

THE DEVELOPMENT AND EVALUATION OF FRENCH  
LANGUAGE INSTRUCTIONAL MATERIALS

A Practicum  
Presented to  
the Faculty of Graduate Studies  
University of Manitoba

In Partial Fulfillment  
of the Requirements for the Degree  
Master of Education

by  
Léonard Paul Rivard

February, 1983

THE DEVELOPMENT AND EVALUATION OF FRENCH  
LANGUAGE INSTRUCTIONAL MATERIALS

BY

LEONARD PAUL RIVARD

A practicum submitted to the Faculty of Graduate Studies  
of the University of Manitoba in partial fulfillment of the  
requirements of the degree of

MASTER OF EDUCATION

© 1983

Permission has been granted to the LIBRARY OF THE UNIVERSITY  
OF MANITOBA to lend or sell copies of this practicum, to  
the NATIONAL LIBRARY OF CANADA to microfilm this practicum  
and to lend or sell copies of the film, and UNIVERSITY MICRO-  
FILMS to publish an abstract of this practicum.

The author reserves other publication rights, and neither  
the practicum nor extensive extracts from it may be printed  
or otherwise reproduced without the author's permission.

A Practicum

Completed under the Auspices of  
the Bureau de l'Education française

Department of Education

Province of Manitoba

©1983

Léonard Paul Rivard

ALL RIGHTS RESERVED

## ABSTRACT

### THE DEVELOPMENT AND EVALUATION OF FRENCH LANGUAGE INSTRUCTIONAL MATERIALS

Léonard Paul Rivard

Two instructional modules were developed to resolve the problem of lack of suitable French-language materials for certain topics in a grade ten science curriculum. These modules were La terre: astre vivant on the topic of earth science, and L'écologie boréale on winter ecology.

The completed modules were evaluated by four separate panels involving two categories of expert judges: six subject area specialists, and six teachers. The specialists' questionnaire included basic questions about the content, while the teacher questionnaire addressed the issues of content, instructional strategies, conceptual and reading level, and adaptability to various instructional situations. Readability was further evaluated using the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Formula, the Georges Henry three-variable formula, and cloze data obtained from a representative sample of students.

On the basis of the results obtained from the expert panels, it was recommended that minor content inaccuracies and conceptual flaws in both modules should be corrected. Further, La terre: astre vivant should be reorganized to feature the latter chapters, and the revised edition employed with grade eleven or twelve students. Finally, a field tryout and individual testing of L'écologie boréale should be conducted to determine which activities are inappropriate or logistically difficult, and also which sections are conceptually difficult.

The results of the readability study suggested that the three methods differ importantly in their assessment of readability. Also, the two formulas were considered inadequate in their ability to predict the readability of materials. Despite these limitations, the overall results showed that La terre: astre vivant is at an appropriate reading level, while L'écologie boréale varies considerably throughout the text. On the basis of these findings, it was recommended that La terre: astre vivant be considered suitable instructional material for grade ten students, while further study be conducted to assess the variability in reading level throughout L'écologie boréale.

## TABLE OF CONTENTS

	Page
TABLE OF CONTENTS . . . . .	i
LIST OF TABLES . . . . .	v
LIST OF FIGURES . . . . .	vii
ACKNOWLEDGEMENTS . . . . .	viii
 CHAPTER	
I Rationale for the Study . . . . .	1
Problem of Lack of Materials . . . . .	1
Problem of Inadequate Development of Materials . . . . .	3
Problem of Readability . . . . .	4
Summary . . . . .	5
II Review of the Literature . . . . .	6
Evaluation of Instructional Materials . . . . .	6
Definition . . . . .	6
Models . . . . .	7
Expert Opinion . . . . .	8
Evaluation of Readability . . . . .	9
Reading . . . . .	9
Readability . . . . .	11
Introduction . . . . .	11
Science Textbooks and Goals . . . . .	13
Readability Formulas . . . . .	15
Introduction . . . . .	15
Validation . . . . .	16
Flesch Formula . . . . .	18
Dale-Chall Formula . . . . .	18
Use in the French Language . . . . .	19

	Page
Cloze Procedure . . . . .	22
Introduction . . . . .	22
Measure of Readability . . . . .	24
Open-ended vs. Multiple-choice . . . . .	24
Standard Procedure . . . . .	25
Deletion . . . . .	25
Cueing . . . . .	29
Scoring . . . . .	30
Performance Criteria . . . . .	32
Validity and Reliability . . . . .	35
Summary . . . . .	37
III Instructional Materials . . . . .	38
Instructional Design . . . . .	38
Emphases . . . . .	38
Definition . . . . .	39
Development . . . . .	39
Evaluation . . . . .	40
Inquiry and the Specification of Design . . . . .	40
Science Education . . . . .	40
The Textbook . . . . .	42
Creativity . . . . .	43
The Modules . . . . .	43
<u>La terre: astre vivant</u> . . . . .	44
<u>L'écologie boréale</u> . . . . .	174
Summary . . . . .	307
IV Evaluation of Substance . . . . .	308
The Expert Panel . . . . .	308
Methodology . . . . .	310
Procedures . . . . .	310
Instrumentation . . . . .	311

	Page
Results . . . . .	312
<u>La terre: astre vivant</u> . . . . .	312
Subject Area Specialists . . . . .	316
Teachers . . . . .	320
<u>L'écologie boréale</u> . . . . .	320
Subject Area Specialists . . . . .	323
Teachers . . . . .	327
Review of Results . . . . .	327
<u>La terre: astre vivant</u> . . . . .	328
Content Characteristics . . . . .	328
Instructional Strategies . . . . .	328
Match Between Materials and Students . . . . .	328
Instructional Feasibility . . . . .	329
Viability . . . . .	329
<u>L'écologie boréale</u> . . . . .	329
Content Characteristics . . . . .	329
Instructional Strategies . . . . .	330
Match Between Materials and Students . . . . .	330
Instructional Feasibility . . . . .	331
Viability . . . . .	331
Recommendations . . . . .	332
Summary . . . . .	333
V Evaluation of Readability . . . . .	335
Introduction . . . . .	335
Research Questions . . . . .	335
Selection of Passages and Materials . . . . .	336
The Flesch-DeLandsheere Formula . . . . .	340
Instrumentation . . . . .	340
Results . . . . .	341
Review of Results . . . . .	344
Question One . . . . .	344
Question Two . . . . .	344



	Page
The Georges Henry Formula . . . . .	348
Instrumentation . . . . .	348
Results . . . . .	349
Review of Results . . . . .	352
Question One . . . . .	352
Question Two . . . . .	353
Cloze Procedure . . . . .	357
Procedure . . . . .	358
The Cloze Passage . . . . .	358
Description of Materials . . . . .	359
Scoring . . . . .	359
Test Administration . . . . .	359
Directions . . . . .	360
Sample . . . . .	361
Results . . . . .	361
Review of Results . . . . .	363
Primary Question . . . . .	363
Secondary Question . . . . .	374
Conclusions . . . . .	381
Recommendations . . . . .	383
Summary . . . . .	383
Areas for Further Research . . . . .	384
BIBLIOGRAPHY . . . . .	385
APPENDIX A Evaluation by Experts . . . . .	394
APPENDIX B Expert Comments . . . . .	405
APPENDIX C Cloze Procedure . . . . .	420

## LIST OF TABLES

	Page
Table 1. Passage Performance Criteria for the Cloze Test . . . . .	33
Table 2. The Number of Experts in Each Panel . . . . .	309
Table 3. The Range and Means of Subject Area Specialist Ratings of <i>La terre: astre vivant</i> . . . . .	313
Table 4. The Range and Means of Teacher Ratings of <i>La terre: astre vivant</i> . . . . .	317
Table 5. The Range and Means of Subject Area Specialist Ratings of <i>L'écologie boréale</i> . . . . .	321
Table 6. The Range and Means of Teacher Ratings of <i>L'écologie boréale</i> . . . . .	324
Table 7. The Publication Data and Instructional Level of the Alternate Materials in Earth Science and Ecology . . . . .	337
Table 8. Passage Descriptions . . . . .	338
Table 9. Sentence Length, Syllable Count, and Reading Ease Score Using the Flesch-DeLandsheere Formula Over the 20 Passages . . . . .	342
Table 10. Scale of Difficulty Based on Flesch-DeLandsheere Reading Ease Scores . . . . .	343
Table 11. Flesch-DeLandsheere Reading Ease Scores of the Most Difficult and the Easiest Passages . . . . .	345
Table 12. Rank Order of Text Difficulty for Each Topic on the Basis of Mean Reading Ease Score Using the Flesch- DeLandsheere Formula . . . . .	347
Table 13. Sentence Length, Number of Words Absent from Gougenheim's List, and the Readability Score Using Henry's Formula Over the 20 Passages . . . . .	350
Table 14. Rank Order of the Most Difficult and the Easiest Passages Based on Cloze Score Estimates Using Henry's Readability Formula . . . . .	354

	Page
Table 15. Rank Order of Text Difficulty for Each Topic on the Basis of Mean Cloze Score Predicted by the Georges Henry Formula . . . . .	356
Table 16. Summary of Students, Means, Standard Deviation, and Range for Each of the Cloze Passages . . . . .	362
Table 17. Rank Order of the Most Difficult and the Easiest Passages Based on the Results of Cloze Tests . . . . .	364
Table 18. The Distribution of Difficulty of the Passages for Grade Ten Franco-Manitoban Students . . . . .	367
Table 19. The Overall Literacy Rate of Grade Ten Franco-Manitoban Students with Respect to Various Texts . . . . .	371
Table 20. Rank Order of Texts on the Basis of Difficulty Using Overall Literacy Rate and Mean Cloze Score as Criteria	373
Table 21. Comparison of the Rank Order of Difficulty of Eight Different Texts Using the Flesch-DeLandsheere and Henry Readability Formulas and the Cloze Procedure . .	375
Table 22. Comparison of Three Methods of Determining Readability on the Basis of Number of Passages Judged to be Suitable, Most Difficult, or Easiest . . . . .	377
Table 23. The Difference Between Predicted and Measured Cloze Scores for Each of the Passages . . . . .	379

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1. Comparison of Mean Ratings of the Teacher Panel Evaluating <u><i>L'écologie boréale</i></u> . . . . .	330

## ACKNOWLEDGEMENTS

The writer wishes to express his sincere appreciation to all those who have made this study possible: to Dr. Kenneth Slentz for his guidance and assistance from the inception of the project to its conclusion; to the Bureau de l'Education française, particularly Dr. Ronald Duhamel and Mr. Guy Roy for their support and encouragement throughout the study period; and finally to Mr. Raymond Théberge for his interest and constructive criticism during the writing phase of the report. Their respective contributions assured the successful completion of the study.

Appreciation is also expressed to all of the participants for their important contributions in the realization of this study: the panel experts, both teachers and subject area specialists, who gave so generously of their time to evaluate the modules; the principals for their complete cooperation prior to and during the administration of the tests; and finally to the students for the conscientious manner in which they completed the tests. Without the collaboration of all these people, this study would have been impossible.

Finally, special thanks are extended to the secretaries, Miss Jeannette Perrin and Miss Gisèle Damphousse for their substantial contribution in the typing of the documents.

## CHAPTER ONE

### Rationale for the Study

The systematic development and evaluation of instructional materials in education has, until quite recently, been woefully neglected. The main purpose of this practicum was the systematic development and evaluation of French-language instructional materials for use by Manitoba students. The practicum essentially consisted of three major components. In the following pages, the rationale underlying each of the components listed below has been described:

1. the development of the instructional materials (*La terre: astre vivant*) and (*L'écologie boréale*);
2. the general evaluation of the instructional materials; and
3. the specific evaluation of the readability of these instructional materials.

#### Problem of Lack of Materials

The curriculum committee for Sciences naturelles: secondaire had already identified appropriate English-language materials which could be translated and easily incorporated into the Sciences générales 101, 201, 301 program of study. These materials, or instructional modules, were mostly taken from the Individualized Science Instructional System (ISIS) developed by Florida State University. For two of the topics, instructional objectives had been described in the interim curriculum guide, however appropriate commercial instructional materials were virtually non-existent.

The first topic for which commercial materials were lacking was in the field of earth science. General principles in earth science were described, and the theory of plate tectonics was explicated. The intent of this curriculum proposal was to familiarize the student with the most important concept in modern geology. Aschenbach of the National Geographic Society (1982:64) hailed plate tectonics as "geology's equivalent of Darwin's theory of evolution and Einstein's theory of relativity."

French-language materials on the topic of plate tectonics were not abundant. Two textbooks, *Sciences naturelles 3<sup>e</sup>*, (Brun-Cottan, Debrune et Debrune, 1980) and *Sciences naturelles 4<sup>e</sup>*, (Brun-Cottan, Debrune, Debrune, Viennet & Brun-Cottan, 1979), both published in France by Librairie Belin, presented the key ideas underlying this theory, nonetheless their treatment of the topic was somewhat superficial. One textbook published by Macmillan of Canada, *Geographie physique* by Smythe, Brown, Fors & Lord (1979), developed this concept adequately, but its approach was not congruous with our curriculum proposal which recommended a process-oriented approach. On the other hand, many English-language textbooks were currently available in the area of earth science. Despite this abundance of materials, no single textbook examined by the committee was deemed sufficiently complete, permitting its translation and inclusion into the program without extensive modification.

The second topic developed the theme of boreal ecology. The intent of the curriculum proposal is the teaching of ecology within the Canadian winter context. This study was deemed relevant at the time because of society's efforts to exploit the vast resources of Canada's Arctic. Very

little instructional material exists on the topic of boreal ecology in either language, English or French. *Winter Investigations: Teacher Resource Manual* by Phillips and Watson (1977) certainly contained many worthwhile ideas. However, the overall design does not really accommodate its instructional use by students. Although *Neige et glace* by Couchman, MacBean, Stecher & Wentworth (1977) in the series *Etude de ton environnement* was instructionally compatible, it would have been appropriate for elementary students only. Other publications were available on this topic, but they were generally in the realm of books, journals, and periodicals written for research scientists.

Given the problem of lack of suitable instructional materials in the French language, this writer designed, translated, adapted, and developed materials in a manner congruent with the objectives and methodology expressed in the Sciences générales 101, 201, 301 interim curriculum guide. The topics addressed by these instructional materials included: (1) earth science with particular emphasis on plate tectonics; and (2) boreal ecology.

#### Problems of Inadequate Development of Materials

It is virtually certain that few of the instructional materials in current use in Manitoba schools have been subjected to rigorous evaluation procedures during their development. Komoski (1971), President of the Educational Products Information Exchange Institute (E.P.I.E.), appearing before a Select Subcommittee on Education stated that no more than one percent of all known textbooks on the market at that time had undergone systematic evaluation procedures during their development phase.



Komoski (1974) further showed the gravity of this situation in his estimate that the instructional products market (i.e., textbooks, filmstrips, transparencies, etc.) had increased roughly 2000% from 1954 to 1974 yielding a total number of 400,000 product options. Despite this significant increase, developers and publishers were still not yet systematically evaluating more than one percent of these products. The situation has not really been much better with respect to French-language instructional materials.

Beauchamp (1979) cited a study conducted at the Université de Montréal by Bordeleau et al. (1978-79) which concluded that less than five percent of all instructional materials, either used by Quebec schools or developed by Quebec publishers, had undergone evaluation procedures of any kind. Since Manitoba schools continue to employ many textbooks developed in Quebec, educators here should be particularly concerned about the adequacy of instructional materials in the French language.

Given the problem of inadequate development of instructional materials, the following characteristics were evaluated: (1) content, (2) instructional strategies, and (3) readability.

#### Problem of Readability

Content and teaching strategies were obvious choices in the evaluation of instructional materials. The question of readability, however, is generally overlooked, or haphazardly dealt with at best. Many studies have suggested that the readability of textbooks should be of major concern to educators.

Studies by Renaud (1982), Kirkwood and Wolfe (1980), and many others

have all shown that a definite mismatch exists between the reading ability of students and the readability levels of their textbooks. Furthermore of all the school disciplines, science has been particularly susceptible to criticism on the issue of textbook readability. Studies by Wright (1982), Johnson (1979), Gould (1977), and many others have all demonstrated that the readability of the science textbook is a problem for a significant proportion of students.

Given the problem of poor readability of science textbooks, the readability level of the instructional materials was evaluated by using the:

1. Flesch-DeLandsheere readability formula;
2. Georges Henry readability formula;
3. Cloze procedure with a representative sample of Manitoba grade ten students.

#### Summary

To resolve the problem of the lack of suitable French language materials for certain topics in a grade ten science curriculum, two instructional modules were developed: La terre: astre vivant on earth science; and L'écologie boréale on ecology within the Canadian winter context.

To resolve the problem of inadequate development of instructional materials, the writer evaluated the content, instructional strategies, and readability of these same materials.

To determine if the readability level of the module was appropriate for grade ten students, two formulas specifically adapted for use in the French language, and cloze tests were employed.

## CHAPTER TWO

### Review of the Literature

As indicated in the introduction, this study essentially consisted of two basic components: the development of instructional materials, and their subsequent evaluation. A brief review of the literature on the development of instructional material (i.e., instructional design theory) has been included in the next chapter. In the present chapter, pertinent writings on the evaluation of instructional materials generally, and readability in particular, have been reviewed.

#### Evaluation of Instructional Materials

##### Definition

Evaluation has been defined as "the process of determining the value or worth of a process or product (Sanders and Cunningham, 1973:217)." According to this view, the evaluator is primarily concerned with establishing the merit of something at a fixed point in time. Although a modification of the process or the product may appear desirable as a consequence of the evaluative activity, this view does not oblige the change.

Other authors (Cronbach, 1963; Stufflebeam, 1971; Alkin, 1973) have suggested that evaluation should be tied to specific decision-making objectives. These authors contend that it is not the evaluation activity itself that is important, but rather the decisions that are its logical consequence. In this vein, Alkin has argued that the evaluation role must be "framed by the decision context (Baker and Alkin, 1973:403)."

This view implies that evaluation must be specifically designed so as to generate information which will facilitate decision-making with regard to a particular product or process. For example, the evaluation of instructional materials during the developmental period must be framed by concerns about appropriate revisions. Once the development of the materials has been deemed satisfactory, the evaluation would shift its focus to concerns about the conditions for optimum use. Various evaluation models have all incorporated this shifting focus mechanism.

### Models

Wiles (1979:54) holds evaluation to be a cyclic process. Wiles has suggested that educational appraisal (i.e., focusing on content, pedagogy, and acceptability), which is the first phase in the process, is followed by editorial review (i.e., focusing on readability, grammar, and clarity of communication), and finally by educational testing (i.e., learner performance data). According to Wiles' model, instructional materials should pass through all three phases before their general adoption by the schools.

Kandaswamy (1980:25) has described a chronological model which incorporates the same basic elements as Wiles' model. The distinguishing features of this model are its linear structure and hierarchical organization, i.e. progressive levels of education testing are systematically employed. For instance, self-evaluation is followed by professional jurying, which is in turn followed by individual testing, group testing, field testing, and extended testing. The evaluation progressively involves a greater number of students and more varied learning situations.

In the preceding evaluation models, both expert opinion and learner

performance data are used in decision-making about the instructional materials. Evaluation based on learner performance data has been referred to by some educational technologists as "Learner Verification and Revision", or LVR (Thiagarajan, 1978). In this approach, the evaluation team uses an experimental or quasi-experimental research design to assess learning, i.e., a pretest-posttest design, a time-series design, etc.. The learner's performance determines the result of the evaluation. However, expert opinion can also supply valid and reliable information for evaluating instructional materials.

#### Expert Opinion

Expert opinion is essentially judgemental data. Stake (1970) has suggested that, despite its inherent 'messiness' or apparent lack of objectivity, expert opinion can make a significant contribution in the evaluation of instructional materials. Thiagarajan (1978:136) has described the roles experts might be expected to assume in the evaluation of instructional materials. There are six different roles:

1. Content expert: Accuracy of the content; relevance of content to the instructional objectives.
2. Language expert: Appropriateness of style of language; suitability of the level of language.
3. Target-population expert: Relevance of the instructional product to needs of learners; potential appeal of product to target population.
4. Media expert: Technical quality of mediated production; visual appeal of graphic materials.
5. Format expert: Suitability of instructional sequence; frequency of questions.
6. Delivery-system expert: Feasibility of using the instructions product in the classroom; potential appeal of product to administrators and teachers.

