

## EXERCICES ET PROBLEMES DU CHAPITRE 4

1. La clientèle d'un vétérinaire comprend 650 fermes. Le vétérinaire souhaite estimer la proportion de fermes où des veaux meurent de septicémie. Il s'interroge sur le nombre de fermes à introduire dans l'échantillon pour qu'il soit représentatif : 10 p. cent, soit 65 fermes ? Ou bien seulement 40 fermes car cette maladie est fréquente ?
2. Une enquête descriptive a fourni les résultats suivants :  
Proportion de troupeaux atteints :  $25 \pm 5$  p. cent.  
Quelle est la précision relative ?  
Quelle est la précision absolue ?  
Quel est l'intervalle de confiance ?
3. Une enquête a été conduite dans deux zones A et B. Les résultats obtenus sont les suivants :  
Zone A : proportion de troupeaux atteints :  $50 \pm 10$  p. cent,  
Zone B : proportion de troupeaux atteints :  $10 \pm 5$  p. cent.  
Dans laquelle de ces deux zones les résultats ont-ils la meilleure précision relative ?
4. Dans un troupeau de 51 bovins, on a soumis tous les animaux à un test de dépistage. 15 animaux ont donné un résultat positif, soit 29,41 p. cent des animaux.  
Ce pourcentage vous inspire-t-il un commentaire ?
5. Dans un troupeau de 51 bovins, on a soumis tous les animaux à un test de dépistage. 15 animaux ont donné un résultat positif, soit  $29 \pm 7$  p. cent.  
Cette formulation vous inspire-t-elle un commentaire ?
6. Dans un troupeau d'un peu plus de 400 brebis, on a soumis 110 d'entre elles, tirées au sort, à un test de dépistage. 25 ont fourni une réponse positive. La proportion de brebis à réponse positive est donc de 22,73 p. cent.  
Ce pourcentage vous inspire-t-il un commentaire ?
7. Dans un troupeau de 90 animaux, on souhaite estimer la proportion d'animaux atteints, avec une précision relative de 50 p. cent.  
Combien d'animaux faut-il étudier ? Quels animaux choisir ? Les plus âgés ? Ceux qui sont en stabulation entravée à l'étable plutôt que ceux qui sont en parcs ?
8. A l'aide d'un test de dépistage de sensibilité 100 p. cent, on souhaite détecter 95 p. cent des troupeaux de 100 animaux dont le taux d'atteinte des animaux est  $\geq 10$  p. cent.  
Quel nombre de prélèvements faut-il faire par troupeau ?  
Dans des troupeaux de 300 animaux, quel serait le nombre de prélèvements ?  
Et avec un test de dépistage de sensibilité individuelle 90 p. cent ?
9. Pour une maladie très contagieuse qui, quand elle atteint un troupeau, touche au moins 50 p. cent des animaux, on souhaite, à moindre coût, identifier les troupeaux atteints dans une zone, avec un risque d'erreur de 5 p. cent.  
Quel nombre de prélèvements faire par troupeau ?
10. Dans une zone comprenant 3 000 troupeaux, on souhaite déterminer le pourcentage de troupeaux atteints, avec une précision relative de 20 p. cent. Les informations disponibles indiquent que la proportion de troupeaux atteints devrait être d'au moins 20 p. cent.  
Quel est le nombre de troupeaux à étudier ?
11. Dans cette zone, on a effectué l'enquête en utilisant le nombre de troupeaux défini à la question précédente et en les tirant au sort. Trente-quatre troupeaux se sont révélés atteints, soit 10 p. cent des troupeaux.  
Le résultat obtenu étant nettement inférieur à celui attendu, convient-il de faire une nouvelle enquête ?

**12.** Dans une zone comprenant 20 000 troupeaux, on souhaite estimer la proportion de troupeaux atteints, avec une précision relative de 20 p. cent. Les informations disponibles laissent à penser que la proportion de troupeaux atteints de cette façon est supérieure à 5 p. cent.

- Quel nombre de troupeaux faut-il étudier ?
- Si l'on souhaite détecter, avec un risque de 5 p. cent, les troupeaux dont au moins 10 p. cent des animaux sont atteints, faut-il soumettre au test de dépistage tous les animaux des troupeaux désignés par le sort ?

**13.** Dans une zone comprenant 10 000 troupeaux, on applique un test de dépistage dont la sensibilité « troupeau » est voisine de 100 p. cent. On considérera la zone comme « indemne » si la proportion de troupeaux infectés est inférieure à 1 p. cent.

Quel nombre de troupeaux faut-il contrôler ?

