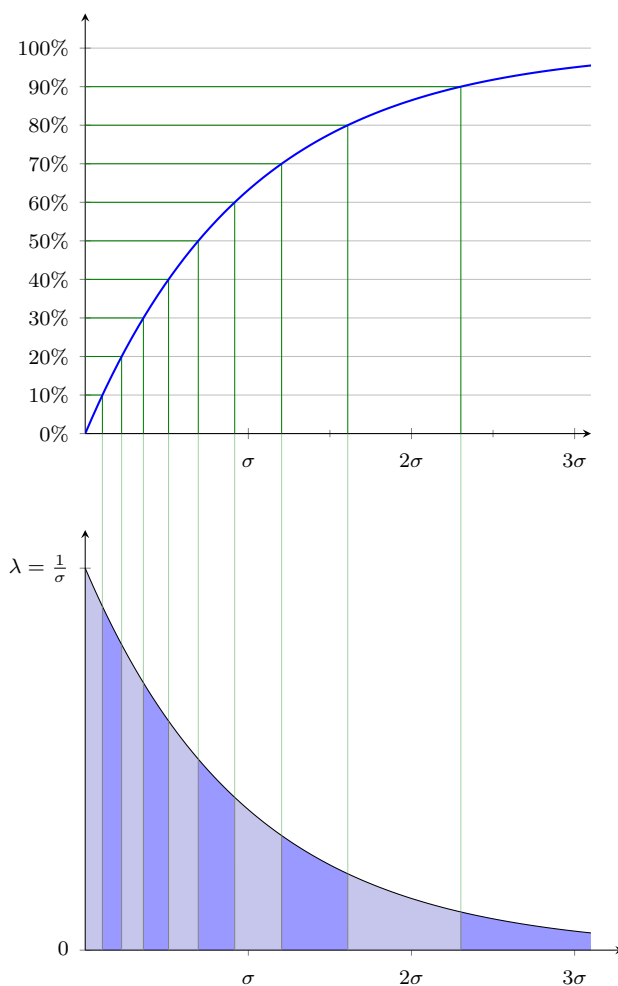
```

```

quantiles/decilesShowcase.sci
13 // p= 10% 20%... q = 1 - p
14 p = .1*(1:9)      , q = ones (p) - p
15 // loi normale centrée réduite
16 Mean = zeros (p), Std = ones (p);
17 // On calcule les déciles
18 x = cdfnor("X",Mean,Std,p,q)

```

On représente les déciles sur les fonctions de répartition et sur les fonctions densité :



Soit la table de déciles suivante :

décile	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$M$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
$\mathcal{E}(\lambda)$	$0,10\sigma$	$0,22\sigma$	$0,35\sigma$	$0,51\sigma$	$0,69\sigma$	$0,91\sigma$	$1,20\sigma$	$1,60\sigma$	$2,30\sigma$
$\mathcal{N}(\mu, \sigma)(\mu \pm)$	$-1,28\sigma$	$-0,84\sigma$	$-0,52\sigma$	$-0,25\sigma$	$0(\mu)$	$0,25\sigma$	$0,52\sigma$	$0,84\sigma$	$1,28\sigma$

## 4 Simulations de lois à densité (Tp)

### Exercice 3 (*Manipulations sur la loi exponentielle*)

1. Simuler un échantillon de 100 valeurs de loi  $\mathcal{E}(1)$  en utilisant la commande `grand`
2. Obtenir sa moyenne et son écart-type avec les commandes `mean` et `stdev`.
3. Obtenir son histogramme. Est-il satisfaisant ?
4. Tracer la fonction densité au dessus de l'histogramme.
5. Vérifier empiriquement que le segment  $[0; 3\sigma]$  est un intervalle de fluctuation à  $\simeq 95\%$ .

### Exercice 4 (*Avec des quantiles*)

1. Tester la commande `quart` (*les trois quartiles*) sur des progressions arithmétiques.
2. Que doit retourner la commande `quart(rand(1, 100))` ?
3.
  - a) Que retourne `quart(grand(1, 100, "exp", 1))` ?
  - b) Comment le résultat de `quart(grand(1, 100, "exp", sigma))` dépend-il de `sigma` ?
  - c) Faire la confrontation graphique.

## 4.1 Simulation par la méthode d'inversion

### Proposition 1 (*Méthode d'inversion pour la loi exponentielle*)

Pour une *v.a.* uniforme  $U \hookrightarrow \mathcal{U}[0; 1[$ , la variable  $X = -\ln(U)$  suit la loi exponentielle  $\mathcal{E}(1)$ .

#### Variantes

1. En général, pour simuler  $\mathcal{E}(\lambda)$ , on multiplie donc par  $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ , soit :  $-\frac{1}{\lambda} \ln(U) \hookrightarrow \mathcal{E}(\lambda)$
2. Cette formule vient de la **méthode d'inversion** pour la fonction d'**anti**-répartition.  
L'application à la fonction de répartition donne la formule :  $-\frac{1}{\lambda} \ln(1 - U) \hookrightarrow \mathcal{E}(\lambda)$   
(celle au programme !)

### Exercice 5 (*Simulation par inversion*)

1. Faire un histogramme de la distribution `-log(rand(1, N))`.
2. Tracer la fonction densité de la loi  $\mathcal{E}(1)$ .
3. Confronter graphiquement les quantiles avec une loi exponentielle.

## 4.2 La loi normale et la commande `cdfnor`

La commande `cdfnor` implémente la fonction de répartition (*cumulated distribution function*) de la loi **normale**, soit pour la distribution  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$  la formule

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x \exp \left[ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dx$$

Scilab pense à cette fonction de répartition comme à une relation entre tous les paramètres y intervenant ; soit  $p, x, \mu, \sigma$  et la commande `cdfnor` se propose de calculer l'un quelconque de ces paramètres, les trois autres étant entrés par l'utilisateur.

On s'en servira sous les deux aspects suivants, où `Mean` ( $= \mu$ ) et `Std` ( $= \sigma$ ) sont fixés.

- **Calcul de probabilités** avec la syntaxe

---


$$[P, Q] = \text{cdfnor} ( \text{"PQ"}, X, \text{Mean}, \text{Std} )$$


---

qui retourne deux réels  $P, Q$  représentant respectivement les valeurs respectives des fonction de répartition et d'anti-répartition (*on a donc*  $Q = 1 - P$ ).

- **Calcul de quantiles** avec la syntaxe

---


$$X = \text{cdfnor} ( \text{"X"}, \text{Mean}, \text{Std}, P, Q )$$


---

qui retourne le quantile  $X$  associé à la probabilité  $P = 1 - Q$ .