It is apparent from the preceding remarks that expert opinion can provide valuable insight for the development and revision of instructional

materials.

In the present study, the following characteristics of the instructional modules were evaluated: (1) the content, (2) the instructional strategies, (3) the match between materials and students (appropriateness of language; conceptual level of the text, the questions or the activities; relevance to the needs of the learner), (4) the instructional feasibility (flexibility, interactiveness or potential for student-teacher interaction), and (5) viability (do the materials meet a need for instructional materials in the content area).

Expert-opinion was used to evaluate all but readability. In contrast, readability was assessed using two different methods. Readability formulas, which are essentially derived from learner performance data, were first used to estimate or predict the reading level. Secondly, actual learner performance data in the form of cloze test results were used to measure the readability.

### Evaluation of Readability

#### Reading

Psycholinguistics is the science that fused cognitive-developmental psychology and linguistics for the study of language. The psycholinguistic view has been used by many writers in the field to explain the process of reading (Smith, 1973; Goodman, 1970; Cooper and Petrosky, 1976). Goodman (1970:260) stated the following:

Reading is a selective process. It involves partial use of available minimal language cues selected from perceptual input on the basis of the reader's expectation. As this partial information is processed, tentative decisions are made to be confirmed, rejected, or refined as reading progresses.

The psycholinguistic tradition holds reading to be an "information processing system (Cooper & Petrosky; 1976:185)." The reader interacts dynamically with the written text before him; processing visual orthographic, syntactic and semantic information in his search for meaning. This search for meaning or "reduction of uncertainty" is the prime motivator in reading (Smith, 1973:15).

Cooper and Petrosky described reading as "a highly sophisticated cognitive process" involving various mental strategies, specifically feature analysis, redundancy, and past experience (1976:188). Feature analysis is defined as "the process by which the brain discovers critical differences in visual configurations (Cooper & Petrosky, 1976:188)." Redundancy involves the repetition of orthographic, syntactic or semantic information. A strategy involving redundancy permits the efficient processing of textual information since, through its use, the reader anticipates, samples sparingly, makes predictions, and confirms his predictions from clues in his reading. Dissonance, or unconfirmed predictions, is dealt with by regressing or going back over the preceding text to extract additional information. Goodman hinted at the importance of this strategy in the reading process by describing reading as "a psycholinguistic guessing game (1970: 260)." Past experience refers to the use of prior knowledge and experience in reading. This experiential base is absolutely essential if the reader is to construct meaning from the written text (Campbell, 1980; Smith, 1973). Cooper and Petrosky (1976) view the experiential base of the reader as the frame of reference for the entire reading process.

The following description summarizes the psycholinguistic information-processing model of reading:

1. taking an active role in the reading process;
2. using syntactic, semantic, and orthographic cues to guide his expectations;
3. using past experience and expectations to confirm ongoing predictions;
4. using redundancies in the text to reduce interpretations down to the gist of the article; and
5. using general knowledge to test a hypothesis (Cooper and Petrosky, 1976:190-191).

The psycholinguistic tradition has greatly influenced the study of readability. Bormuth (1966:124) has written that "the organization of psycholinguistics as a discipline provided readability research with a body of basic research and theory." Psycholinguistics has thus served as the conceptual framework for much of the work in readability and cloze research.

### Readability

Introduction. Readability refers to the match or 'goodness of fit' between reader and textbook. Boyce (1974:4) defined readability as the "difficulty level or comprehensibility" of a textbook for a given population of students. This reader-textbook paradigm can be dissected further to reveal the specific factors that influence the reading process. Hittleman (1973:785) in proposing a psycholinguistic definition of readability alluded to these other factors:

Readability is a 'moment' at which time the reader's emotional, cognitive, and linguistic backgrounds interact with each other, with the topic, and with the proposed purposes for doing the reading, and with the author's choice for semantic and syntactic structures.

This psycholinguistic definition implies that readability and reading can be thought of respectively as product and process. This distinction suggests that the concept of readability is really an ill-defined construct,



a dynamic phenomenon which is actively responding to a complex interplay of variables. The variables that have been investigated in this context are many.

Reader variables such as interest and motivation (Fass & Schumacher, 1978; Estes, 1971; Johnson, 1979; Klare, 1976) or personality (Hittleman, 1973) have all been shown to influence readability. As Estes (1971:135) has stated, "how students feel about reading is as important as whether they are able to read." Cognitive traits of the reader (i.e., capacity, and style or orientation), have also been proposed as potential variables in readability (Hittleman, 1973; Wineman, 1971). To date, very little systematic research has been done to clarify the impact of these reader traits on readability. Research efforts have, instead, focused on textbook variables. The textbook or the reading materials itself can be dissected into its component parts for further analysis. Johnson (1979) and Richaudeau (1979) have both described a host of specific factors with regard to the legibility of print that have been found to significantly affect the readability of a text. Furthermore, Hittleman (1973), and Botel and Granowsky (1972) have both suggested that the concept load or difficulty, apart from the actual linguistic complexity of the text, may influence readability. Nonetheless, readability has historically been concerned with linguistic or language variables. Researchers have predominantly focused on two classes of linguistic variables (Hittleman, 1978; Botel and Granowsky, 1972): vocabulary load, i.e., complexity of words as defined in a word list or by word length; and syntactic complexity which is usually defined operationally as sentence length. Other language variables, somewhat more esoteric than

the former, have been described in order to elucidate the process. Georges Henry (1975), for instance, has systematically studied 126 linguistic variables in deriving his readability formula.

Science Textbooks and Goals. Stump (1978:36) has criticized the general disregard for the issue of readability, exclaiming that "educational failure is primarily a linguistic failure." Studies by Janz (1970), Hansen and Hesse (1974), Kirkwood and Wolfe (1980), Kirkwood and Nediger (1981) and Renaud (1982) have all shown that most school textbooks are too difficult for a significant proportion of the students.

Difficult textbooks underlie the reading problem common to all subject areas. Of all the textbooks however, those in science courses have been shown to be unusually difficult for many students. Scientific writing, by its very nature, is foreign to many students. Wright (1982:3) has indicated that "in addition to terse language and a heavy concept load, scientific writing involves technical and difficult vocabulary, complex sentence and paragraph structure, and use of formulas, charts, tables, and graphs." The combination of these different factors makes for difficult reading. Studies by Mallison, Sturm & Patton (1950), Beldon & Lee (1962), Kline (1967), Williams (1968), O'Toole & Bedford (1969), Gilbert (1973), Daus & Daus (1974), Gould (1977), Keenan (1977), Clark (1977), Johnson (1979), Wright (1982), and Hofman and Glass (1982) have all confirmed that science textbooks are unduly difficult for the intended students.

For instance, Beldon and Lee (1962), and Daus and Daus (1974) have both shown that textbooks in biology, chemistry and physics have

readability levels appropriate to the upper 50 percent of the high school population only. Gould (1977) was even more critical, concluding that the biology textbooks commonly used in and around Oxford, England had language suitable to the top 20 percent of students only. Although the problem of readability of science textbooks has been recognized for at least three decades, the evidence suggests that it still has not been adequately resolved given the recent studies by Wright (1982) and Hofman and Glass (1982). What is at stake here is not merely the obvious issue of reading ability, but rather the attainment of important goals in science education.

Recently, educators, scientists and concerned citizens alike have argued for the need to turn out scientifically literate school graduates (Holstein & Yager, 1982; Bybee, 1982; Klopfer, 1981; Aikenhead, 1980; Suzuki, 1980; Hobbs and Erickson, 1980; Page, 1979). One measure of scientific literacy is student achievement in science courses. However, as McWilliams and Rakes (1980:21) have pointed out, "a frequently cited reason for low student achievement in science is the inability of students to read their textbooks." Furthermore, Brandt et al. (1979), Levin and Lindbeck (1979) and Yager (1982) have all shown that in many classrooms the textbook is essentially the entire course of study. It follows that in order to assure the attainment of curriculum goals in science education, it will be necessary for the approved textbooks to be at an appropriate reading level for the students.

## Readability Formulas

Introduction. The study of readability can be conducted using either of two different approaches. One approach has involved the prediction of readability using either a derived formula or expert judgement. The other approach provides an actual measure of readability relative to a definite reference group. Both of these approaches will be initially discussed separately, then the respective advantages and limitations of each will be contrasted.

Expert judgement of reading material by teachers and other specialists can result in the satisfactory prediction of readability. However, because of the large margin of error inherent in this method, many judges are required in order to generate a minimally acceptable prediction. Nonetheless, expert judgement was one of the methods used to establish the validity of readability formulas in the past (Klare, 1974-75). Because of the limitations of using expert judgement, readability formulas have been the preferred method of predicting the reading difficulty of textual material.

Readability formulas encompass linguistic variables assumed to be associated with the reading difficulty. However, the formulas generally do not entirely exhaust the complete list of significant predictive variables. Of all the potential variables available, two basic types have been commonly included in readability formulas: word difficulty and sentence complexity. Word difficulty has usually been operationally defined as the presence or absence from a designated word list, or alternatively by the average word length as measured by a count of syllables.

Sentence complexity, on the other hand, has typically been established by the average sentence length as measured by a word count. Many studies have been conducted to determine the relationship of these variables to reading comprehension. The traditional research design has involved altering a text to make it more readable, then comparing student comprehension on the original and adapted versions relative to the calculated readability indices. Studies have shown that, while neither sentence complexity nor word difficulty independently eased readability, "the simultaneous application of both...appeared to do what neither could do alone (Pearson, 74-75:161)." Until the precise mechanisms are elucidated, readability formulas must continue to be interpreted cautiously.

Validation. Readability formulas predict readability in a statistical sense only. Boyce (1974:6) stated that "formulas may hinder more than help because of their low predictive values and because they make poor guides for adjusting the difficulty of materials." To appreciate the full significance of this comment, it is necessary to understand how readability formulas have traditionally been validated. Formulas have usually been validated with reference to a reading comprehension test. This reading comprehension test has traditionally been, either the multiple-choice type in which the respondent answers questions based on the text, or else the cloze type in which the respondent is presented with a mutilated version of a text, i.e., a text in which words are systematically replaced by blanks. The comprehension test used to derive a particular formula is referred to as its original criterion test. It is administered to a sample of students thought to have the ability to read at various grade levels.

This sample of students is the norm population. The results of this validation process permit the investigator to scale the readability formula.

The validation procedure essentially incorporates two potential sources of error. As Miller (1979:52) has pointed out, "the predictive power of a readability formula is heavily affected by the construct validity of the comprehension test from which it was derived." This means that if the comprehension test is also unintentionally measuring prior knowledge or the intelligence of the respondent, then the predictive ability of the derived readability formula will be seriously hampered. Secondly, the norm population may be unrepresentative of the general target population, or the current textual material sufficiently different from the original material used in the validation study. As Hittleman (1978:118) has suggested, "the formulas may be of dubious value when used with pupils or materials dissimilar to those used in computing the formulas originally." This latter source of error is a conundrum for educators. In order to ensure comparability of pupils or materials, it is essential to have detailed information on the norm population and the criterion test. But, since this information has typically not been included in standard textbooks, most educators assume that a given formula is valid for predicting the readability of any text for any group.

Many authors have discussed the limitations of readability formulas (Maxwell, 1978; Pearson, 1974-75; Klare, 1974-75; Irwin & Davis, 1980; Hittleman, 1978; Davidson and Kantor, 1982; and Parsons, 1981). Ramanauskas (1972:75) has made the point that, even the "more linguistically complex measures...focus upon variables within sentences and do not take into account the interdependencies of sentences within and

between paragraphs." The research has shown that contextual clues beyond the limits of the immediate sentence can influence reading difficulty (Oller, 1979). With the existing capabilities for enhanced computer analysis, it will only be a matter of time before some of these intersentential effects are elucidated. Nonetheless, despite their inherent limitations, readability formulas are still a valuable educational tool because of their capacity for predicting readability. The readability formulas which served as the basis for developing French-language adaptations will be described in the following section:

Flesch Formula. Although Rudolf Flesch's formula was not the first to appear in the literature, its extensive use has certainly been well documented. Flesch's initial formula (1943) was exclusively based on a single criterion, the number of personal references. He later modified this formula to generate two independent indices: Reading Ease and Human Interest. The Reading Ease Index now included the average number of syllables (per 100 words), and the average number of words per sentence in the calculation. Flesch's revised formula is important because it essentially served as the basis for many other derivations. The following were all derived from Flesch's formula (Klare, 1974-75): Gunning's FOG Index (1952), Fry's Readability Formula (1968), McLaughlin's SMOG Grading (1969), and the Dale-Chall Readability Formula (1948).

Dale-Chall Formula: The Dale-Chall Readability Formula is similar to Flesch's revised formula in that it employs the average sentence length. It differs in that it substitutes a word list for the number of syllables per 100 words. This word list, or Dale list, consists of 3000

words and is used to calculate the percentage of words foreign to it. A word list would show a bias with regard to the various content areas because of the specialized terminology unique to each discipline. Of all the content areas, science has certainly been one of the most seriously affected. For instance Yager (1982:331) reported that the "typical... junior high school science textbook includes 2,500 new words, nearly double the number required for a person at the same age attempting to learn a foreign language." Furthermore, since even the most ubiquitous science terms would not likely be on the Dale list, the estimated readability of science textbooks would be unrealistically difficult.

Klare (1974-75) reported some of the pioneering work that was done with regard to the use of the Dale list in evaluating the readability of science textbooks. Brown had found by adding only seven words to the 3,000-word Dale list, that "two science books were given scores two grades lower than before (Klare, 1974-75:71)." Dale's wordlist basically consists of words that are commonly known to 80 percent or more of typical grade four students. Holmquist, using grade four students as his criterion group, was able to identify 102 other science words that merited membership in the Dale list. Klare has described the attempts of others (i.e., Jacobson, Coleman, and Shaw) to develop readability formulas specifically designed for evaluating science textbooks. Readability formulas, in addition to being used across disciplinary boundaries, have also been used across language boundaries.

Use in the French language. Most of the research dealing with readability formulas has been done in English. Nonetheless, since the fifties



work has been underway to develop formulas for the French language. Initial efforts by Kandel and Moles focused on adapting the Flesch Reading Ease Formula. DeLandsheere also employed the Flesch Formula. In his version, though, only the 'rules for counting' and the calibration of the index were changed to adjust for the difficulty of typical French texts. The basic formula remained unchanged (DeLandsheere, 1975).

More recently, Henry (1975) has published a series of French-language formulas that not only take into account the intended target population (i.e., primary, junior high, secondary students), but also the resources available for effecting the readability analysis. The analysis can involve as few as three variables for manual calculations, or as many as eight variables for computer analysis of textual material. Henry's readability formulas are based on extensive research in which 126 original variables were systematically studied and reduced to the eight most significant ones.

Henry's simplest formula can be compared to the Dale-Chall Readability Formula in that it also employs the average sentence length and the number of words absent from a designated list (i.e., Gougenheim's basic French vocabulary). It differs in that it includes a variable for the presence of dialogue.

Since they have both only been developed quite recently (1963 and 1973, respectively), the Flesch-DeLandsheere and Georges Henry formulas have not undergone the same careful psychometric analysis compared with their older English-language counterparts. It is particularly important therefore, that the formulas be carefully scrutinized prior to their use.

This technical analysis generally includes information about validity and reliability.

Validity defines "what may properly be inferred from a test score (A.P.A., 1974:25)." The validity of the Georges Henry formula is reportedly in the range of 0.70 to 0.84 (Henry, 1975:81), while the Flesch-DeLandsheere formula has ranged from 0.50 to 0.70 like most other readability formulas (DeLandsheere, 1978:52). Although validity and reliability are both essential characteristics of a test, there is another which describes the context for using the test. The norms of a test delineate its context.

Norms permit the interpretation of an individual's score by comparison with scores made by other individuals. They provide a point of reference for interpreting the raw score obtained on a test. Their value is entirely dependent upon the manner in which they have been constructed. Norms refer to a clearly defined population (A.P.A., 1974). For instance, both DeLandsheere and Henry had employed Belgian school children as the normative population in calibrating the standards used with their readability formulas. The uncritical use of these formulas with other groups (e.g., Manitoba school children) would not be recommended.

In brief, readability refers to the difficulty level of a textbook for a given target population of students. The study of readability has been greatly influenced by the psycholinguistic view of the reading process. Studies have indicated that science textbooks are frequently inappropriately matched with the intended students. In order to attain the various goals of science education, it will be necessary to ensure an adequate match between textbook and student. Readability formulas, despite their inherent limitations, have often been used to estimate reading

level. Although most of the pioneering research on readability formulas has been conducted in the English language, some French-language adaptations have been reasonably successful. Despite their Belgian norms, the Flesch-DeLandsheere and Georges Henry Formulas will both be used in this present study.

### Cloze Procedure

Introduction. In 1953 Taylor introduced an alternate method of determining readability. This alternative, or cloze procedure, was initially described as:

a method of intercepting a message from a 'transmitter' (writer or speaker), mutilating its language patterns by deleting parts, and so administering it to 'receivers' (readers and listeners) that their attempts to make the patterns whole again potentially yield a considerable number of cloze units (Taylor, 1953:416).

The cloze procedure is based on the psychological theory of closure in which the respondent 'clozes' an incomplete text, i.e., the respondent is required to complete a mutilated passage using available contextual clues. Hanzeli (1977:866) has suggested that the cloze procedure measures "global communicative competence." Oller (1979:346) views the cloze procedure as a general measure of "discourse level processing." Taylor (1953:432) had proposed that the cloze procedure measures "the aggregate of influences of all factors which interact to affect the degree of correspondence between the language patterns of transmitter and receiver." Kirkwood and Nediger (1981:4) have pointed out that the "cloze procedure measures overall concept load and the overall syntactic and semantic processing that must be employed in reading and understanding the passage." These authors

all basically view the cloze procedure as a 'match' between reader and writer (or the written passage), i.e., the reader being asked to match the exact linguistic sequence of the writer. Despite the various assertions about what the cloze procedure actually measures, it still remains poorly understood.

Although deceptive in its apparent simplicity, Bortnick and Lopardo (1974:7) consider the cloze procedure to be "the most psychometrically sound test available." They have argued that, since the instrument is derived from the text in an objective systematic manner, all variance in test construction due to the test writers' biases and peculiarities is thus eliminated. The cloze procedure has been used for a number of different purposes. Bortnick and Lopardo (1976) affirm that the cloze procedure is appropriate for diverse measurement, evaluation, diagnostic and instructional functions. Bickley (1970), Klare et al. (1972), Myers (1976), and Bortnick and Lopardo (1976) have all written on the multiple uses of the cloze procedure. Klare (1974-75) has underlined its importance as a criterion in the development of readability formulas. The cloze procedure has also been used extensively in studies of readability and reading comprehension.

Readability and reading comprehension can be compared to the two sides of a coin: on one side, readability is concerned with the difficulty or comprehensibility of the textual material; on the other side, reading comprehension is concerned with the actual performance of the reader(s). Readability and reading comprehension therefore focus on complimentary components of the matching process between reader and textual materials. Since this study was primarily interested in the question

of readability, reading comprehension has been therefore largely ignored.

Measure of Readability. The use of the cloze procedure for quantitatively establishing the readability of textual materials has been discussed at length by Bormuth (1968, and 1971) and Klare (1974-75). Kirkwood and Wolfe (1980:45) wrote that "open-ended cloze testing has been used to obtain criterion-based indexing of the utility of materials to students." Although the use of the cloze procedure for determining the readability of textual materials is well established, many different procedural formats have been employed. Cunningham and Tierney (1979) have pointed out that these procedural variations require serious consideration by researchers. The following review has therefore focused on the various procedures with the expressed purpose of specifying the cloze test to be used in this study.

Open-ended vs. Multiple-choice. Two fundamentally different types of cloze test have been used in the past: open-ended and multiple-choice. 'Open-ended' means that the words in the mutilated version of the test are replaced by blanks which the respondent independently completes. In the multiple-choice variety, the respondent is given a limited number of alternatives or possible responses for each cloze item. The rationale underlying the multiple-choice (MC) cloze procedure is the psycholinguistic view that an idea or 'meaning' (i.e., deep structure) can be represented through language in different ways (i.e., surface structure). Its proponents have argued that it is unreasonable to expect respondents to replace the exact word given the unlimited possibilities of surface structure.