Faudrait-il contrôler le même nombre avec un test de dépistage de sensibilité « troupeau » de 90 p. cent ?

**14.** Dans une zone très faiblement infectée de brucellose bovine, on a utilisé un test de dépistage de la brucellose ayant une sensibilité individuelle de 98 p. cent et une spécificité individuelle de 99,80 p. cent.

Par tirage au sort, on a défini des élevages de bovins laitiers et des élevages de bovins allaitants de façon à avoir la même précision relative pour ces deux groupes. Tous les animaux de plus de 12 mois de 1 000 troupeaux laitiers (30 000 animaux) et de 500 troupeaux allaitants (25 000 animaux) ont été soumis au test de dépistage.

Des réponses positives ont été obtenues dans 60 troupeaux laitiers et 50 troupeaux allaitants. Certaines de ces réponses sont sans doute non spécifiques (on considérera que les réponses non spécifiques ne sont pas groupées par troupeau).

- a. Exprimer les résultats de cette enquête.
- b. La différence des pourcentages d'élevages laitiers à réponse positive et d'élevages allaitants à réponse positive est-elle significative ?
- c. Peut-on proposer une explication pour la différence des pourcentages d'élevages à réponse positive ?

**15.** Dans le problème ci-dessous, il vous est proposé, à plusieurs reprises, un choix entre diverses réponses, chacune affectée d'un numéro situé à droite de la réponse choisie (en italique, grasses). Vous vous reporterez alors au numéro choisi (gras, caractères normaux) et vous cheminerez ainsi au sein du problème en fonction de vos choix. Si vous avez besoin de retourner à la question précédente, son numéro se trouve entre parenthèses à gauche.

Il s'agit d'un département dont les principales caractéristiques d'élevage et sanitaires sont les suivantes :

- Nombre total de troupeaux bovins : 10 000  
dont troupeaux laitiers : 8 000  
allaitants : 2 000
- Nombre total de bovins : 420 000  
laitiers : 320 000  
allaitants : 100 000
- Statistiques réunies par le GDS départemental sur une maladie des bovins, la maladie des muqueuses, dont l'expression clinique est plus rare que l'infection inapparente :  
Foyers cliniques identifiés l'année dernière (N) : 14  
l'année précédente (N-1) : 11  
l'année N-2 : 8

Le GDS départemental est préoccupé par cette situation et vous demande conseil :

*« Nous sommes inquiets du développement de cette épizootie et nous aimerions bien connaître la situation réelle de cette maladie dans le département. »*

1. Effectivement, il s'agit d'une épizootie et il convient d'organiser rapidement les mesures de lutte..... **12**
2. En fait, c'est une anazootie et il convient de déterminer la source des foyers..... **8**

3. C'est plutôt une enzootie..... **14**
4. Ça ressemble à une épidémie, et il faudrait faire une enquête d'épidémiologie analytique..... **10**
- (18) 5. Avez-vous une idée du coût d'une telle enquête ?  
 Quel serait l'intérêt d'une enquête aussi lourde et aussi coûteuse ?  
 Non, il est plus simple, plus économique, et néanmoins satisfaisant, de procéder autrement.
- (18) 6 Ceci permettrait de connaître parfaitement la situation de l'infection dans ce canton, mais il peut exister des situations différentes d'un canton à l'autre et il serait hasardeux d'extrapoler le résultat obtenu à l'ensemble du département.
- (18) 7 Il y a là un risque important que l'image obtenue sur des « volontaires » ne corresponde pas correctement à la réalité de la situation pour l'ensemble du département (éleveurs volontaires plus dynamiques, plus performants, appliquant plus correctement les règles d'hygiène, *etc.*).
- (2) 8 Pourquoi dites-vous qu'il s'agit d'une anazootie ? Vous confondez peut-être ce mot avec un autre ? Quant à « déterminer la source des foyers », ce n'est pas très facile et ça ne répond pas au souhait du GDS départemental.
- (18) 9 En effet, avant de se lancer dans une enquête, il est indispensable d'avoir une idée très claire des besoins justifiant une telle enquête. Il faudrait donc faire préciser par les responsables du GDS si ce qui les intéresse correspond :
- à l'ensemble des troupeaux (laitiers et allaitants) ou à une seule catégorie ;
  - à la proportion moyenne de troupeaux infectés dans le département ou à l'établissement de différences éventuelles dans des zones du département ;
  - à la proportion de troupeaux infectés, quel que soit le taux d'animaux à sérologie positive dans le troupeau, ou bien des troupeaux les plus infectés (par exemple, plus de 20 p. cent des animaux du troupeau).
- La réponse obtenue est : proportion moyenne de troupeaux, laitiers ou allaitants, à sérologie positive dans le département, quel que soit le niveau ou le pourcentage d'animaux à sérologie positive par troupeau.
- Pour répondre à ce besoin, la représentativité de l'échantillon peut être obtenue grâce :
- à un nombre suffisant de troupeaux dans l'échantillon, à savoir  $\geq 10$  p. cent de la population..... **13**
  - à un tirage au sort des troupeaux au sein de la liste des adhérents du GDS..... **15**
  - à un tirage au sort d'un troupeau dans chaque commune du département..... **21**
- (4) 10 En langue française, le terme « épidémie » est habituellement réservé à des maladies se développant chez l'Homme (en anglais, on utilise le terme « epidemic » aussi bien pour les maladies humaines qu'animales), et on emploie le terme « épizootie » pour des maladies animales. Mais, ici, s'agit-il d'une épizootie ? Et est-ce bien une enquête « analytique » qui permettra de répondre à la demande du GDS : « connaître la situation réelle de cette maladie dans le département » ?
- (14) 11 OUI.
- Il vaudrait mieux déterminer la prévalence annuelle de troupeaux infectés..... **20**
  - Il vaudrait mieux déterminer la prévalence instantanée de troupeaux infectés..... **18**
- (1) 12 L'évolution du nombre annuel de foyers identifiés de maladie des muqueuses : 8, 11, 14 traduit, peut-être, une tendance à l'augmentation (si la même attention est portée, au cours du temps, par les éleveurs, par les vétérinaires, par le(s) laboratoire(s) recevant les prélèvements