Presenting respondents with a limited choice of suitable alternatives is therefore considered to be more meaningful. However, the use of the MC cloze procedure also presents serious problems. For instance, there has been a tendency for students obtaining scores well above chance without even reading the test passages. Also, Kirkwood and Wolfe (1980) have argued that the choice of distractors can confound the response task, making some items more or less difficult. Although the MC cloze procedure may be the preferred method in certain instances, the open-ended cloze procedure has been the one traditionally used by researchers.

Standard Procedure. The traditional cloze test has usually included a titled uninterrupted passage of 250 to 300 words previously unread by the students. Typically, 50 cloze blanks are regularly placed throughout the passage. Certain authors (Klare, 1974-75) have recommended the production of alternate versions by systematically 'clozing' every possible word (i.e., one version with words 1, 6, 11...deleted, another with words 2, 7, 12...deleted, etc.). These basic procedural considerations have generally not been disputed. There remain, however, several controversial issues which are still widely debated by cloze investigators.

Deletion. The debate with regard to the cloze procedure has centered on procedural considerations such as deletion, cueing, and scoring. The controversy surrounding deletion can be summarized by four basic questions: (1) How much undeleted lead-in text should precede the first cloze item? (2) What properly constitutes a deletion element (or word)? (3) What is the optimal deletion rate for a given purpose? (4) Is the systematic or the random deletion mode more reliable? No consensus

is found on the question of amount of undeleted lead-in text. As mentioned earlier, Klare (1974-75) recommends 'clozing' every word, therefore at least one version would begin with the first word in the passage. Oller (1979) has indicated that some researchers only begin deleting words in the second sentence. Kirkwood and Wolfe (1980) have initiated deletion with the tenth word in the text passage. Myers (1976) wrote that deletion can commence anywhere in the first sentence after the first word. Suhorsky (1976:3393A), after investigating the relationship between the undeleted text preceding a cloze test and the resulting performance, concluded that "the amount of undeleted text was not significantly related to total cloze test scores." On the related question of the amount of undeleted 'lead-out' text following the cloze test, again no consensus is found among investigators. Klare, Sinaiko and Stolurow (1972) have insisted that the amount of lead-out text probably does not have a significant effect on the overall result.

The notion of what properly constitutes a deletion element can be subdivided into two separate and distinct questions. The first question deals with operationalizing the procedure. Decisions must be made with respect to how various elements will be treated. For example, are numerals, abbreviations, hyphenated words, proper nouns, and contractions all considered acceptable replacements for deleted elements? As Boyce (1974: 14) has pointed out, "there is in fact no research evidence available for guidance" on this issue. Jongasma (1971) has recommended that researchers give their rationale for using a particular procedure. The second question deals with the fundamental issue of the linguistic form of the deletion elements.

Taylor (1957) had investigated various deletion procedures. In one study, he compared the validity and reliability of three separate procedures: (1) the indiscriminate deletion of any linguistic element (standard procedure); (2) the deletion of lexical elements only (e.g., adverbs, adjectives, verbs and nouns); and (3) the deletion of structural elements only (e.g., verb auxiliaries, conjunctions, prepositions, pronouns, and articles). Taylor concluded that the standard procedure was superior in both validity and reliability. Since then, the issue of the linguistic form of the deletion elements has been addressed by many others in the field.

Myers (1976) has suggested that the cloze test should include more lexical than structural deletions. Myers assumes that these lexical elements are more difficult to replace than the structural elements. This assumption is borne out by Hittleman (1973) who compared performance on two cloze tests constructed from the same materials using different deletion procedures: the first one used a systematic every *n*th word deletion procedure, while the second deleted only content words (mostly lexical elements). According to Hittleman (1973:785) "the cloze tests with deleted content words were significantly more difficult than the cloze tests with every *n*th word deleted." Jongasma (1971:25) has stated that the lexical-structural dichotomy "assumes that passages comprising lexical deletions measure the understanding of substantive content, while structural deletions demand an understanding of interrelationships of ideas and are more highly influenced by intelligence." More research will be required in order to resolve this issue. Nonetheless, most researchers



have continued to use systematic deletion procedures in research involving the cloze test.

The systematic deletion of every fifth word has been the approach traditionally utilized by researchers. This approach dates back to Taylor (1953) who had suggested that the simple mechanical deletion of every  $n$ th word was easier to use than a totally random system. By deleting every fifth word and using exact replacement scoring (i.e., synonyms and contextually appropriate responses being judged incorrect), the cloze test was deemed to have both better reliability and discrimination (Bormuth, 1967; Taylor, 1953). The classic study cited to justify the systematic deletion of every fifth word is that of MacGinitie (1961:127) who showed that "additional uninterrupted context beyond five words did not help in the restoration of the missing words." However, Henk (1981:347) has argued that the systematic deletion strategies "differentially affect performance across varying content areas." Hittleman (1978) has suggested that the context distance, or space between deletions, should vary with subject area to compensate for this differential performance. For instance, Chihara et al. (1977) have recommended deleting every seventh word in cloze tests administered to students learning a foreign language. Furthermore, Henk (1981) has cautioned investigators of the sampling bias that may result from using a systematic deletion procedure. In this respect, Meredith and Vaughan (1978) have shown that the use of a single cloze test employing the systematic deletion strategy may give spurious results. The construction of several forms of a cloze test over the same passage may reduce but not entirely eliminate the possibility of spurious results. The only way of eliminating it completely would be to employ a totally

random deletion procedure.

The total random deletion procedure has usually been rejected for two basic reasons: it is more difficult to construct the cloze passage; and it may result in insufficient contextual clues whenever two consecutive blanks occur. However, the research has suggested that the results from random deletion cloze tests may be more reliable than those from the systematic deletion cloze test. A study by Meredith and Vaughan (1978: 289) showed that "a smaller range of means was found for the random deletion cloze than for the *n*th deletion cloze." Despite these favourable results, researchers still use the systematic deletion procedure. As recently as 1982, Canadian readability studies have been conducted using this traditional sampling model (Kirkwood & Wolfe, 1980; Kirkwood and Nediger, 1981; Renaud, 1982).

Cueing. In the traditional cloze test, the deleted words have been replaced by blanks of standard length, typically consisting of fifteen typewritten spaces (Myers, 1976). The rationale underlying this procedure has been the elimination of cues to the correct response, i.e. the number of letters in the deleted word. Studies by Rush & Klare (1978) and Henke (1981) have shown that cues to the length of the deleted word improves performance on cloze tests. Henk (1981:348) has argued that "if subjects are expected to supply exact word replacements, it seems reasonable to provide cues which permit a systematic and objective reduction of competing synonymic alternatives." Rush & Klare (1978) have also argued that providing a length cue is desirable for a number of reasons: (1) word length also serves as a cue in the reading process; (2) cloze

comprehension scores are generally inferior to multiple-choice comprehension scores -- length cues should therefore bring the cloze score closer to its analogue; and (3) length cues may compensate for the perceived difficulty of the verbatim scoring method from the respondent's viewpoint. Other authors have investigated the use of 'initial letter cues' (i.e., the first letter of the deleted word is supplied) on cloze test performance with mixed results. Nonetheless, as Rush and Klare (1978:210) have suggested, it is probably "worthwhile to re-open the cloze blank issue."

Scoring. In the traditional cloze test, known as the exact word replacement method, a verbatim response has been required for a correct answer. Grammatical variations of number, tense, or person have usually been scored as errors. Misspellings have generally been accepted if the response is unambiguous. Other scoring procedures have been employed by researchers. These alternatives can all be described as contextually appropriate scoring methods. They essentially run the gamut from synonymic scoring methods in which only suitable synonyms for the deleted word are acceptable, to other contextually appropriate methods in which "any word that fully fits the total surrounding context" is deemed correct (Oller, 1979:368). The context employed for judging responses can vary in extent from the immediate sentence to a considerable amount of the surrounding text. Some researchers (Hanzeli, 1977) have even employed weighting systems to differentiate between different degrees of appropriateness in the response. There is still considerable disagreement on the issue of preferred scoring method.

The exact word replacement method obviously eliminates the subjectivity and ambiguity that characterizes contextually appropriate scoring methods. Bickley (1970) and Henry (1975) both cite studies by Bormuth in maintaining that the exact word method provides greater validity and reliability, as well as enhanced discrimination. Nonetheless, similar to the psycholinguistic argument in support of multiple-choice cloze tests, some authors contend that it is unreasonable to accept only the exact word replacement (i.e., single variant of surface structure) "with what is known regarding the diverse number of surface forms that a single deep structure can take (Henk, 1981:348)." Even the psychometric data has not entirely rejected the use of more lenient scoring procedures.

Research studies have shown that all of the possible scoring methods are highly correlated, i.e., the ranking of readers and passages have remained constant irrespective of the scoring mode (Oller, 1979). These correlations have generally been superior to 0.9 in comparative studies (Klare, Sinaiko and Stolurow, 1972). Secondly, although some authors have denounced the contextually appropriate scoring methods on the basis of assumed poor inter-rater (or interscorer) reliability, work by Hanzeli (1977:869) has shown that "there is a high consistency of judgement" between scorers, with correlations between them being 0.94 or more. Oller (1979:370) has stated "that the contextually appropriate scoring method does generate some meaningful variance that is lost if an exact-word scoring technique is used." Despite this assertion, Oller (1979:368) admits that the additional effort entailed by a more lenient scoring system would only be justified when "very fine discrimination is desired."

Most studies of cloze procedural variables have focused on one variable at a time. Nonetheless, there have been some interesting exceptions. Henk (1981) investigated the interactive effects of selected combinations of deletion strategies and scoring procedures. Henk (1981:347) reported that:

of the eight alternative cloze formats examined, the total random/cued/verbatim condition generated mean scores most similar to the traditional model while averting, in theory, the sampling biases that can accompany approximated deletions (every - *n*th word deletions).

If these results are replicated, it may signal the end of an era in which the traditional cloze procedure (i.e., systematic/uncued/verbatim scoring) has reigned as the preferred model in the majority of the investigations. More research will be required to definitely resolve the remaining procedural issues.

Performance Criteria. So far, this review has focused on the recommended procedures in cloze research as applied to the study of readability. It has further been suggested that readability and reading comprehension are complimentary systems; readability assesses the adequacy of the text-book, while reading comprehension measures the readers' success or understanding. Performance criteria are used to interpret both data on readability and reading comprehension. In effect, the criteria used to interpret readability have been derived from the study of comprehension.

Although the cloze test has been used extensively to measure reading comprehension, considerable controversy still exists with respect to a criterion for evaluating performance. Bormuth (1971:2) has defined criterion as "that level of cloze test performance that can be rationally

defended as representing the optimal, the most desirable, or the literate level of performance on passages drawn from instructional materials." Much of the early work that attempted to rationally establish passage performance criteria used the Betts' reading comprehension model. Betts had suggested that, for textual material to be at an appropriate instructional level, the student should be able to answer 75 percent or more of the comprehension questions based on it. A score of 90 percent or better suggested that the material was probably at the student's independent reading level, while a score less than 75 percent indicated that the material was at the student's frustration level. The studies cited in Table 1 all used Betts' model to generate passage performance criterion at the three reading levels.

Table 1  
Passage Performance Criteria for the Cloze Test

Study	Recommended Cloze Scores (%)		
	Frustration	Instructional	Independent
Bormuth (1967)	0-37	38-49	50-100
Bormuth (1968)	0-43	44-56	57-100
Rankin and Culhane (1969)	0-40	41-60	61-100
Anderson and Hunt (1972)	0-43	44-52	53-100
Jones and Pikulski (1974)	0-20	21-49	50-100

Boyce (1974:31) criticized the underpinnings of these studies, stating that the Bett's Criteria were "arbitrarily fashioned and not commensurate with reality." Klein (1981) alluded to the quandary of finding reading levels with the cloze test; of twelve current textbooks on the subject of reading, six distinct scoring systems are recommended -- all of them derived from only four different studies. Bormuth (1971) wrote that the criteria for the cloze test should not rest solely on expert opinion, but rather should be based on empirical evidence.

Bormuth (1971) had attempted to supply this empirical evidence by investigating the interaction of variables such as information gain, reading speed and certain affective responses on the suitability of a passage for a student. In all, 1600 students from grades three through twelve had participated in this major research study. Bormuth was able to calculate the optimal score or difficulty level for each grade level and type of activity. Bormuth concluded that students scoring below 35% on a cloze passage would gain little or no information from it, while scores between 40% to 50% were in the optimal range. This 35% benchmark can confidently be viewed as the minimal performance criterion for adequate reading comprehension of English language instructional materials.

Although one might logically presume passage performance criteria to be identical in any language, this is not necessarily the case. Henry investigated the question of performance criteria in the French language. After a major research study at the Université de Liège in Belgium involving an exhaustive analysis of cloze data, Henry (1975:117) concluded that the optimal performance criteria for French language instructional

materials was between 35 and 45%. In addition to performance criteria, the investigator must also be cognizant of the psychometric properties of the test, such as its validity and reliability.

Validity and Reliability. Most of the technical data for the validity of the cloze test has been obtained in criterion-related validation studies. Criterion-related validity involves correlating the test in question with an appropriate criterion, either concurrently or at a future time. Mehrens (1978) indicated that this may be difficult if an adequate and suitable external-criterion test is lacking. What this means is that the concurrent validity of the cloze test might have been established by correlating its scores with yet other instruments whose own validity was suspect. Nonetheless, Taylor (1953) had noted correlations of 0.71 or better between the cloze procedure and the Flesch Reading Ease Formula, and 0.94 or better between the cloze procedure and the Dale-Chall formula. Bickley et al. (1970) described work by Sukeyori (1957) who reportedly found a correlation of 0.83 between cloze rankings of the difficulty of selected passages with the ratings given by an expert panel. Klare et al. (1972) wrote that the validity of the cloze procedure is generally in the range of 0.5 to 0.8 or better. Oller (1979:376) concluded that the cloze test is "superior in validity to any of the other techniques" for measuring readability. Closely associated with validity is the issue of test reliability.

Reliability is a measure of the consistency or stability of a test (Kirby et al., 1973). Reliability can be determined using a variety of methods including test-retest, parallel-forms and internal consistency



measurements. Taylor (1957) had reported test-retest reliabilities for the cloze procedure ranging from 0.74 to 0.88, while DeLandsheere's (1978) results which were based on French-language data were higher at 0.82 to 0.97. Finally, Cunningham & Tierney (1979:287) has written that the cloze procedure "is possibly the most thoroughly validated and sophisticated method of testing presently used in education."

In short, the cloze procedure is a widely used and well established method of quantitatively measuring the readability of instructional materials. Despite this general acceptance, many procedural considerations still appear controversial. For instance, the cloze passages have traditionally involved systematic rather than random deletion of words. Yet, the literature suggests that this has been motivated more by convention and convenience than empirical findings. Further, the use of exact replacement scoring has been shown to be no more valid than contextually appropriate scoring. Its selection appears to be based on economics, specifically the human resources required for scoring.

On the basis of this literature review, Henk's total random/cued/verbatim cloze procedure appeared to be the best approach. Nonetheless, this procedure was rejected in favour of the traditional approach used by Kirkwood and Nediger (1981). Since the Kirkwood study had collected readability data from grade ten Franco-Manitobans, it would thus provide a suitable framework for interpreting the results of the present study. Finally, a cloze score of 35% was used as the minimal performance criterion for determining appropriate readability.

### Summary

Evaluation has been depicted as an integral part of the decision-making process. Since the development of instructional materials requires that decisions be made on numerous issues, evaluation has therefore been viewed as an invaluable adjunct. Expert opinion and learner performance are two potential sources of data in this evaluation. Expert opinion is particularly appropriate for evaluating those characteristics for which learner performance data is not valid (e.g., content, instructional strategies). Other characteristics, like readability, can be evaluated using various methods.

The problem of readability has long been neglected by science educators. Yet, suitable instructional materials is thought to be essential if we are to attain the espoused goals of science education. Readability has been assessed using expert opinion, readability formulas, and the cloze procedure. The use of expert opinion was rejected because of its poor reliability. Readability formulas were described as another method of predicting readability. The formulas adapted for use in the French language have all been developed using European populations. Despite some favourable research findings to the contrary, their reliability with Canadian French-speaking students is still suspect. The cloze procedure, on the other hand, is viewed as a viable alternative to both expert opinion and readability formulas because it is criterion-referenced. Thus, the problem of poor reliability or the dilemma of equivalent norm groups are both circumvented. In order to facilitate comparisons with other recent readability surveys conducted in Canada, the conventional cloze procedure used by Kirkwood and others has also been employed in this study.

## CHAPTER THREE

### Instructional Materials

In this chapter, instructional design theory has been briefly reviewed. Design theory served as the *modus operandi* in the development of the instructional materials. Also, the role of inquiry, both in the domain of science education generally and in the design of these materials specifically, has been described.

#### Instructional Design

The theoretical basis for the development of learning materials is in the relatively new field of instructional design. The foundations of this study are in psychology, particularly in learning and communications theory. Although instructional design originated in the military and business sectors, it has been quickly adopted by educators.

#### Emphases

Instructional design has been described as "the process of systematically designing instruction (Dick, 1981:29)." Gagne and Briggs (1974) have explicated this design process suggesting that instructional design models can include specific procedures such as needs assessment, formulation of objectives, context analysis, task analysis and sequencing, specification of instructional strategies, product development, and evaluation. Twelker et al. (1972:1) view instructional design as "a systematic way of identifying, developing and evaluating a set of materials and strategies aimed at accomplishing a particular educational goal." After a meta-analysis of the literature, Twelker et al. had identified

these three fundamental processes (i.e., definition, development, and evaluation) as common emphases of instructional design models. Since these processes usually occur in a definite sequence, they can also be regarded as phases.

Definition. The definition phase usually consists of functions or tasks such as needs assessment, problem identification, and context analysis (i.e., analysis of the teaching situation, identification of the learner population, and assessment of resources). These tasks have been accomplished by the curriculum committee for Sciences naturelles: secondaire prior to this study. Since the rationale given in the introductory chapter has essentially defined the context for the present study, it will not be reiterated here.

Development. The development phase involves tasks like the identification of objectives, the specification of methods or instructional strategies, and the actual construction of the materials. Gow (1980:10) has written that "objectives, expressed or implied, are used to construct the framework of the curriculum." Gow has used 'curriculum' here to refer specifically to instructional materials. The curriculum committee had identified the major goals and objectives which served as the conceptual framework for developing the two modules. Similarly, the committee implicitly delimited the possible instructional strategies in the adoption of a definite philosophy espousing an inquiry approach to science education. The role of inquiry in establishing the parameters for the design of the materials will be described later in this chapter.

Evaluation. The basic purpose of the evaluation process is the systematic collection of data. Various procedures are employed to generate this data including individual appraisal, panel reviews, tryouts, and field trials (Lewy, 1977). The specific methodology and instrumentation used in this study will be described in the following chapters.

In brief, three fundamental processes or phases constitute the instructional design sequence. These include the definition, the development, and the evaluation of instructional materials. Since the definition phase had occurred prior to this study, attention was thus given to the development and evaluation phases of instructional design.

#### Inquiry and the Specification of Design

The design of instructional materials is obviously influenced by the beliefs of the developer(s). Accordingly, decisions made by a curriculum committee impinge upon the designer, who must then develop materials within the established parameters.

#### Science Education

Haney and Sorenson (1977:133) have defined inquiry as "the overall strategy of natural scientists to develop...knowledge from the examination and interpretation of empirical evidence." Welch has analyzed inquiry further. Welch (1981:54) recognizes three basic types of inquiry: (1) general inquiry which refers to "strategies, such as problem-solving, uses of evidence, logical and analogical reasoning, clarification of values, decisions-making, and safeguards and customs of inquiry"; (2) science processes which include intellectual skills like observation,

classification, communication, measurement, prediction, inference, interpretation, hypothesis formation and experimentation, etc. (Funk, Okey, Fiel, Jaus, & Sprague, 1979); and (3) the nature of science which is primarily concerned with the philosophical, historical, and sociological perspectives of this mode of inquiry (Gutting, 1980).

In the design of the instructional materials, priority has been given to instructional strategies which addressed two of the basic types of inquiry, i.e., general inquiry and science processes. This emphasis does not mean that the nature of science is unimportant relative to the other types of inquiry. Rather it is proposed that the nature of scientific knowledge (e.g., tentative, relativistic, and probabilistic, etc.), or the attitudes of scientists (objectivity, open-mindedness, honesty, and skepticism, etc.) which can both be subsumed under the rubric nature of science, can best be taught by the teacher in the classroom. As Dick (1981:32) has suggested: "instructional design models...sometimes give the appearance of ignoring the role of the student and teacher in the learning process." The materials were expressly designed to facilitate this teacher-student interaction which was perceived as necessary in order to develop an understanding of the nature of science.

To teach science as inquiry means to provide learning experiences in which the student will employ the processes and strategies characteristic of scientific inquiry. To this end, activities, experiments, exercises, and discussion questions which incorporated these varied processes and strategies were expressly developed. It is, nonetheless, important that the specific nature of these activities or inquiry be critically

examined.

### The Textbook

On the basis of his analysis of inquiry-based curricula such as P.S.S.C. (Physical Science Study Committee), Chem Study and B.S.C.S. (Biological Sciences Curriculum Study), Souque (1982:28) concluded the following:

1. Most of the time students are asked to observe and measure, to follow a stated procedure and draw conclusions;
2. Rarely are they asked to identify the possible causes of experimental error, to propose controls for an experiment, or yet to design and carry out their own experiments.

The textbook should not be viewed as the entire curriculum or program of study, because the teacher can compensate for the textbook's limitations. Nonetheless, the Manitoba 1980 Science Assessment Program (1981:72) concluded that:

at all grade levels it seems that original and creative thinking is not encouraged. There is little done in the areas of making up of students own experiments, doing an investigation at home, and library research.

Even considering the potential of teacher interventions, science education in Manitoba is still not perceived as involving creative open-ended inquiry. Pennick (1982:42), commenting on the state of science education generally, confirms the view expressed by the Manitoba Science Assessment Program in his statement that "little has been done directly to encourage creativity in the science classroom."

### Creativity

Pennick holds the creative process to be fundamental to scientific inquiry. Torrance (1965:8) has defined creativity as a:

natural process...of sensing difficulties, problems, gaps in information, missing elements; making guesses or formulating hypotheses about these deficiencies; testing these guesses and possibly revising and retesting them; and finally in communicating the results.

According to this definition, creativity can be fostered through scientific inquiry. But to nurture this scientific creativity, students must be given opportunities for creative work. Therefore, to promote creative inquiry in the science classroom, instructional materials were specifically designed to provide many opportunities for open-ended inquiry involving the use of higher-level integrated processes such as formulating hypotheses, designing and conducting experiments, and constructing scientific models.

### The Modules

The organization of the instructional materials was modular in format. Module was defined here as a relatively independent instructional package. Although modular materials are frequently individualized, this was not the case here in La terre: astre vivant and L'écologie boréale. In this study, the modules were specifically designed for use in a teacher-guided instructional situation. Nevertheless, many opportunities for independent research by the student were included in the modules.



## LA TERRE: ASTRE VIVANT

## Remerciements

Le Bureau de l'Education française du Ministère de l'Education de la Province du Manitoba exprime sa plus vive reconnaissance aux maisons d'édition qui ont autorisé l'emploi de matériels tirés de leurs ouvrages. Plus précisément on remercie The American Geological Institute qui a autorisé la traduction et l'adaptation de matériels tirés de *Investigating the Earth*, 2<sup>e</sup> édition, 1973 (p. 242, 323-325, 328-333, 335-337 & 352-355), et de *Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup> édition, 1978 (p. 307-308, 373-375, 378-379 & 381).

Merci également aux secrétaires Louise Pallett et Jeannette Perrin pour la qualité de leur travail, leur patience et leur constante disponibilité.

TABLE DES MATIERES

L'ORIGINE DE LA TERRE . . . . .	47
Les théories catastrophiques . . . . .	47
Les théories nébuleuses . . . . .	49
LA GEOCHRONOLOGIE . . . . .	51
COMMENT DEFINIR LE TEMPS? . . . . .	51
Activité 1 - La mesure du temps . . . . .	52
Temps relatif et absolu . . . . .	53
Activité 2 - La notion de temps relatif . . . . .	54
Estimation de l'âge par observations directes . . . . .	55
Activité 3 - Interprétation des cercles annuels d'un arbre . . . . .	58
L'histoire des roches . . . . .	62
Activité 4 - L'histoire d'un lac . . . . .	66
LES HORLOGES ATOMIQUES . . . . .	66
Activité 5 - L'émission de particules d'un minéral radioactif . . . . .	67
L'horloge à demi-vie . . . . .	67
Activité 6 - Une simulation de la désintégration radioactive . . . . .	69
La radiochronologie . . . . .	75
LE CALENDRIER GEOLOGIQUE . . . . .	76
Activité 7 - Un modèle du calendrier géologique . . . . .	78
Activité 8 - Un casse-tête traitant de la corrélation des fossiles . . . . .	79
Activité 9 - La géologie du Manitoba . . . . .	82
VOCABULAIRE (Mots nouveaux) . . . . .	82
EVALUEZ VOS CONNAISSANCES . . . . .	83
LA TERRE: ASTRE VIVANT . . . . .	83
UNE STRUCTURE DYNAMIQUE . . . . .	88
Activité 10 - Les dimensions de la terre . . . . .	88
Activité 11 - L'étude de l'intérieur de deux sphères . . . . .	90
La structure de la terre . . . . .	91
Activité 12 - Une analyse des roches constituant la croûte terrestre . . . . .	93
Activité 13 - Une étude de l'équilibre terrestre . . . . .	93
La croûte terrestre et l'isostasie . . . . .	95
Un outil géologique: les séismes . . . . .	96
Les tremblements de terre . . . . .	99
Activité 14 - La construction d'un sismographe . . . . .	99
L'évaluation des dégâts sismiques . . . . .	100
Activité 15 - Comment situer l'épicentre d'un tremblement de terre . . . . .	102
LA TERRE EN EVOLUTION . . . . .	108
La dérive des continents . . . . .	108
Activité 16 - L'assemblage des continents . . . . .	108
Les anciens glaciers: une preuve de la dérive des continents . . . . .	109
Activité 17 - Les anciens glaciers et le super-continent . . . . .	112
La flore fossile et le super-continent . . . . .	113

Les ceintures orogéniques et les cratons . . . . .	115
Activité 18 - L'assemblage de l'Amérique du Sud et de l'Afrique . . . . .	115
Autres preuves de l'existence d'un super-continent . . . . .	116
L'expansion des fonds océaniques . . . . .	119
Activité 19 - La répartition mondiale d'épicentres sismiques . . . . .	119
Activité 20 - La répartition mondiale des volcans, des arcs insulaires et des fosses océaniques . . . . .	125
Une première tentative d'explication: la pomme ratatinée . . . . .	128
Quel est le caractère des fonds océaniques? . . . . .	130
Activité 21 - La détermination d'un profil par la technique de sondage sonore . . . . .	130
Le relief marin . . . . .	132
Activité 22 - Comparaison du relief des océans Atlantique et Pacifique . . . . .	134
L'expansion des fonds océaniques et l'activité sismique . . . . .	138
Activité 23 - Un modèle de l'expansion des fonds océaniques . . . . .	141
Activité 24 - Une autre preuve de l'expansion des fonds océaniques . . . . .	146
La tectonique des plaques . . . . .	148
Activité 25 - La direction des plaques mobiles . . . . .	152
Activité 26 - Une simulation des forces de compression et de distension . . . . .	154
Activité 27 - Une preuve du phénomène des plaques plongeantes . . . . .	156
Activité 28 - La construction de modèles tectoniques . . . . .	158
Le moteur tectonique . . . . .	158
Problèmes à résoudre . . . . .	161
VOCABULAIRE (Mots nouveaux) . . . . .	162
EVALUEZ VOS CONNAISSANCES . . . . .	164
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	172

# L'ORIGINE DE LA TERRE

Comment explique-t-on l'origine de la terre? Certes, c'est un mystère qui pique la curiosité humaine depuis longtemps. Plusieurs théories ont été avancées pour y répondre, mais on peut constater que chaque tentative entraîne des objections majeures. La question elle-même exige que l'on tienne compte de l'origine du système solaire en entier.

Une vingtaine de théories ont été proposées pour expliquer l'origine du système solaire depuis la première tentative présentée par Descartes au 17<sup>e</sup> siècle. Nous allons limiter l'exposé suivant aux théories principales. Seulement les faits saillants seront présentés. Rien n'empêche, cependant, de faire de la recherche personnelle pour approfondir davantage le sujet.

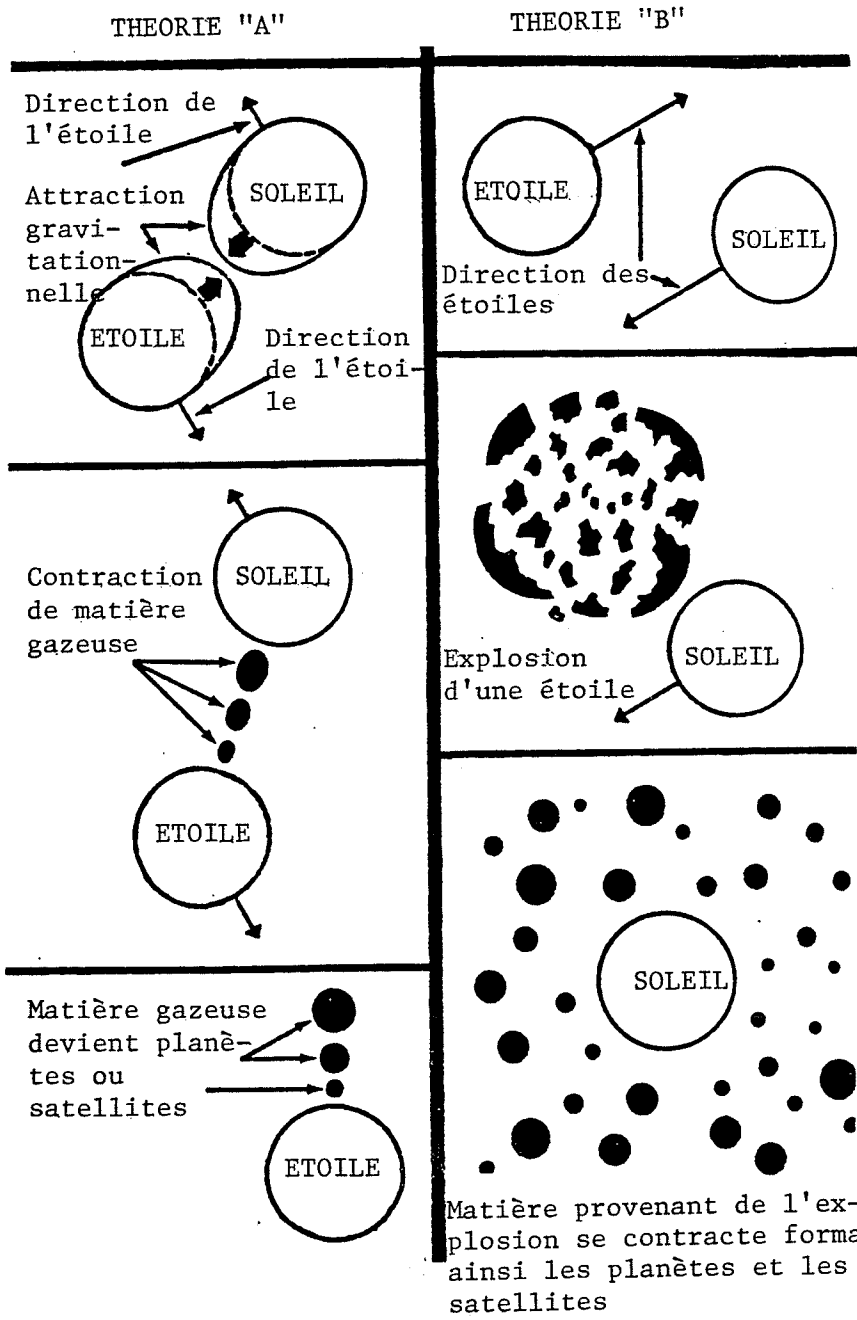
Les théories sur l'origine du système solaire peuvent être classifiées comme étant soit du genre *catastrophique* soit du genre *nébuleux*. Les théories catastrophiques suggèrent que le système solaire est né soudainement, de façon violente. Les théories nébuleuses, par contre, avancent l'idée que le système solaire s'est manifesté lentement au cours d'une période prolongée.

## Les théories catastrophiques

En 1745, le comte de Buffon, naturaliste français, avança la théorie *planétésimale*. Il suggéra que les planètes s'étaient formées de matière provenant du soleil, lors d'une collision avec une comète. A cette époque, on supposait que les comètes étaient aussi grosses que le soleil. Selon sa théorie, cette matière diffuse et chaude s'était refroidie, formant ainsi des petites planètes, les planétésimales. La force de gravitation agissant sur ces planétésimales avait abouti à la formation des planètes et de leurs satellites.

Une autre version de la théorie planétésimale remplace la comète par une étoile qui frôla le soleil. La force de gravitation de l'étoile arracha de la matière gazeuse du soleil formant ensuite les planètes. D'autres scientifiques, dans la même ligne, proposèrent d'autres combinaisons catastrophiques entre les corps célestes, mais ces modifications n'augmenteraient pas la probabilité d'une naissance catastrophique. L'illustration suivante résume les faits saillants associés avec deux théories catastrophiques ayant la combinaison étoile-soleil.

ILLUSTRATION 1



Tiré de *Earth Science: A Search for Understanding* par W. R. Brown et N. D. Anderson, © 1973. Avec l'aimable autorisation de Harper and Row, Publishers, Inc..

La plupart des astronomes n'acceptent pas l'idée d'une origine catastrophique. Selon eux, ces théories font défaut sur plusieurs points. La matière chaude arrachée du soleil se diffuserait rapidement dans l'espace avant même de refroidir pour enfin former les planètes. Aussi, la possibilité d'une collision entre des astres célestes est peu probable. De plus, si on accepte l'idée qu'il y a plusieurs étoiles accompagnées de planètes dans l'univers, ces théories échouent puisqu'elles ne peuvent expliquer l'origine de tous ces systèmes planétaires.

### Les théories nébuleuses

Une théorie nébuleuse sur l'origine du système solaire fut avancée pour la première fois au 18<sup>e</sup> siècle. Emmanuel Kant de l'Allemagne et Pierre-Simon de Laplace de la France proposèrent l'idée que le soleil et les planètes furent formées d'une nébuleuse tourbillonnante, immense masse nuageuse composée de gaz chaud et de poussière.

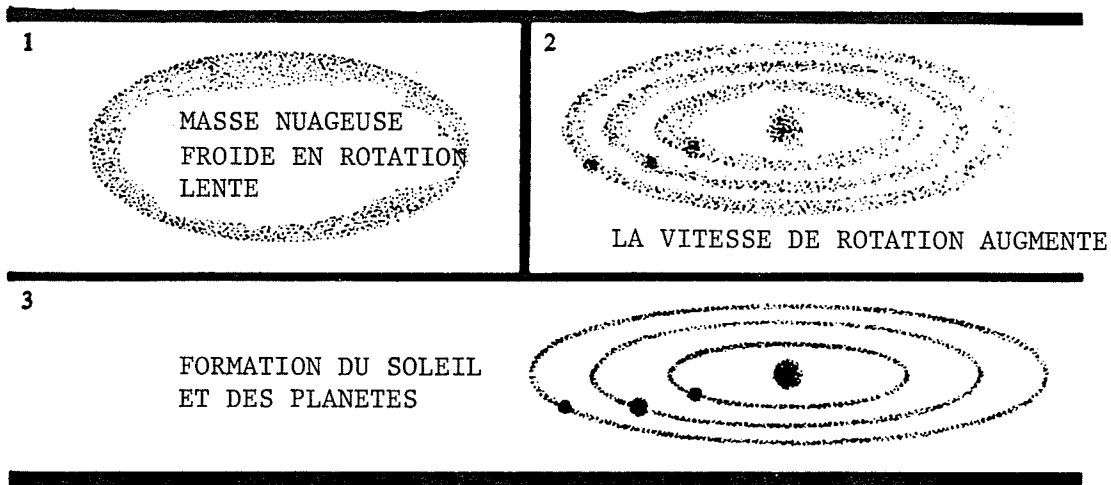
A mesure que la nébuleuse se refroidissait et se contractait, elle tourbillonnait de plus en plus vite. Sous l'effet de l'accélération, la nébuleuse s'aplatit et plusieurs disques de matière apparurent autour de la masse centrale. Le soleil naquit de cette masse centrale; les planètes et leurs satellites se formèrent lors de la contraction des disques de matière. La recherche sur la cinématique et son interaction avec une matière gazeuse n'appuie pas cette version de la théorie nébuleuse, Néanmoins, cette théorie a servi comme notion de base sur laquelle les astronomes ont élaboré d'autres théories nébuleuses plus contemporaines expliquant l'origine du système solaire.

Une de ces théories propose qu'une nébuleuse s'est contractée, formant ainsi un proto-soleil. Dès le début, le proto-soleil était entouré de disques de matière. Ces disques de matière donnèrent naissance à des planétésimales qui, éventuellement, devinrent des *proto-planètes*. Par la suite, ces proto-planètes se contractèrent. Ce fut l'origine des planètes. Puisque l'univers contient beaucoup de matière gazeuse et de poussière, plusieurs astronomes croient que

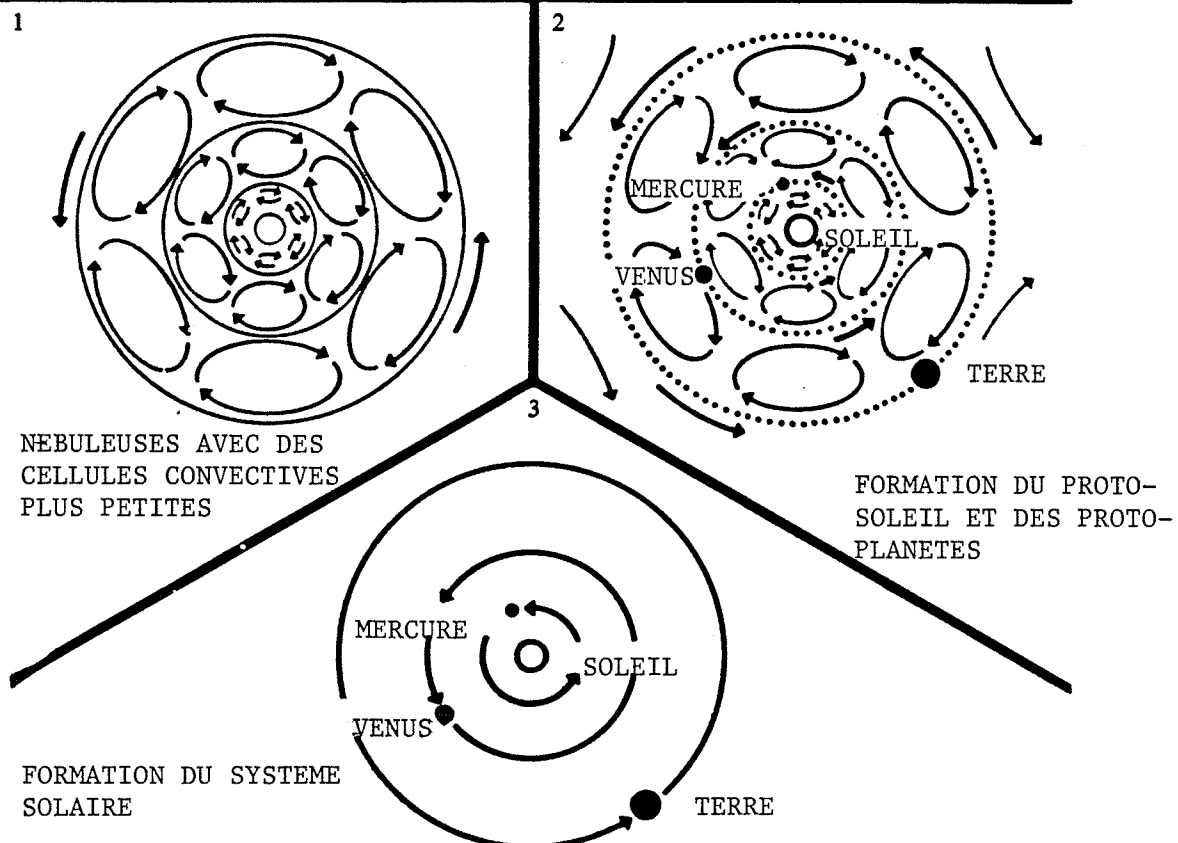
ces théories peuvent aussi bien expliquer l'origine d'autres systèmes planétaires. L'illustration suivante compare ces deux théories nébuleuses.