à analyser...) mais ne peut certainement pas être qualifiée d'épizootie. Quant à « organiser rapidement les mesures de lutte », il faut peut être, d'abord, mieux connaître l'état de la situation.

- (9) **13** Non, la représentativité d'un échantillon n'est pas garantie par le nombre d'unités dans l'échantillon. Rappelez-vous ce qu'a dit si bien le Pr Schwartz.

- (3) **14** OUI, c'est plutôt une situation de type enzootique.

On ne peut sans doute pas attacher trop d'importance aux nombres de foyers cliniques identifiés. On ne sait, en effet, pas quels sont les critères d'identification des foyers (sérologie positive et/ou isolement du virus à partir d'animaux malades ?) ni si l'attention des vétérinaires ou les moyens des laboratoires n'ont pas évolué au cours des trois dernières années.

De plus, les foyers cliniques, dans cette maladie, ne sont que le sommet de l'iceberg et la situation réelle d'infection des troupeaux de ce département par le virus peut être très différente de ce que les foyers identifiés révèlent.

Pour répondre à la demande du GDS départemental, vous pensez :

- qu'il faut déterminer l'incidence de la maladie dans le département..... **16**
- qu'il faut mettre en place une démarche d'épidémiologie descriptive..... **19**
- qu'il faut évaluer la prévalence des troupeaux infectés..... **11**
- qu'il faut faire une enquête cas/témoins..... **23**

- (9) **15** OUI ; dans l'idéal, ce tirage au sort devrait se faire au sein de la liste de la totalité des élevages et pas seulement de ceux ayant adhéré au GDS.

Afin de définir le nombre d'élevages à introduire dans l'échantillon, j'ai besoin :

- d'avoir une idée du degré de précision du résultat, attendu par le GDS..... **22**
- de connaître l'ordre de grandeur du taux de prévalence à déterminer..... **24**
- de connaître le nombre de troupeaux dans le département ..... **26**
- de connaître les trois informations ci-dessus..... **25**
- uniquement de la précision absolue du résultat, souhaitée par le GDS..... **27**

- (14) **16** Déterminer l'incidence de la maladie dans le département peut être intéressant, mais ne renseignerait que sur les nouveaux foyers (de maladie ou d'infection). Or, ce que souhaite le GDS c'est avoir une idée de la situation globale, c'est-à-dire de la proportion de troupeaux infectés (ou ayant été infectés) et non pas seulement de ceux qui viennent de s'infecter. Par ailleurs, c'est plus long (et donc plus coûteux) de déterminer l'incidence, car il faut suivre les élevages pour voir apparaître les foyers (cliniques et/ou d'infection) alors que la détermination de la prévalence peut se faire à l'aide d'un seul passage.

- (25) **17** NON.

- (11) **18** OUI. En fait, il s'agira de la prévalence des troupeaux infectés pendant la période nécessaire à la réalisation de l'enquête.