ILLUSTRATION 2:

## THEORIE "A"



## THEORIE "B"



Tiré de *Earth Science: A Search for Understanding* par W. R. Brown et N. D. Anderson, © 1973. Avec l'aimable autorisation de Harper and Row, Publishers, Inc..

# LA GEOCHRONOLOGIE

Le temps n'est pas juste un phénomène du présent. Sans relâche depuis son origine, il continuera à s'écouler, longtemps après notre départ. La curiosité de l'homme l'a toujours amené à poser des questions de nature temporelle. Même nos ancêtres s'interrogeaient sur l'âge de la terre, des étoiles et de l'univers en général. C'est seulement depuis notre histoire récente que l'homme possède les techniques nécessaires pour aborder ce genre de questions.

## COMMENT DEFINIR LE TEMPS?

Le temps est l'élément le plus important dans notre vie quotidienne, néanmoins il demeure très difficile à décrire ou à définir.

### ACTIVITE 1 - La mesure du temps

Sans l'aide d'une montre ou d'une horloge, utilisez n'importe quelle méthode pour déterminer la durée d'une période de cinq minutes. Couvrez l'horloge dans la salle de classe.

Désignez un(e) élève-chronométrateur. Le chronométrateur fait une marque au tableau lorsqu'il est temps de commencer l'exercice.

Lorsque vous jugez que les cinq minutes sont écoulées, signalez-le au chronométrateur qui fait alors une autre marque au tableau. Le chronométrateur continue jusqu'à ce que chaque élève lui indique la fin de la période.

1. Est-ce que tous les élèves ont indiqué au chronométrateur la fin de la période presque au même moment?
2. Comment interprétez-vous la série de marques au tableau?
3. Quelle méthode avez-vous utilisée pour estimer la durée de cinq minutes?



4. Décrivez les autres méthodes utilisées par les élèves.
5. Comment définissez-vous le temps?
6. Supposons que vous êtes enfermés dans une salle sans fenêtre avec beaucoup d'eau et de nourriture. Comment pourriez-vous mesurer la durée du temps dans ces conditions?

C'est généralement les changements qui nous rendent conscients du temps. Les changements de la terre se manifestent aussi clairement que ceux affectant les animaux et les plantes. Les montagnes se soulèvent sur la croûte terrestre et, par la suite, l'érosion les dégrade graduellement. De leur naissance à leur mort, des centaines de millions d'années s'écoulent. D'autre part, la vie d'un homme est mesurée en années tout simplement. Les changements nous rendent non seulement conscients du temps, mais en plus ils nous fournissent les moyens pour mesurer le temps.

#### Temps relatif et absolu

Une description du *temps relatif* consiste à énumérer des événements selon l'ordre dans lequel ils se sont produits sans donner aucun indice du nombre d'années impliquées. Elle comprend une simple comparaison en nous indiquant qu'un tel événement en a précédé ou suivi un autre. Ainsi, nous y trouvons une suite ou une série d'événements organisée d'après un ordre chronologique.

Par contre, lorsque l'on donne des informations temporelles par rapport au présent, on fait une description du *temps absolu*. Si on donne l'âge de la terre comme étant d'environ quatre milliards d'années, cette affirmation est une description du temps absolu. Un point de repère, le présent, est utilisé pour nous donner une mesure du temps. La période de temps qui s'est écoulée depuis l'événement est ainsi précisée.

Les deux notions, le temps relatif et le temps absolu, sont souvent utilisées dans le contexte des sciences de la terre. Cependant, elles ne sont pas équivalentes. Il vaut mieux savoir l'âge d'un événement que le simple fait

qu'il a eu lieu avant d'autres événements géologiques. Quoi qu'il en soit, il existe des situations où une comparaison relative est le seul critère disponible pour interpréter une série d'événements.

#### ACTIVITE 2 - La notion de temps relatif

Enumérez quatre événements significatifs dans votre vie. Placez l'événement le plus récent au début de la liste.

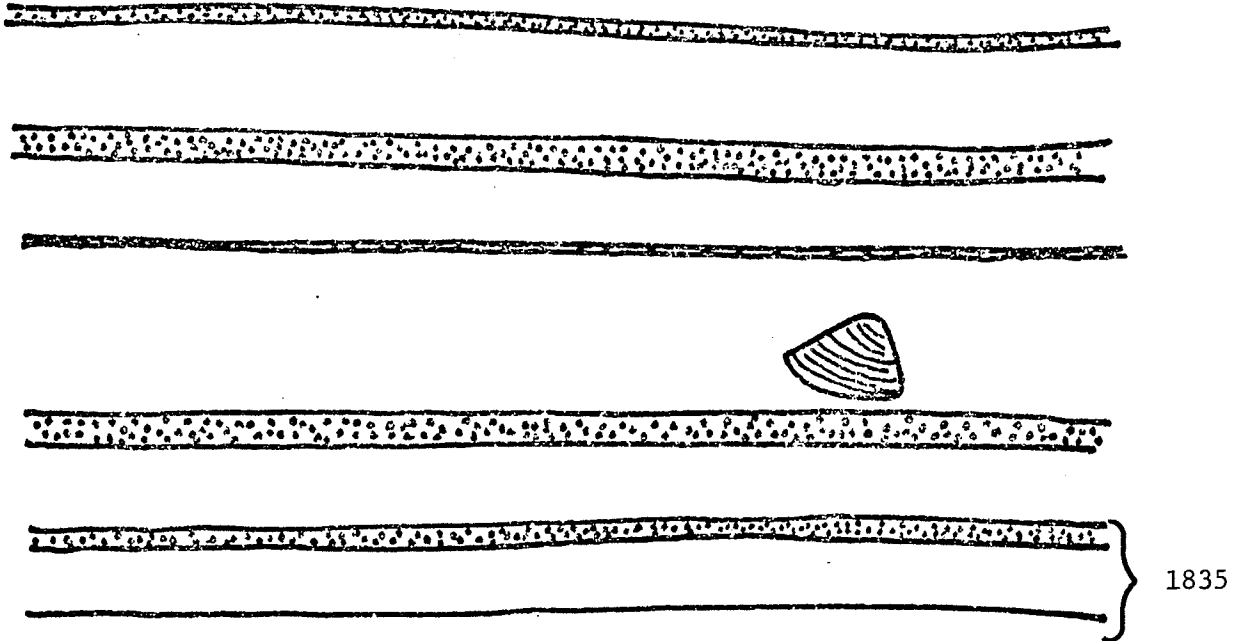
Ajoutez à votre liste les événements identifiés par un(e) ou deux autres élèves. Essayez de dresser une nouvelle liste de tous ces événements selon l'ordre dans lequel ils ont eu lieu.

1. Quels problèmes avez-vous rencontrés dans l'organisation d'une liste commune?
2. Comment avez-vous résolu ces problèmes?

### Estimation de l'âge par des observations directes

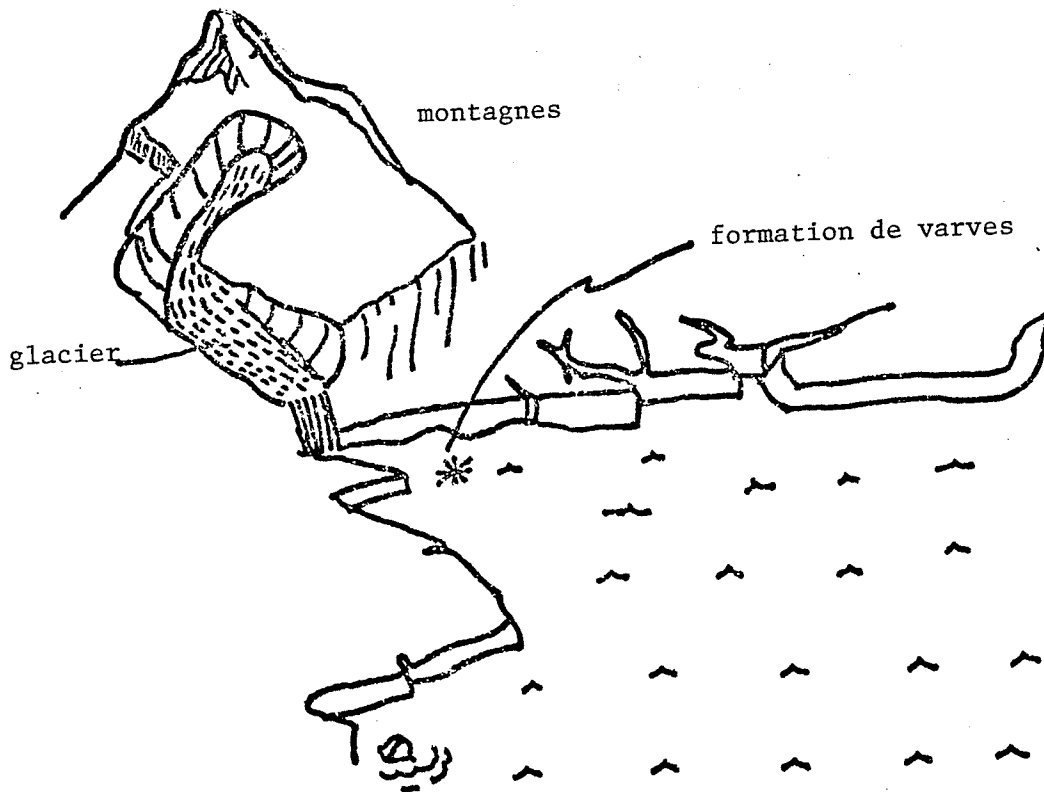
Il est parfois possible d'estimer l'âge par des observations directes. Par exemple, les poissons peuvent être datés par l'interprétation des cercles d'écaillés. De la même façon, on peut compter les cercles annuels d'un arbre pour estimer son âge. On peut même employer des phénomènes géologiques comme moyens de datation. L'illustration suivante montre comment les varves pourraient être formées.

ILLUSTRATION 3: Coupe transversale des varves.



Une varve est une mince couche qui s'associe à d'autres pour constituer un dépôt dans un lac où alternent matériaux argileux et sableux, sombres ou clairs. Leur origine s'explique par un contrôle saisonnier du débit des cours d'eau lié à la fonte des glaciers. On peut utiliser cette périodicité comme moyen de datation. (Voir illustration 4).

ILLUSTRATION 4: Formation de varves.

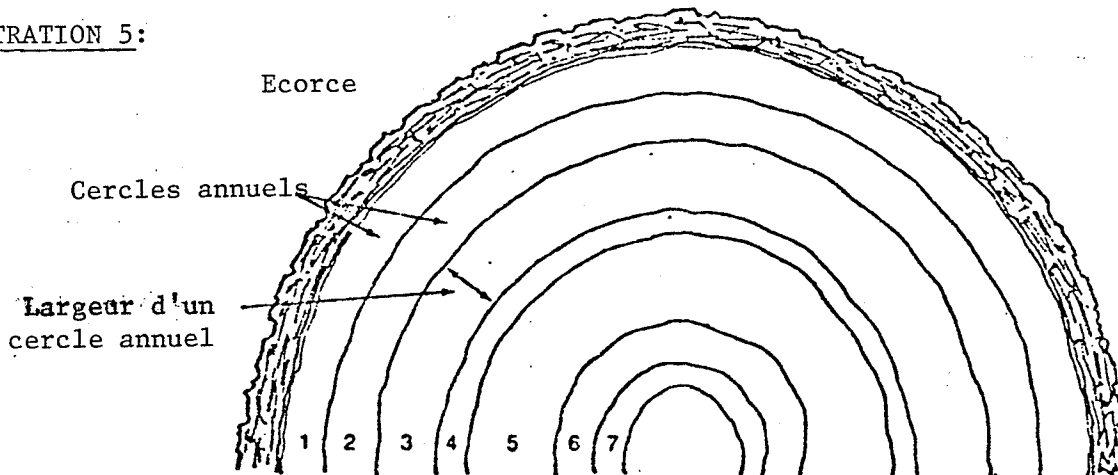


ACTIVITE 3 - Interprétation des cercles annuels d'un arbre

- A) Comment les scientifiques peuvent-ils déterminer la nature des *paléoclimats*, c'est-à-dire, des anciens climats d'une région? Certes, il n'existe pas de rapports météorologiques datant de l'origine de la terre. Par contre, existe-t-il d'autres sources d'information? Une étude des cercles annuels d'un arbre peut nous donner un indice du climat passé.

Étudiez le diagramme suivant illustrant la coupe transversale d'un tronc d'arbre. Les cercles annuels sont numérotés de 1 à 7. Le cercle annuel n° 1 fut formé en 1977 et le n° 7 en 1971. La largeur du cercle annuel nous donne un indice de la croissance au cours d'une année.

ILLUSTRATION 5:



Tiré de *Life Science: A Learning Strategy for the Laboratory*. Avec l'aimable autorisation de Charles E. Merrill Publishing Company.

Le tableau suivant contient les données concernant la précipitation annuelle dans la région où l'arbre était situé. Remplissez le tableau.

FIGURE 6:

Cercle annuel	Année	Largeur (mm)	Précipitation annuelle (cm)
1			80
2			90
3			92
4			55
5			93
6			64
7			70

1. (a) En quelle année, l'arbre a-t-il démontré la plus forte croissance?  
(b) Quelle fut la précipitation de cette même année?
2. (a) En quelle année, l'arbre a-t-il démontré la plus faible croissance?  
(b) Quelle fut la précipitation de cette même année?
3. Quels autres facteurs auraient pu influencer la croissance de l'arbre?
4. Si on vous montre la coupe transversale d'un arbre abattu en l'année 1000 Apr. J.-C., vous sera-t-il possible d'en déduire le genre de climat qui règnait à cette époque?
5. Comment les cercles annuels d'un arbre d'une région tropicale se comparent-ils avec ceux d'une région tempérée?

B) Les cercles annuels d'un arbre nous donnent un indice non seulement de l'âge et des conditions climatiques, mais aussi de divers événements dans son histoire.

Etudiez les diagrammes ci-dessous et répondez aux questions qui les suivent.

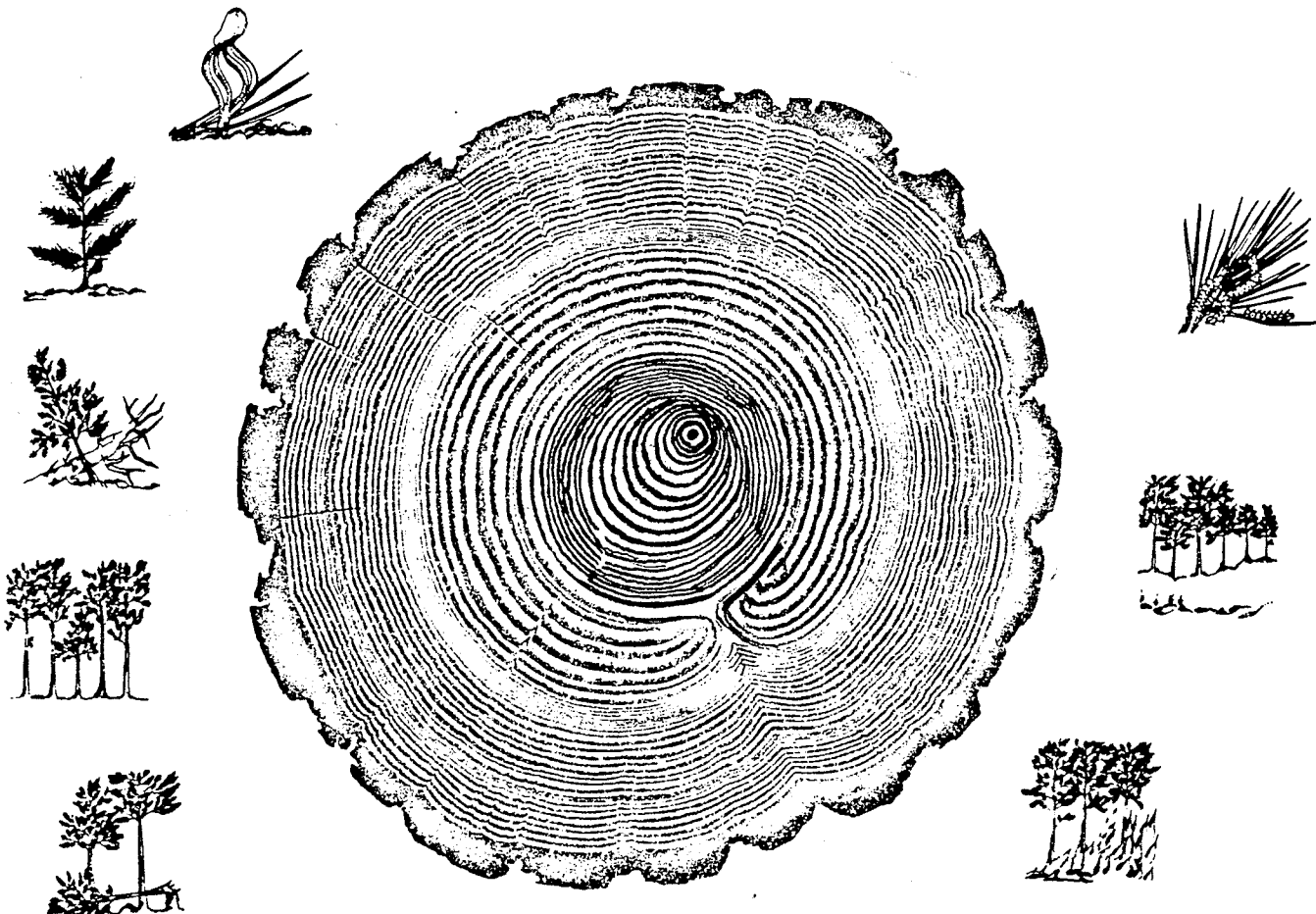


ILLUSTRATION 7:

6. Quel âge avait l'arbre?
7. Faites l'assemblage des événements illustrés autour du tronc avec les changements des cercles annuels.

### L'histoire des roches

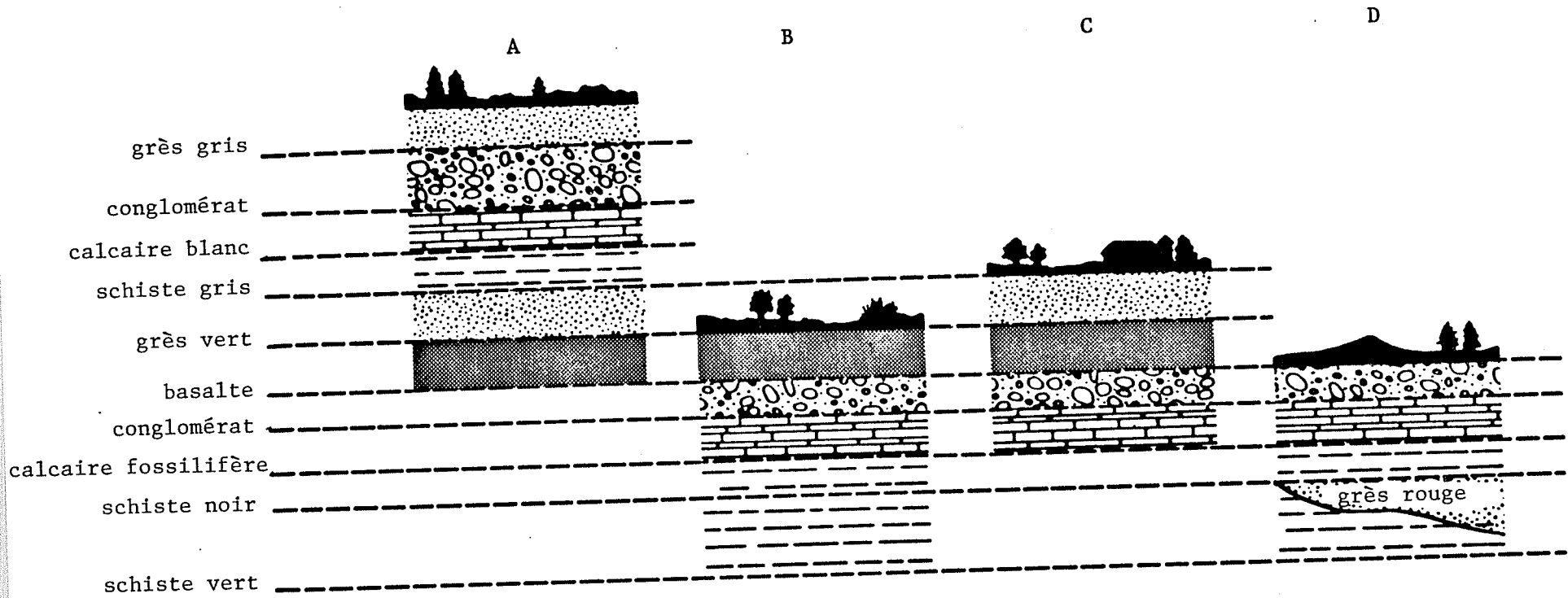
Les géologues respectent deux principes lorsqu'ils sont appelés à interpréter l'histoire des roches. Le premier comprend l'idée que plus une couche est profonde, plus elle est ancienne. C'est-à-dire que la couche géologique la plus ancienne dans une formation est généralement située au plus profond. De la même façon, la couche située directement au-dessus de celle-ci est plus récente. Ce *principe de la superposition* permet au géologue d'établir l'âge relatif des différentes couches. Le deuxième principe lui permet de faire des comparaisons entre différents endroits dans la même région.

Le *principe de la continuité* maintient que dans une région donnée, les couches se sont déposées de façon continue. C'est-à-dire qu'à différents endroits dans la même région, nous reconnaissons les mêmes couches occupant les mêmes positions relatives. En plus de ces deux principes, le géologue respecte une troisième idée fondamentale lui donnant une base pour dater les roches.

Il s'agit de la *corrélation*. D'après cette notion, il semblerait que les couches géologiques se distinguent d'après les fossiles qu'elles contiennent. Le diagramme suivant démontre comment un géologue a établi un rapport entre deux *affleurements* ne possédant rien en commun. Un affleurement est un endroit où les différentes couches ou *strates* rocheuses sont visibles. Le diagramme donne les séries de roches provenant de quatre affleurements situés à différents endroits dans la même région. La distance entre les affleurements A et D est de neuf kilomètres.

1. Expliquez comment le géologue a utilisé les principes de superposition et de corrélation pour déduire le rapport qui existe entre les affleurements A et D. Donnez des exemples pour appuyer l'utilisation de ces principes.

ILLUSTRATION 8:

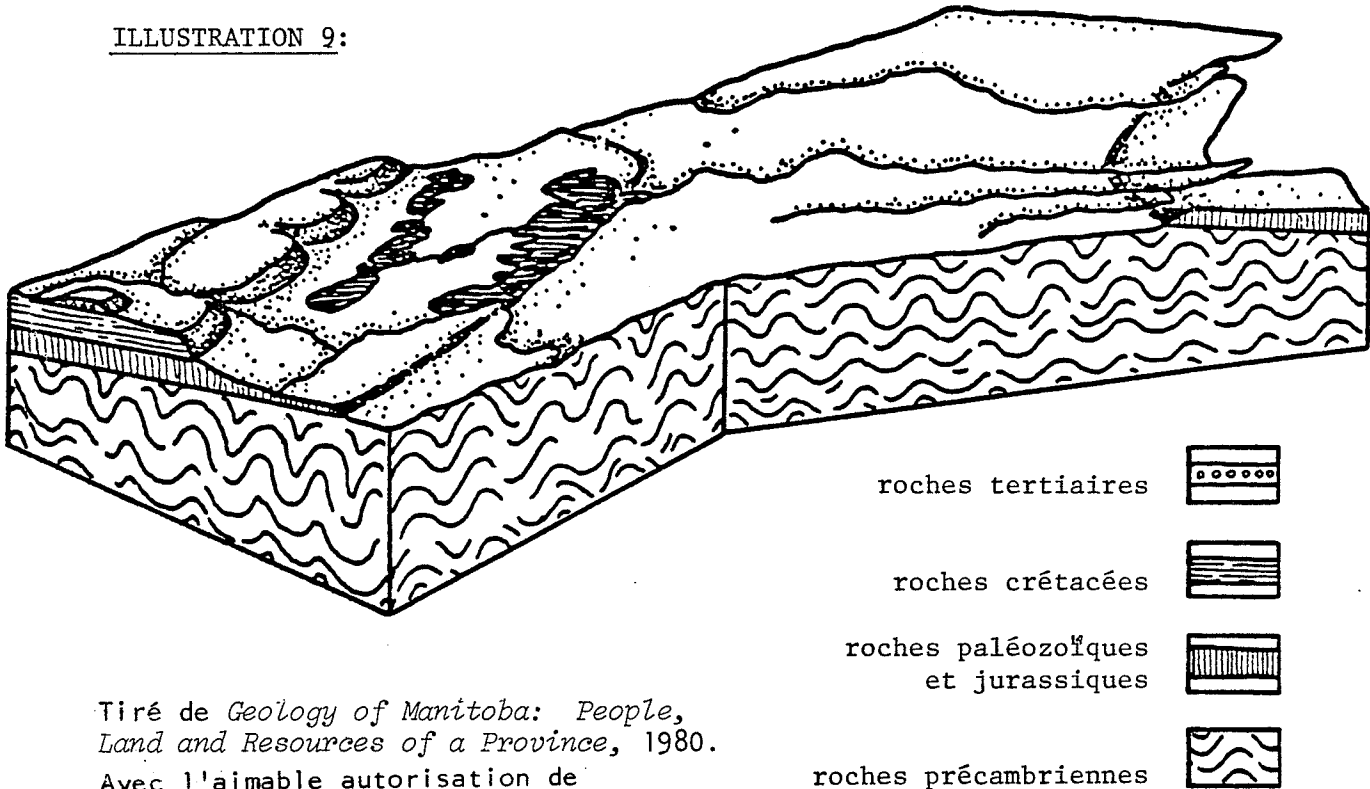


Tiré de *Investigating the Earth - Teacher's Guide*, 2<sup>e</sup> édition, 1973. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.



2. Utilisez le principe de superposition afin de déterminer l'âge relatif de chacune des couches géologiques identifiées dans la coupe transversale ci-dessous.

ILLUSTRATION 9:

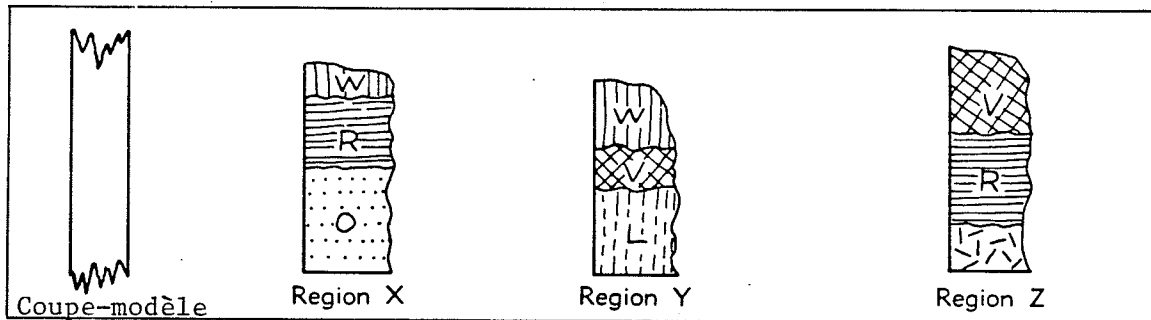


Tiré de *Geology of Manitoba: People, Land and Resources of a Province*, 1980.  
Avec l'aimable autorisation de  
W. A. Gordon.

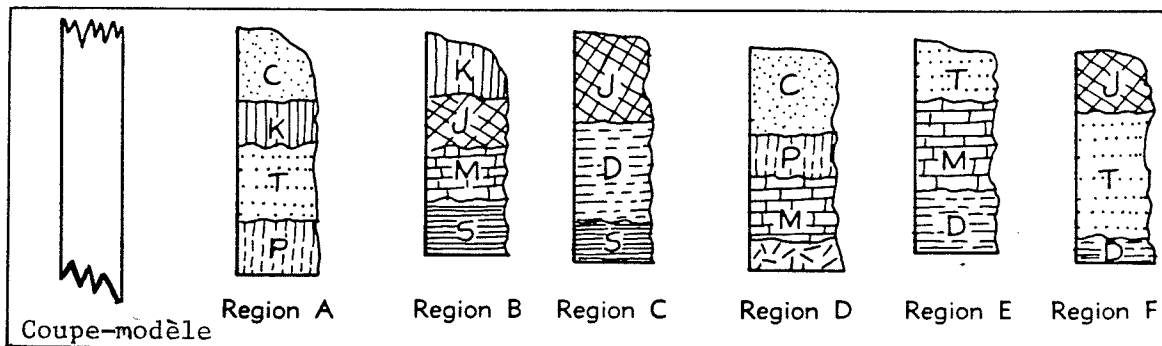
Le rapport entre le socle continental ("bedrock") et le relief des régions au Manitoba. Le Bouclier canadien est la région où les roches précambriennes apparaissent à la surface. Les Basses Terres de la baie d'Hudson et les Plaines manitobaines sont les régions où les roches paléozoïques et jurassiques sont évidentes à la surface. Les roches crétacées et tertiaires se retrouvent à la surface dans les Hautes terres de l'ouest. Une couche mince de roche tertiaire forme les Turtle Mountains.

3. Utilisez les principes de superposition et de corrélation pour désigner l'ordre des différentes couches de la plus ancienne, au bas, à la plus récente. Essayez d'organiser les coupes des différentes régions en une seule coupe-modèle.

(a) ILLUSTRATION 10:



(b) ILLUSTRATION 11:



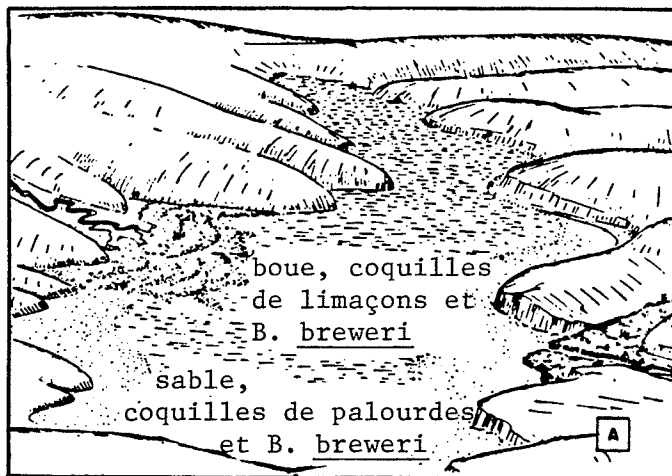
Tiré de *Laboratory Studies in Earth History*, 3rd Ed. par James C. Brice et Harold L. Levin; © 1960, 1977, 1981. Avec l'aimable autorisation de WM. C. Brown Company Publishing, Dubuque, Iowa.

#### ACTIVITE 4 - L'histoire d'un lac

Les épisodes de l'histoire géologique d'un endroit peuvent être reconstitués d'après les couches rocheuses ou strates. Le géologue utilise les principes de superposition, de continuité, et de corrélation des fossiles dans l'interprétation des strates. L'histoire d'un lac, originellement formé par un glissement de terrain dans une vallée, est interprétée par un géologue qui examine les strates sédimentaires déposées avec le temps.

Voici l'apparence du bassin du lac en 1920, exposé lors d'un assèchement temporaire.

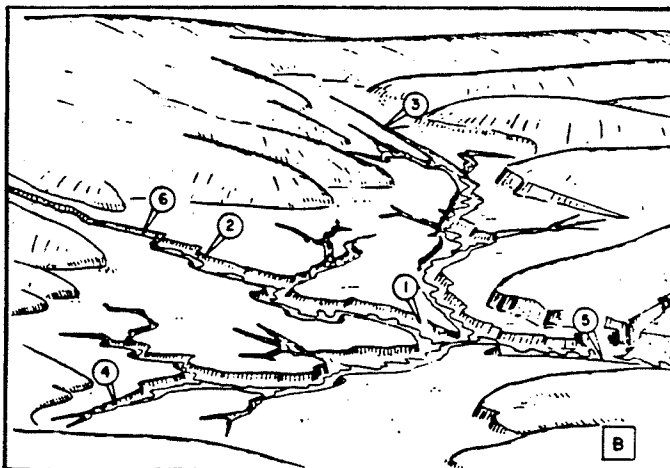
ILLUSTRATION 12:



Tiré de *Laboratory Studies in Earth History*, 3rd Ed. par James C. Brice et Harold L. Levin, © 1960, 1977, 1981. Avec l'aimable autorisation de WM. C. Brown Company Publishing, Dubuque, Iowa.

Voici l'apparence du bassin du lac en 1975 après l'érosion profonde causée par des ruisseaux. Les numéros indiquent les lieux où des coupes stratigraphiques, coupe démontrant les différentes strates, ont été établies.

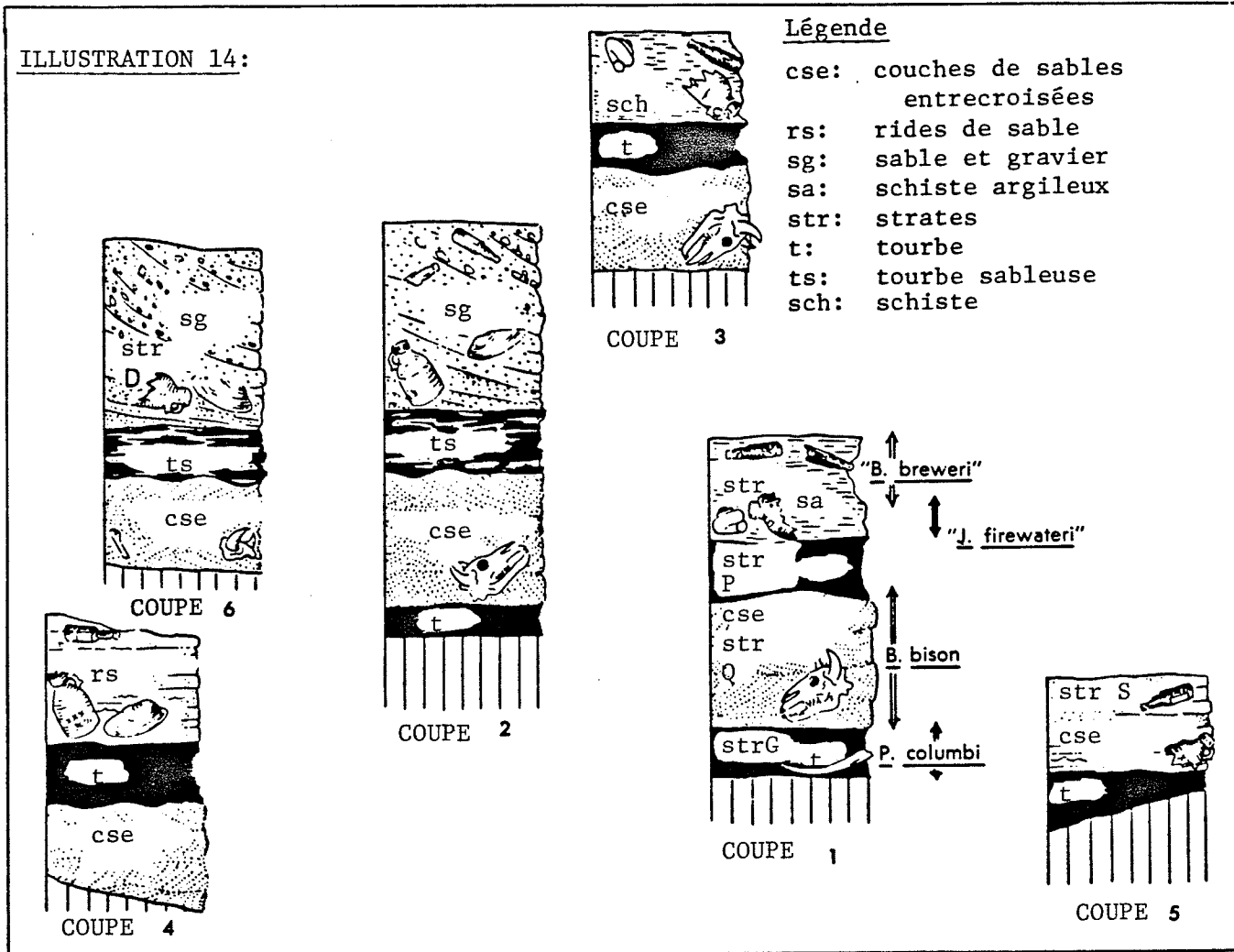
ILLUSTRATION 13:



Tiré de *Laboratory Studies in Earth History*, 3rd Ed. par James C. Brice et Harold L. Levin, © 1960, 1977, 1981. Avec l'aimable autorisation de WM. C. Brown Company Publishing, Dubuque, Iowa.

Les coupes stratigraphiques sont représentées dans le diagramme ci-dessous avec les "fossiles" qu'elles contenaient. Notez bien que notre géologue a choisi la coupe n° 1 comme modèle typique afin de faciliter la comparaison avec les autres.

ILLUSTRATION 14:



Tiré de *Laboratory Studies in Earth History*, 3rd Ed. par James C. Brice et Harold L. Levin, © 1960, 1977, 1981. Avec l'aimable autorisation de WM. C. Brown Company Publishing, Dubuque, Iowa.

Afin d'utiliser les fossiles comme indices pour dater les strates, il est premièrement nécessaire de les identifier. Les strates déposées dans le lac contenait les fossiles et les objets décrits ci-dessous:

- i) "Bottleus breweri." Une bouteille brune probablement destinée à contenir de la bière. C'est l'équipement traditionnel des pêcheurs sportifs qui ont laissé des bouteilles un peu partout dans le lac ainsi que près des rivages. Restreint à la strate Y dans la coupe n° 1. (1900 - présent)
- ii) "Jugus firewateri." Une cruche de pêcheur. Retrouvées un peu partout dans le lac ainsi que près des rivages. Restreint à la strate Y dans le n° 1. (1850 - 1910).
- iii) Valvata sp. Une espèce de limaçon qui habite le fond vaseux du lac. Restreint à la strate Y dans la couche n° 1. (Pliocène - récent).
- iv) Unio sp. Une espèce de palourde qui habite les rivages sableux du lac. Restreint à la strate Y dans la coupe n° 1. (Miocène - récent).
- v) Bison bison. Identifié par le crâne avec les cornes. Restreint à la strate dans la coupe n° 1. (récent).
- vi) Paralephas columbi. Un mammoth, de la même famille que l'éléphant. Les défenses sont distinctives. Restreint à la strate G. (Pléistocène).

Utilisez les données pour répondre aux questions suivantes traitant de la corrélation des coupes stratigraphiques du lac.

1. La strate Y est indiquée dans la coupe n° 1. Dans quelle autre coupe est-elle présente?
2. La strate Q est identifiée dans la coupe n° 1. Dans quelle autre coupe est-elle présente?
3. La strate S est identifiée dans la coupe n° 5. Dans quelle autre coupe est-elle présente?
4. La tourbe de la coupe n° 5 correspond probablement à laquelle des strates, P ou G?
5. Quelle(s) strate(s) se formait(ent) aux endroits n° 2 et 6 en même temps que la strate Y?
6. Quelle(s) strate(s) se déposaient aux endroits n° 4 et 5 en même temps que la strate Y?

7. Pourquoi est-il probable que la strate P fut formée en même temps à tous les endroits, en dépit du fait qu'elle ne contient pas de fossiles pour nous éclairer sur son origine?

Le géologue a utilisé les données stratigraphiques pour construire une coupe du lac en entier. Le diagramme suivant vous présente cette vue du lac. Etudiez-le et répondez aux questions qui le suivent.