Pour cette dernière, vous recommandez au GDS :

- de faire une enquête exhaustive, portant sur l'ensemble des adhérents du département.....

- de faire une enquête sur l'ensemble des adhérents d'un canton tiré au sort..... **6**
  - de faire l'enquête sur les volontaires se manifestant après l'envoi d'une information dans leur Bulletin de liaison..... **7**
  - de préciser la demande..... **9**
- (14) **19** OUI, c'est vrai, mais pouvez-vous être plus précis en choisissant une autre option ?
- (11) **20** Pourquoi pas, mais est-ce bien nécessaire ?
- (9) **21** Le tirage au sort est une bonne idée, mais pourquoi vouloir prendre un troupeau dans chaque commune ? Le nombre de troupeaux par commune est probablement différent (de un ou deux par commune à plusieurs dizaines) et décider, arbitrairement, de prendre un troupeau par commune entraînerait un biais de représentativité au bénéfice des communes avec peu de troupeaux et au détriment de celles ayant beaucoup de troupeaux.
- On peut faire mieux.
- (15) **22** OUI. De la précision absolue ou de la précision relative ?
- Mais, est-ce suffisant ?
- (14) **23** NON, ceci ne répond pas à la demande du GDS.
- Confondriez-vous épidémiologie descriptive et épidémiologie analytique ?
- (15) **24** OUI. Aussi paradoxal que cela puisse paraître. Mais, est-ce suffisant ?
- (15) **25** BRAVO !
- Compte tenu d'informations disponibles, la précision relative souhaitée par le GDS est de l'ordre de 30 p. cent.
- Toutes choses étant égales par ailleurs, une précision souhaitée de 50 p. cent conduirait :
- à augmenter la taille de l'échantillon..... **17**
  - à ne pas modifier la taille de l'échantillon..... **35**
  - à diminuer la taille de l'échantillon..... **36**
- (15) **26** OUI. Mais vous le connaissez (cf. énoncé initial).
- Et, est-ce suffisant ?
- (15) **27** NON.
- (36) **28** NON, pourquoi ?
- Le nombre d'unités a-t-il une influence sur la représentativité de l'échantillon, et donc sur l'exactitude du résultat ? Vous ne le pensez pas sérieusement !
- (36) **29** On ne voit pas bien pourquoi.
- L'augmentation du nombre d'unités ne peut qu'augmenter la précision, sans modifier l'exactitude du résultat.
- (43) **30** OUI, c'est incontestable.
- En ce qui concerne les résultats pour le département, la précision absolue obtenue est :
- $$2\sqrt{\frac{pq}{n}} = 2\sqrt{\frac{0,4 \times 0,6}{200}} = 6,9 \text{ p. cent}$$
- Par suite, on peut dire que :
- le pourcentage de troupeaux à réponse sérologique positive en maladie des muqueuses dans ce département est compris entre 33,1 p. cent ( $40 - 6,9 = 33,1$ ) et 46,9 p. cent ( $40 + 6,9 = 46,9$ ), avec un risque d'erreur de 5 p. cent..... **42**