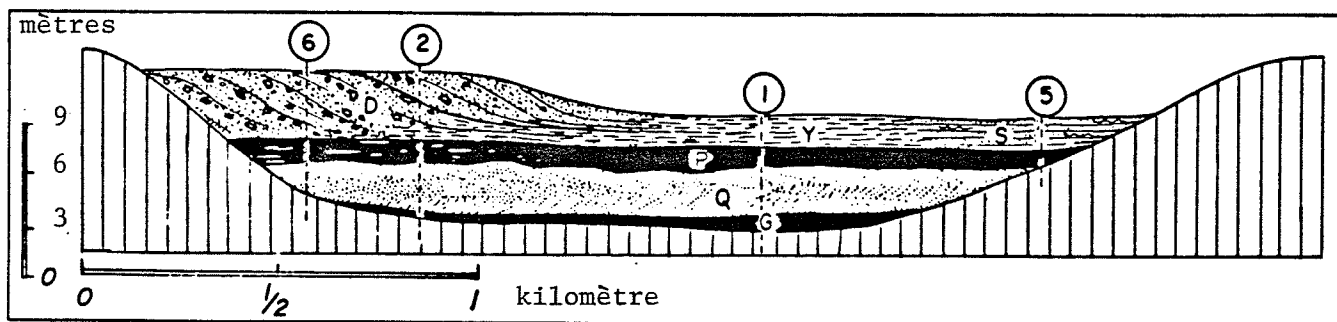


ILLUSTRATION 15:

Tiré de *Laboratory Studies in Earth History*, 3rd Ed. par James C. Brice et Harold L. Levin, © 1960, 1977, 1981. Avec l'aimable autorisation de WM. C. Brown Company Publishing, Dubuque, Iowa.

8. Pourquoi la strate D contient-elle seulement Jugus firewateri au point n° 6 alors qu'elle contient Jugus firewateri et Bottleus breweri au point n° 2?
9. Pourquoi un dépôt de sable s'est-il formé à la strate S alors que, pendant ce temps, de la vase se déposait à la strate Y?
10. Pourquoi la strate D est-elle plus épaisse que la strate Y en dépit du fait que les deux furent déposées dans le même intervalle de temps?
11. Le lac était-il présent lorsque la strate Q fut déposée? Sinon, comment fut-elle déposée?

## LES HORLOGES ATOMIQUES

Le noyau d'un atome est composé de protons et de neutrons. Les protons sont caractérisés par une charge positive et donc se repoussent les uns les autres. Par contre, les neutrons n'ont pas de charge. Ils ajoutent tout de même à la masse du noyau. Les forces qui lient les divers éléments du noyau sont très fortes, ne leur permettant pas de s'impliquer dans des simples changements physiques et chimiques. L'équilibre entre les forces répulsives et attractives dans le noyau de certains atomes est souvent dérangé. Par conséquent, les noyaux se transforment spontanément en libérant de l'énergie. Ce processus est appelé la *désintégration radioactive*.

Certains minéraux provenant de la croûte terrestre contiennent des éléments radioactifs. Ces éléments se désintègrent à une vitesse connue, donnant des éléments plus stables. Ces minéraux radioactifs peuvent donc être utilisés pour la *datation*, c'est-à-dire comme moyens pour dater divers événements dans l'histoire de la terre.

### ACTIVITE 5 - L'émission de particules d'un minéral radioactif

Obtenez un spéciment d'un minéral contenant de l'uranium et placez-le dans un chambre d'ionisation. Décrivez vos observations.

Ensuite, placez-le dans un tiroir près d'un bout de film (ou de pellicule) vierge.

Assurez-vous que le film est bien enveloppé, prévenant l'exposition à la lumière. Après quelques jours, développez le film et notez le résultat.

1. Comment expliquez-vous vos observations?
2. Faites de la recherche afin d'élaborer le rôle de Henri Becquerel dans ce domaine.

## L'horloge à demi-vie

Les atomes d'un élément radioactif ne se désintègrent pas tous au même rythme. Au contraire, le processus de la désintégration implique la probabilité. Evidemment, les atomes ne peuvent pas échapper à ce processus, mais il est impossible de prédire le sort d'un noyau en particulier. Puisqu'un échantillon minuscule d'un élément radioactif contient des milliards d'atomes, la vitesse moyenne de la désintégration peut être déterminée. Une fois que la vitesse moyenne est établie de façon expérimentale, un calcul nous permet d'estimer le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des atomes de l'élément radioactif.

Cette période de temps constitue sa *demi-vie*. La demi-vie des différents éléments radioactifs varie d'une fraction de seconde à des milliards d'années.

## ACTIVITE 6 - Une simulation de la désintégration radioactive

Afin d'illustrer le rôle de la probabilité dans la désintégration radioactive, on vous demande de développer le modèle suivant.

Placez 100 marqueurs dans une boîte carrée dont vous avez marqué un côté intérieur. (Les marqueurs, représentant les atomes, peuvent être n'importe quel objet ayant une légère pointe, par exemple des graines de maïs, de tournesol, etc...).

Remuez vigoureusement la boîte et ensuite enlevez de la boîte seulement les marqueurs qui pointent vers le côté marqué. Supposons que ces "atomes" se sont désintégrés. Prenez en note le nombre d'atomes qui restent dans la boîte.

Répétez l'opération en tenant compte du nombre d'atomes qui restent à chaque fois.

Continuez jusqu'à ce que la boîte soit vide.

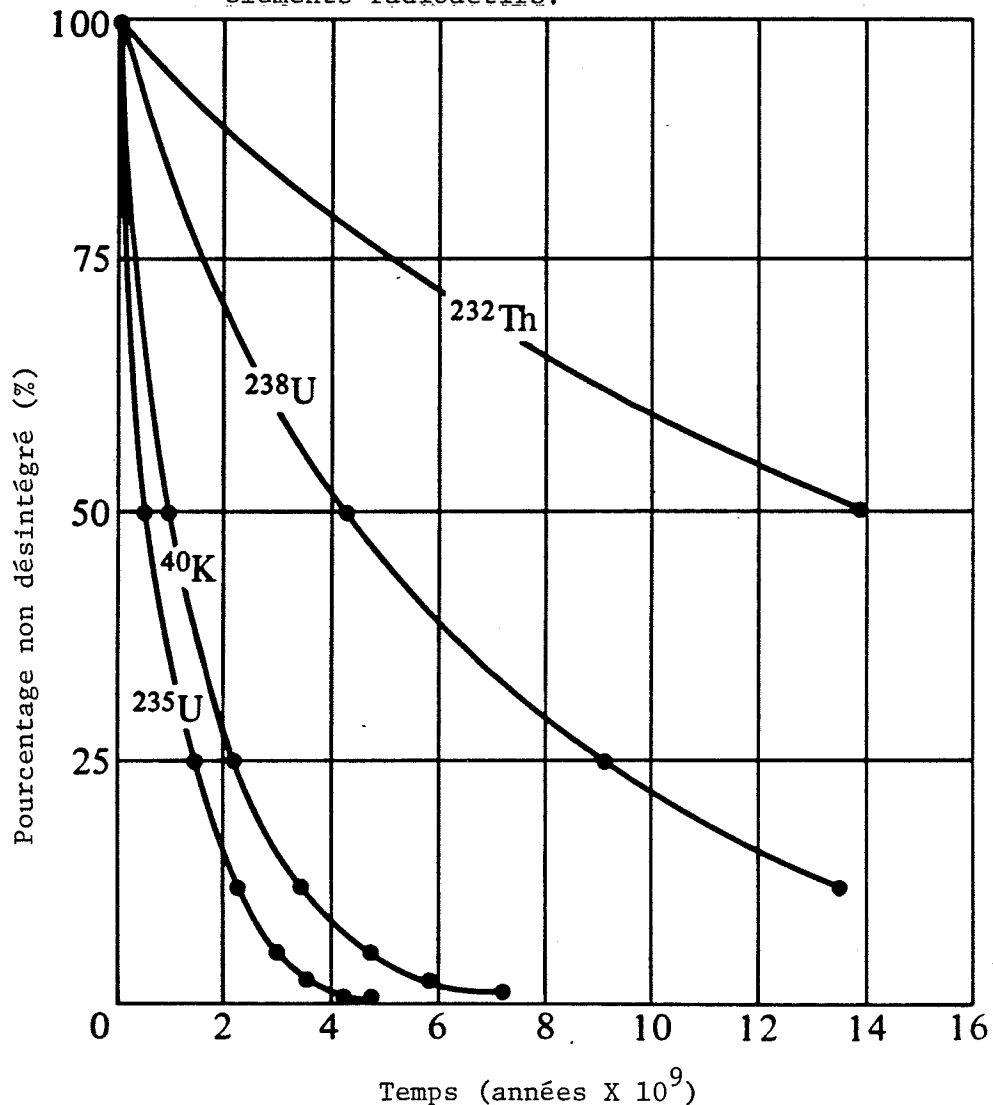
Construisez un graphique comparant le nombre de marqueurs dans la boîte à chaque arrêt.

Ensuite, faites l'activité de nouveau mais cette fois, marquez deux côtés de la boîte. Tracez cette courbe sur le même graphique. Finalement, faites l'activité en marquant trois côtés de la boîte. Tracez cette courbe sur le même graphique.



1. Supposons que chaque essai représente cent ans. Quelle est la demi-vie pour chaque modèle?
2. Comment avez-vous modifié la demi-vie dans cette simulation?
3. Comment vos résultats se comparent-ils à ceux des autres élèves?
4. Faites le bilan des résultats avec le premier modèle pour la classe entière. Comment vos résultats personnels se comparent-ils avec ce bilan?
5. Comparez votre graphique avec celui à la page suivante qui vous donne les courbes de désintégration de quatre différents éléments radioactifs. Le modèle utilisé dans cette simulation est-il approprié?
6. Comment pourriez-vous obtenir une courbe semblable à celle du thorium ( $^{232}\text{Th}$ ) en utilisant une simulation semblable?

**ILLUSTRATION 16:** Les courbes de désintégration de quatre éléments radioactifs.



Tiré de *Investigating the Earth - Teacher's Guide*, 2<sup>e</sup> édition, 1973. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.

## La radiochronologie

En 1907, l'Américain B.B. Boltwood découvrit que l'uranium se désintérait naturellement formant du plomb. Il conclut que l'âge d'un minéral donné pouvait être établi si on connaissait la quantité de l'*élément-parent*, (l'uranium), la quantité de l'*élément-fils*, le produit de la désintégration, (le plomb), ainsi que la vitesse de désintégration de l'*élément-parent*.

Une méthode de datation est basée sur la désintégration de l'uranium ( $^{238}\text{U}$ ) qui subit 14 *transformations* ou changements avant de devenir du plomb ( $^{206}\text{Pb}$ ). Au fur et à mesure que la désintégration de l'uranium se produit, la quantité de plomb s'accroît. La vitesse de la désintégration de l'uranium, ainsi que d'autres éléments instables, a été établie précisément. En plus, la recherche démontre que la vitesse caractéristique d'un élément radioactif n'a pas changé au cours de l'histoire géologique.

Après la formation d'un minéral contenant des atomes d'uranium, les produits de la désintégration commencent à s'accumuler. L'âge du minéral est calculé en déterminant la proportion entre l'*élément-parent* (l'uranium) et le produit final (le plomb). Cette analyse exige de l'équipement très spécialisé. Cette méthode présume que le plomb, une fois formé, ne s'échappe pas du minéral, que le plomb ne s'incorpore pas de l'extérieur, et qu'il n'y avait pas de plomb, de source non-radioactive dans le minéral à l'origine. Si la composition du minéral a été modifiée de n'importe quelle façon, l'analyse ne sera pas précise.

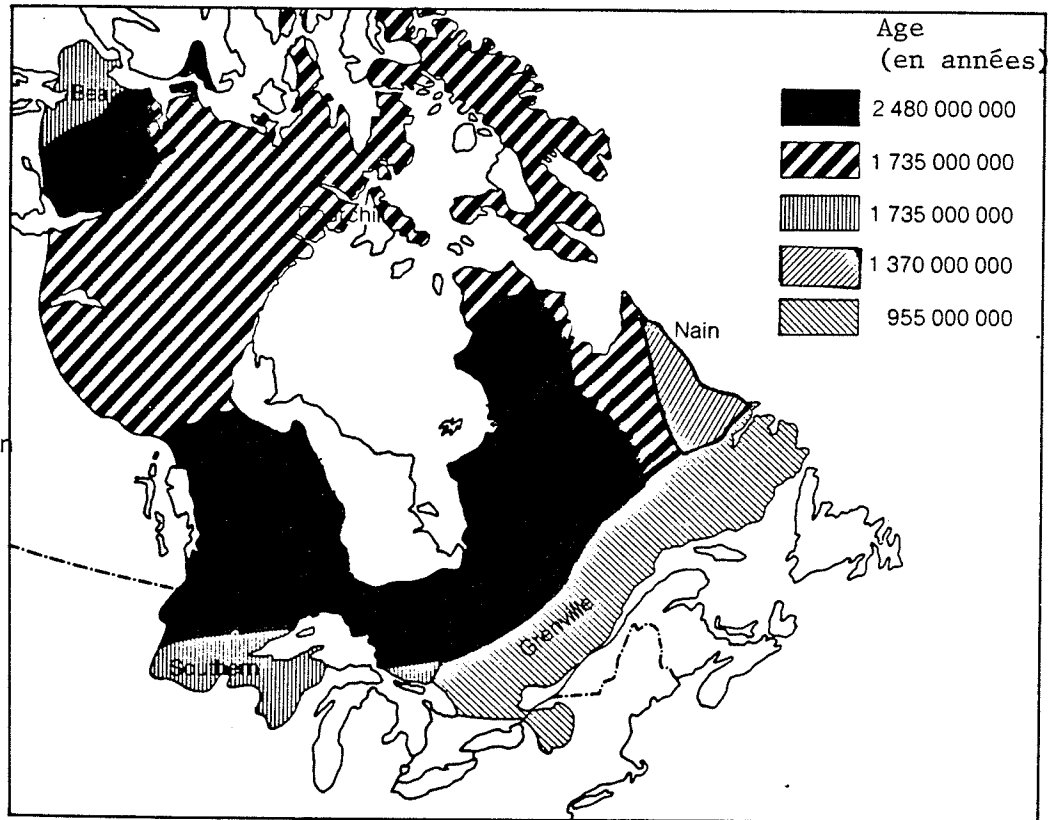
\*\*\* Expliquez comment l'analyse de la datation serait modifiée si trois échantillons d'un minéral étaient altérés selon chacune des manières décrites.

La demi-vie de l'uranium ( $^{238}\text{U}$ ) est extrêmement longue: 4,51 milliards d'années. Donc, l'uranium est utilisé dans la datation de roches très anciennes.

La carte suivante nous donne un aperçu des principales régions géologiques de l'est et du nord du Canada. Selon les géologues, toutes ces régions constituaient autrefois des montagnes. Les âges indiqués, déterminés en utilisant les méthodes décrites, identifient la plus récente phase de formation de montagnes pour chaque région.

ILLUSTRATION 17:

Tiré de *Geology and the New Global Tectonics* par J.R. Janes, 1976. Avec l'aimable autorisation de Macmillan of Canada: A Division of Gage Publishing Ltd.



Il est à noter que d'autres roches encore plus anciennes que ces dernières (3 200 000 000 ans) ont été découvertes dans la région du lac Supérieur.

Afin de dater des événements plus récents, qui se situent pendant les derniers 40 000 ans, un élément radioactif caractérisé par une plus courte demi-vie doit être employé. Puisque le carbone 14 a une demi-vie de 5 700 ans, on

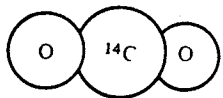
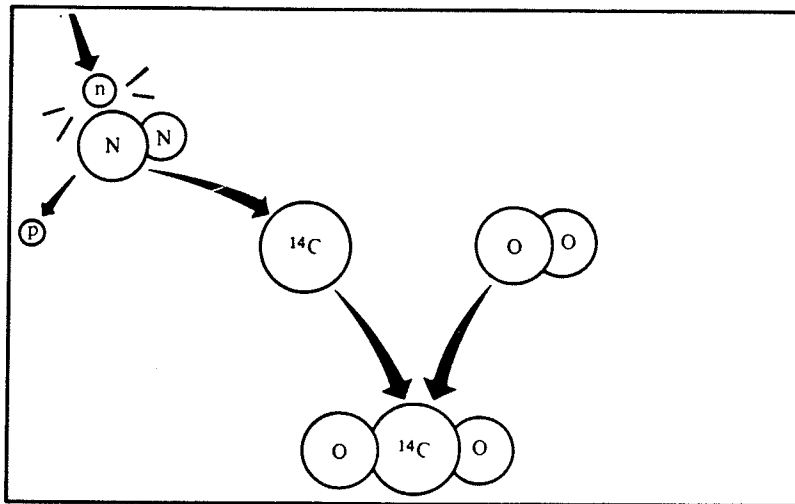
l'utilise généralement pour la datation récente.

Le carbone ordinaire ( $^{12}\text{C}$ ) n'est pas radioactif. Par contre, des atomes de radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) sont formés continuellement dans l'atmosphère supérieure de la terre par le bombardement de l'azote par des neutrons provenant des rayons cosmiques. Une fois formés, les atomes de carbone 14 peuvent se combiner avec l'oxygène pour produire du bioxyde de carbone qui peut s'incorporer naturellement dans les êtres vivants.

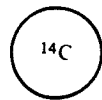
ILLUSTRATION 18:

Tiré de *Investigating the Earth*, 2<sup>e</sup> édition, 1973. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.

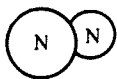
Les atomes de radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) sont formés dans l'atmosphère supérieure et s'incorporent dans le cycle de carbone.



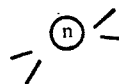
bioxyde de carbone



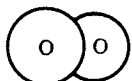
radiocarbone



azote



neutron

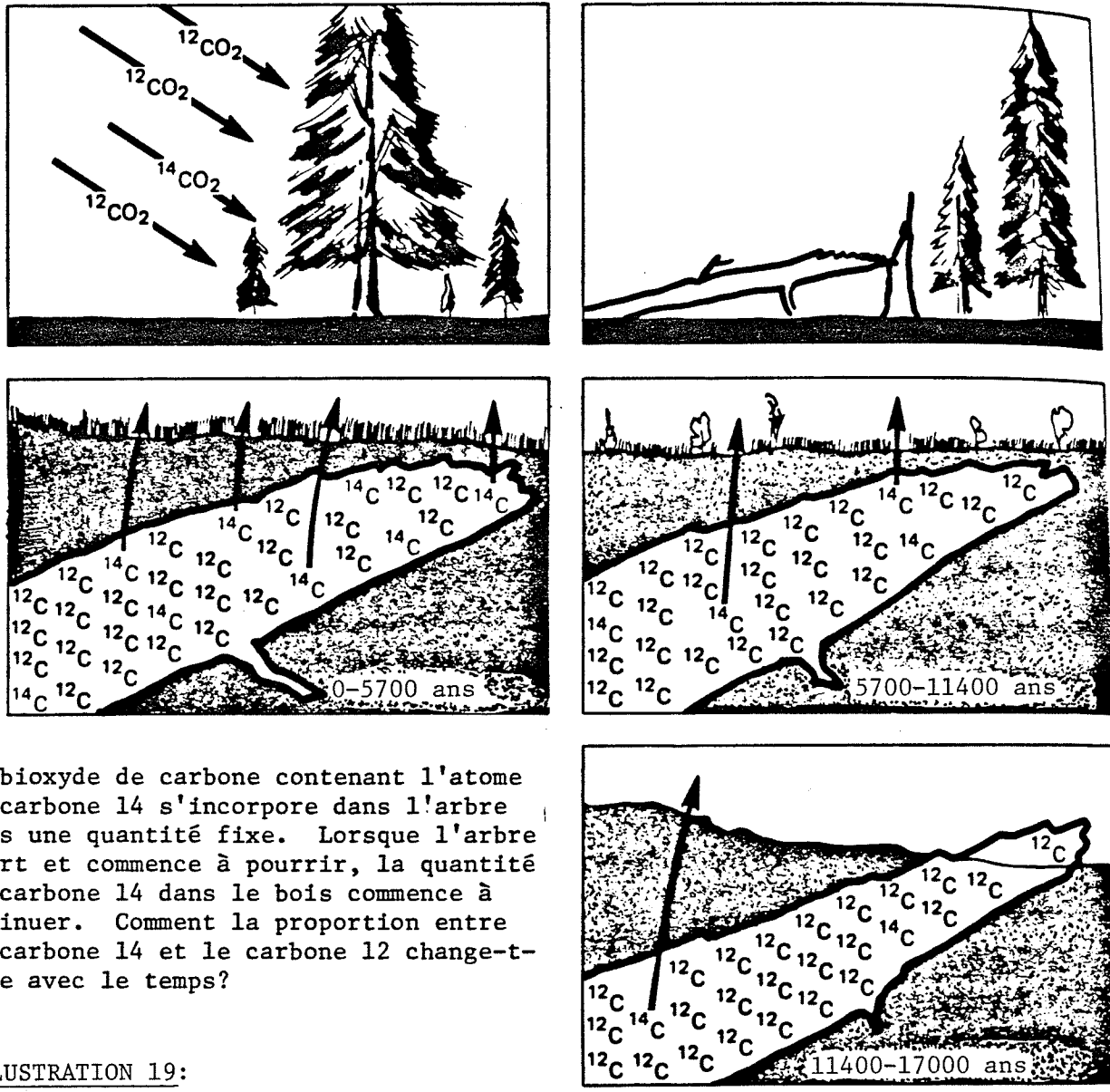


oxygène



proton

La datation par radiocarbone a été employée pour dater différents spécimens contenant de la matière organique telle que du bois, des os, du poil et même de la nourriture ancienne. Le diagramme suivant résume la logique derrière la datation radiocarbone.