	• on ne peut pas avoir confiance dans les résultats obtenus parce que la précision absolue (6,9 p. cent) est nettement plus faible que la précision attendue (30 p. cent).....	40
	• on ne peut pas avoir confiance dans les résultats obtenus, parce que la prévalence obtenue (de l'ordre de 40 p. cent) est nettement supérieure à la prévalence attendue (20 p. cent).....	41
(43)	<b>31</b> NON, on ne peut pas tirer cette conclusion. Il est impossible de connaître exactement le pourcentage de troupeaux à réponse positive dans le département (sauf à tous les étudier !).	
(43)	<b>32</b> Il faut rester prudent sur cette affirmation pour plusieurs raisons :	
	• il y est question d'infection alors que la réponse recherchée (les anticorps) n'est que le témoin d'une infection passée ou présente ;	
	• le mode de dépistage dans les deux catégories de troupeaux n'est pas le même (laits de mélange, sérums de 50 p. cent des animaux) ;	
	• il faut tenir compte des fluctuations d'échantillonnage.	
(42)	<b>33</b> BRAVO. D'après les résultats obtenus sur l'échantillon, la proportion d'élevages laitiers à résultats positifs dans le département serait comprise entre 38,4 p. cent et 54,5 p. cent ( $46,4 \pm 8,1$ p. cent) et pour les élevages allaitants, entre 8,9 p. cent et 31,9 p. cent ( $20,4 \pm 11,5$ p. cent).	
	Un test de $\chi^2$ fournit la valeur de 11,2 (1ddl).	
	• On ne peut pas conclure car la valeur trouvée pour le $\chi^2$ (11,2) est supérieure à celle correspondant à l'hypothèse nulle (3,84).....	39
	• On ne peut pas conclure parce que les fourchettes ne se recoupent pas.....	45
	• On peut considérer que dans ce département les élevages allaitants fournissent moins de réponses positives que les élevages laitiers, dans les conditions de dépistage utilisées.....	44
(42)	<b>34</b> OUI, c'est vrai. Mais est-ce la seule raison !	
(25)	<b>35</b> NON.	
(25)	<b>36</b> OUI, bien sûr.	
	Compte tenu d'informations en provenance d'autres départements, le pourcentage de troupeaux à sérologie positive a très peu de chances d'être inférieur à 20.	
	Pour un département comportant 10 000 troupeaux, une précision relative de 30 p. cent et une prévalence minimale de 20 p. cent, le tableau 4.2, indique un nombre de troupeaux de 171.	
	Les responsables du GDS décident de tirer au sort 200 troupeaux parmi leurs adhérents.	
	Ce faisant,	
	• ils prennent le risque de surestimer la prévalence réelle.....	28
	• ils prennent le risque de sous-estimer la prévalence réelle.....	29
	• ils ne prennent pas de risque relatif à la prévalence, mais augmentent le coût de l'enquête.....	43
(42)	<b>37</b> OUI, c'est vrai. Mais est-ce la seule raison ?	
(42)	<b>38</b> NON, méfiez-vous, plus le nombre est faible, plus la précision relative est importante.	
(33)	<b>39</b> NON. Revoyez l'interprétation d'un test de $\chi^2$ .	
(30)	<b>40</b> NON. On ne peut pas comparer deux précisions de nature différente : une précision absolue (6,9 p. cent) et une précision relative (la précision attendue : 30 p. cent).	
(30)	<b>41</b> NON. Peu importe si la prévalence obtenue est supérieure à celle attendue. Les résultats	

obtenus ne sont pas faux parce que différents de ceux attendus (à la condition que le protocole soit satisfaisant). Cela signifie que l'on s'est trompé dans l'estimation des résultats attendus (ou que la prévalence a été volontairement sous-estimée afin d'avoir plutôt un excès de précision qu'une insuffisance).

- (30) 42 OUI. La précision relative de ce résultat est de :  $6,9/40 = 17,2$  p. cent.
- Cette précision relative est meilleure que celle souhaitée (30 p. cent) parce que le nombre de troupeaux étudiés a été augmenté..... 34
  - Cette précision relative est meilleure que celle souhaitée (30 p. cent) parce que la prévalence des réponses positives est supérieure à celle attendue..... 37
  - Cette précision relative est meilleure que celle souhaitée (30 p. cent) pour les deux raisons citées ci-dessus..... 33
  - Cette précision relative est plus faible que celle souhaitée (30 p. cent)..... 38
- (36) 43 OUI, c'est le seul inconvénient, et il entraîne une précision supérieure à celle attendue (s'il n'y a pas de surestimation de la prévalence réelle).
- Sur les 200 troupeaux tirés au sort, 151 sont laitiers et 49 allaitants.
- Pour les laitiers, un prélèvement de lait de tank est soumis à un test ELISA maladie des muqueuses et pour les allaitants, des prélèvements de sang faits sur 50 p. cent des animaux de chaque troupeau (tirage au sort) sont soumis à ce même test.
- Sur les 151 laits de mélange, 70 ont fourni une réponse positive. Sur les 49 élevages allaitants, 10 ont fourni une ou plusieurs réponses positives.
- On peut en conclure :
- que 40 p. cent (80/200) des élevages de l'échantillon ont fourni une réponse positive..... 30
  - que, dans le département, le pourcentage de troupeaux à réponse positive est de 40..... 31
  - que, dans ce département, les élevages allaitants sont moins infectés que les élevages laitiers..... 32
- (33) 44 OUI, il est possible de rejeter l'hypothèse nulle, c'est-à-dire l'absence de différence entre les pourcentages de réponses positives dans les troupeaux allaitants et dans les troupeaux laitiers.
- (33) 45 NON, c'est exactement le contraire.



☺ Si vous avez atteint la fin du chemin sans une seule erreur, c'est **très bien** !

☺ Si vous vous êtes trompé(e) une seule fois, c'est **bien**.

☺ Si vous vous êtes trompé(e) plusieurs fois, vous avez bien fait de faire cet exercice : vous en aviez besoin !