Le bioxyde de carbone contenant l'atome de carbone 14 s'incorpore dans l'arbre dans une quantité fixe. Lorsque l'arbre meurt et commence à pourrir, la quantité de carbone 14 dans le bois commence à diminuer. Comment la proportion entre le carbone 14 et le carbone 12 change-t-elle avec le temps?

ILLUSTRATION 19:

Tiré de *Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup> édition, 1978. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.

D'autres procédés de datation sont utilisés par les scientifiques afin de connaître l'âge des roches. Certains procédés sont plus utiles parce qu'ils impliquent des éléments qui sont plus communs dans les roches que l'uranium 238 et le carbone 14.

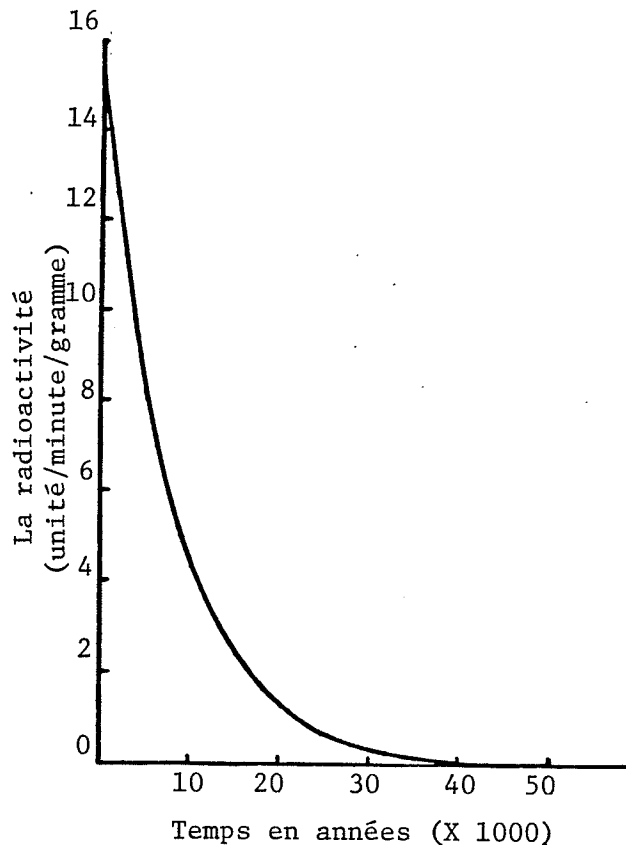
Un de ces procédés implique le potassium 40 ( $^{40}\text{K}$ ). Cette forme commune de potassium est légèrement radioactive. La désintégration de  $^{40}\text{K}$  est très complexe; cependant, un des produits de cette désintégration est l'argon 40 ( $^{40}\text{Ar}$ ). Le potassium est très commun dans plusieurs roches ignées. En plus, le  $^{40}\text{K}$  a une demi-vie de seulement 1,31 milliards d'années, ce qui représente une période de temps relativement courte. Puisque le potassium 40 est très commun et qu'il a une courte demi-vie, il est utilisé le plus fréquemment dans le procédé de datation.

1. Quelle méthode de datation serait appropriée pour dater des objets tels que:
  - (a) le cercueil en bois d'une momie égyptienne;
  - (b) un fossile de fougère trouvé dans du schiste;
  - (c) un mammouth gelé dans un glacier;
  - (d) du charbon trouvé dans l'Antarctique;
  - (e) un arbre ancien;
  - (f) la pointe d'une lance trouvée dans un feu de camp préhistorique;
  - (g) une roche lunaire.
2. Une inondation a exposé une souche ancienne qui avait été enterrée près du bord d'une rivière. Cette souche devrait contenir 0,28 gramme de carbone 14 si l'arbre était encore vivant. Une analyse avec un compteur Geiger indique que la souche contient 0,035 gramme de carbone 14. Quel âge a l'arbre?
3. Des sandales anciennes fabriquées avec de la corde de jute ont été découvertes en Orégon aux Etats-Unis. La datation radiocarbone indique qu'elles contiennent environ un quart de carbone 14. A quelle époque furent fabriquées ces sandales?

4. Les parchemins de la mer Morte (Dead Sea Scrolls) furent découverts dans une caverne en Jordanie. Quel procédé de datation a-t-on probablement employé pour démontrer que ces parchemins étaient âgés d'environ 2 000 ans?
5. Utilisez le graphique au bas de la page pour répondre aux questions ci-dessous:
- Un échantillon de séquoia ("Redwood") fossilisé, provenant de la Californie, possède une radioactivité (Carbone 14) de 10,6 unités/minute/gramme. Quel âge a l'arbre?
  - Un échantillon de bois pris d'une tombe égyptienne possède une radioactivité (Carbone 14) de 8,6 unités/minute/gramme. A quel époque cette tombe fut-elle construite?
  - Quelle sera la radioactivité d'un objet fabriqué il y a 20 000 ans?
  - Pourquoi la datation radiocarbone n'est-elle jamais utilisée pour un objet plus vieux que 40 000 ans?

ILLUSTRATION 20:

Graphique démontrant le rapport entre le radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) et le temps.



# LE CALENDRIER GEOLOGIQUE

L'élaboration du tableau des temps géologiques a nécessité plus de deux cents ans. Ce tableau divise l'histoire géologique selon les unités de temps nécessaires à la formation de certaines roches.

L'unité de temps ayant la plus longue durée est l'ère. Chaque ère peut être divisée en périodes qui, à leur tour, peuvent être divisées en unités encore plus petites appelées des époques. Placées en ordre chronologique, ces unités de temps deviennent le calendrier géologique.

Tiré de "La paléontologie, ça intéresse qui?" par S. Gagnon, *Spectre*, 1980. Avec l'aimable autorisation

TABLEAU SOMMAIRE DES TEMPS GEOLOGIQUES

de l'éditeur

Eres	Périodes	Epoques	Durée (année)
Cénozoïque	Quaternaire	Récent	De nos jours à 1 000 000
		Pléistocène	De 1 000 000 à 10 000 000
	Tertiaire	Pliocène	De 10 000 000 à 70 000 000
		Miocène	
		Oligocène	
Eocène			
Paléogène			
Mésozoïque	Crétacé		De 70 000 000 à 200 000 000
	Jurassique		
	Trias		
Paléozoïque	Permien	Pennsylvanien	De 200 000 000 à 350 000 000
	Carbonifère		
	Devonien		
	Silurien		
	Ordovicien	De 350 000 000 à 410 000 000	
	Cambrien	De 410 000 000 à 500 000 000	
Précambrien		Les plus vieilles roches datent de 3 900 000 000	
Origine de la terre			4-5 000 000 000 d'années?



ACTIVITE 7 - Un modèle du calendrier géologique

Les lignes de démarcation entre les ères, les périodes et les époques sont basées sur des changements reconnaissables tels que l'apparition d'une autre forme de vie dominante ou des épisodes dans la formation des montagnes. Par exemple, l'extinction des dinosaures sépare l'ère *mésozoïque* de l'ère *cénozoïque*. La formation des montagnes Appalaches signale la fin de l'ère *paléozoïque*. La ligne de démarcation n'est jamais précise. Elle représente plutôt une zone de transition dans l'écoulement du temps.

Il est difficile d'apprécier ces longues durées de temps géologique lorsque notre vie embrasse seulement des dizaines d'années. Le modèle suivant nous aidera à envisager les grandes périodes géologiques dans l'histoire de la terre.

Examinez la liste des événements décrits ci-dessous.

Décidez comment les représenter à l'échelle dans une série chronologique.

Muni d'un ruban de papier, préparez le modèle.

LES AGES DE DIFFERENTS EVENEMENTS (en années avant aujourd'hui)	
1.	Les roches les plus anciennes.....3,9 milliards
2.	Les premières plantes (les algues).....3,2 milliards
3.	Le Manitoba est couvert par une mer dans laquelle reposent des îles volcaniques.....2,6 milliards
4.	Les premiers animaux complexes (les méduses).....1,2 milliards
5.	Le début du Cambrien et la présence abondante de fossiles.....600 millions
6.	Le début de l'Ordovicien et les premiers vertébrés...500 millions
7.	Le début du Silurien et les premiers animaux terrestres.....440 millions
8.	Le début du Dévonien et les premiers amphibiens.....400 millions
9.	Le Manitoba est une aride plaine désertique voisine d'une mer tropicale située près de l'équateur.....360 millions

10.	Le début du Mississipien.....	350 millions
11.	Le début du Pennsylvanien et les premiers reptiles...	305 millions
12.	Le début du Permien.....	270 millions
13.	Le début du Trias et les premiers dinosaures et mammifères.....	225 millions
14.	Le début du Jurassique.....	180 millions
15.	Les premiers oiseaux.....	160 millions
16.	Le début du Crétacé.....	135 millions
17.	Le début du Paléogène et les premiers primates.....	70 millions
18.	Le début de l'Eocène.....	60 millions
19.	Le début de l'Oligocène et les premiers éléphants....	40 millions
20.	Le début du Miocène.....	25 millions
21.	Le début du Pliocène.....	11 millions
22.	Les premiers hommes.....	environ 2 millions
23.	Le début du Pléistocène, époque glaciaire.....	1 million
24.	La fin de l'époque glaciaire.....	10 000
25.	La disparition du lac Agassiz au Manitoba.....	8 000

FAITES LA CONVERSION DES EVENEMENTS SUIVANTS  
(en années avant aujourd'hui)

- |     |  |
|-----|--|
| 26. | L'éruption du mont Vésuve détruit la ville de Pompéi en 79 Apr. J.-C.. |
| 27. | La deuxième grande guerre mondiale en 1945.                            |
| 28. | Le centenaire du Canada en 1967.                                       |
| 29. | Le jour de l'an dernier.   |
| 30. | Aujourd'hui  |

1. Les premiers hommes sont apparus il y a combien de temps?
2. Comment compare cette période de temps au temps occupé par toute l'histoire de la terre?

## ACTIVITE 8 - Un casse-tête traitant de la corrélation des fossiles

Dans cette activité, utilisez la présence de fossiles dans différents affleurements afin de résoudre le casse-tête géologique.

Examinez les diagrammes d'affleurements démontrant les strates rocheuses. Les numéros de chaque strate identifient les fossiles qui s'y trouvent. Par exemple, si une strate est numérotée 10 et 16, alors le n° 10 - Mucrospirifer et n° 16 - Phacops y sont présents.

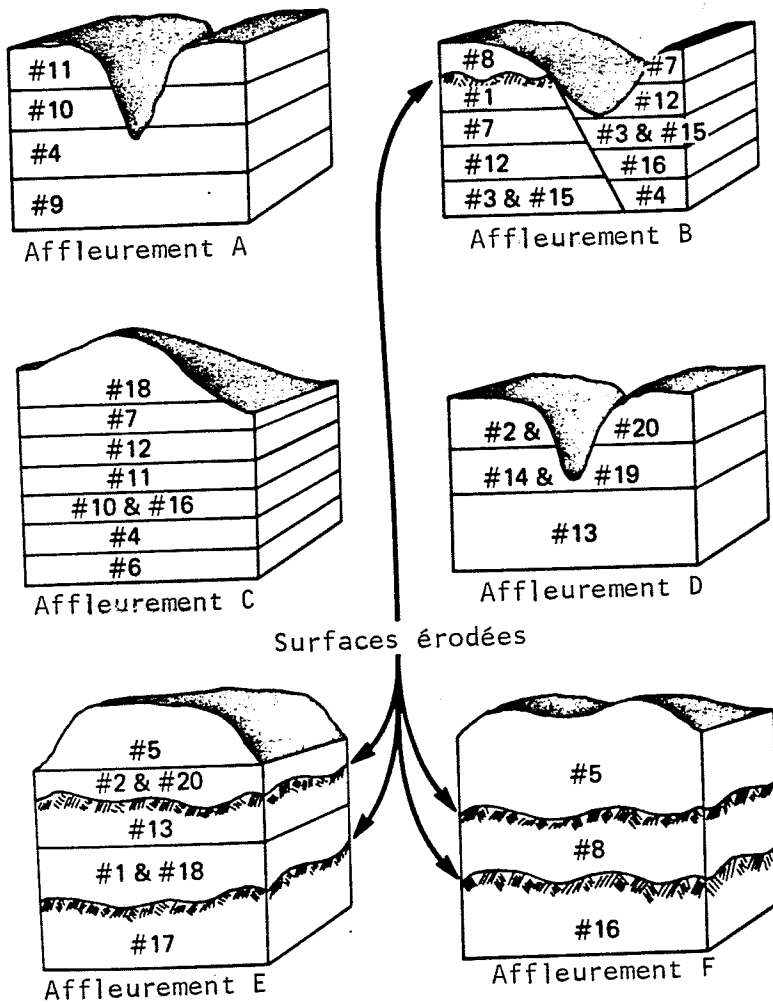
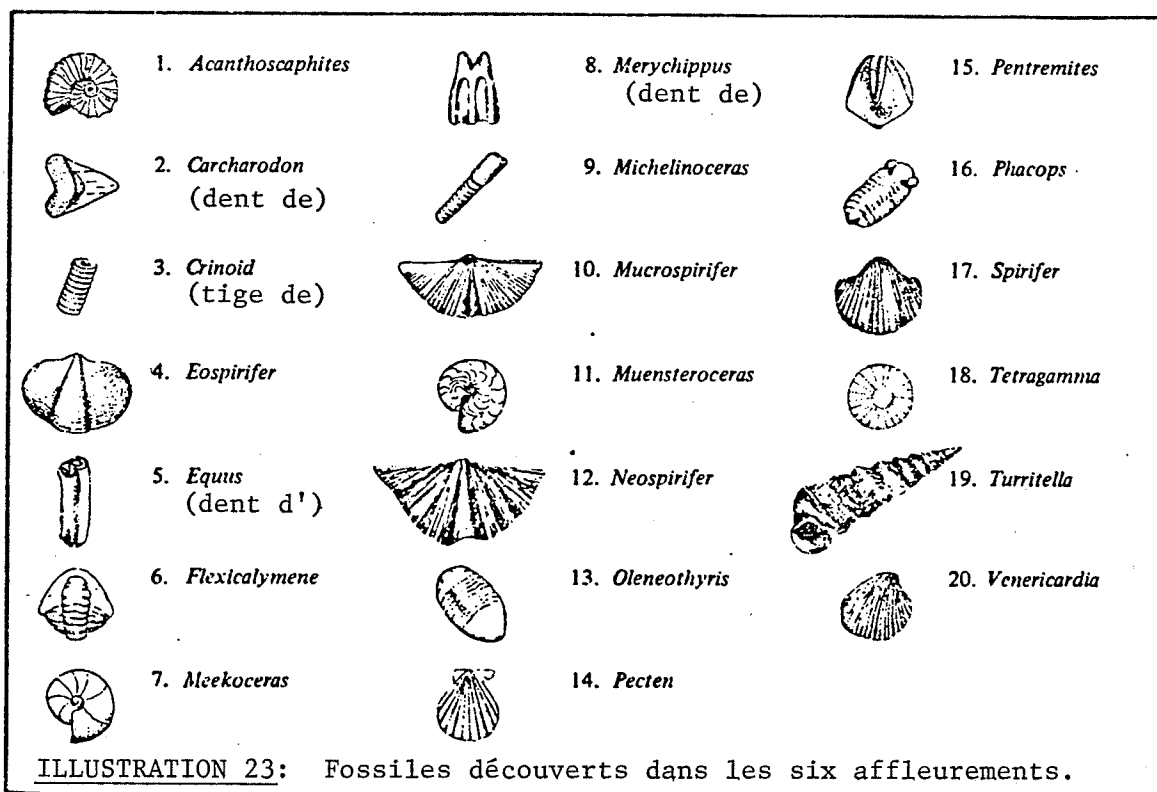


ILLUSTRATION 22:

Tiré de *Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup> édition, 1978.  
Avec l'aimable autorisation  
de American Geological  
Institute.

Les coupes de six  
différents affleurements  
dispersés sur une grande  
étendue.



Tiré de  
*Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup>  
édition,  
1978.  
Avec l'aimable auto-  
risation de  
American  
Geological  
Institute.

- Organisez toutes les strates (des six différents affleurements) dans une coupe composée de la plus ancienne au bas, à la plus récente, au haut. Puisque certaines strates se trouvent dans plus d'un affleurement, il est possible de comparer les affleurements afin de deviner l'âge relatif de toutes les strates dans la région. Donnez les raisons expliquant l'arrangement des strates que vous avez fait.

1. Quel fossile est apparu le premier? Comment le savez-vous?
2. Quel fossile est le plus récent? Comment le savez-vous?
3. Utilisez la coupe que vous avez élaborée pour estimer l'âge relatif de tous les fossiles.
4. Comparez votre coupe à celle des autres élèves.
5. Votre professeur vous donnera des informations supplémentaires concernant l'âge de ces différents fossiles. Compte tenu de ces nouvelles informations, votre coupe est-elle précise? Expliquez.
6. Modifiez votre coupe pour refléter ces nouvelles informations et comparez-la avec celles des autres élèves. Y-a-t-il plus ou moins de variété cette fois?
7. Quelle est la signification des procédés de datation des roches?

#### ACTIVITE 9 - La géologie du Manitoba

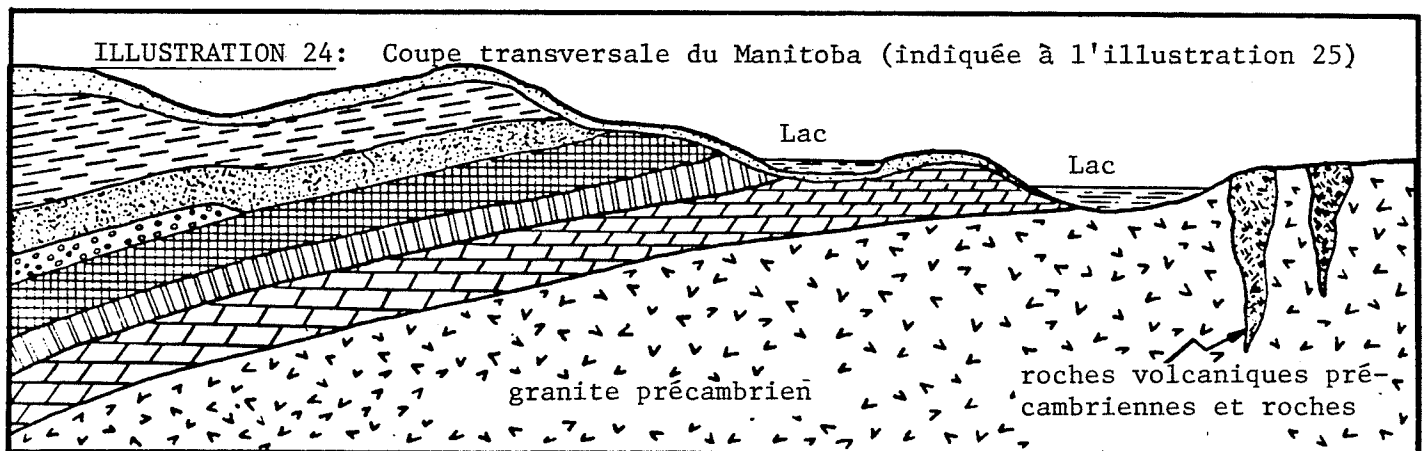
Etudiez la carte du *socle continental* du Manitoba (voir illustration 25). Le socle continental est la roche cristalline sur laquelle est déposée le sol et les dépôts des glaciers. L'illustration 24 vous donne un aperçu d'une coupe transversale de la province.

La légende identifie la période géologique où la roche cristalline du socle continental s'est formée.

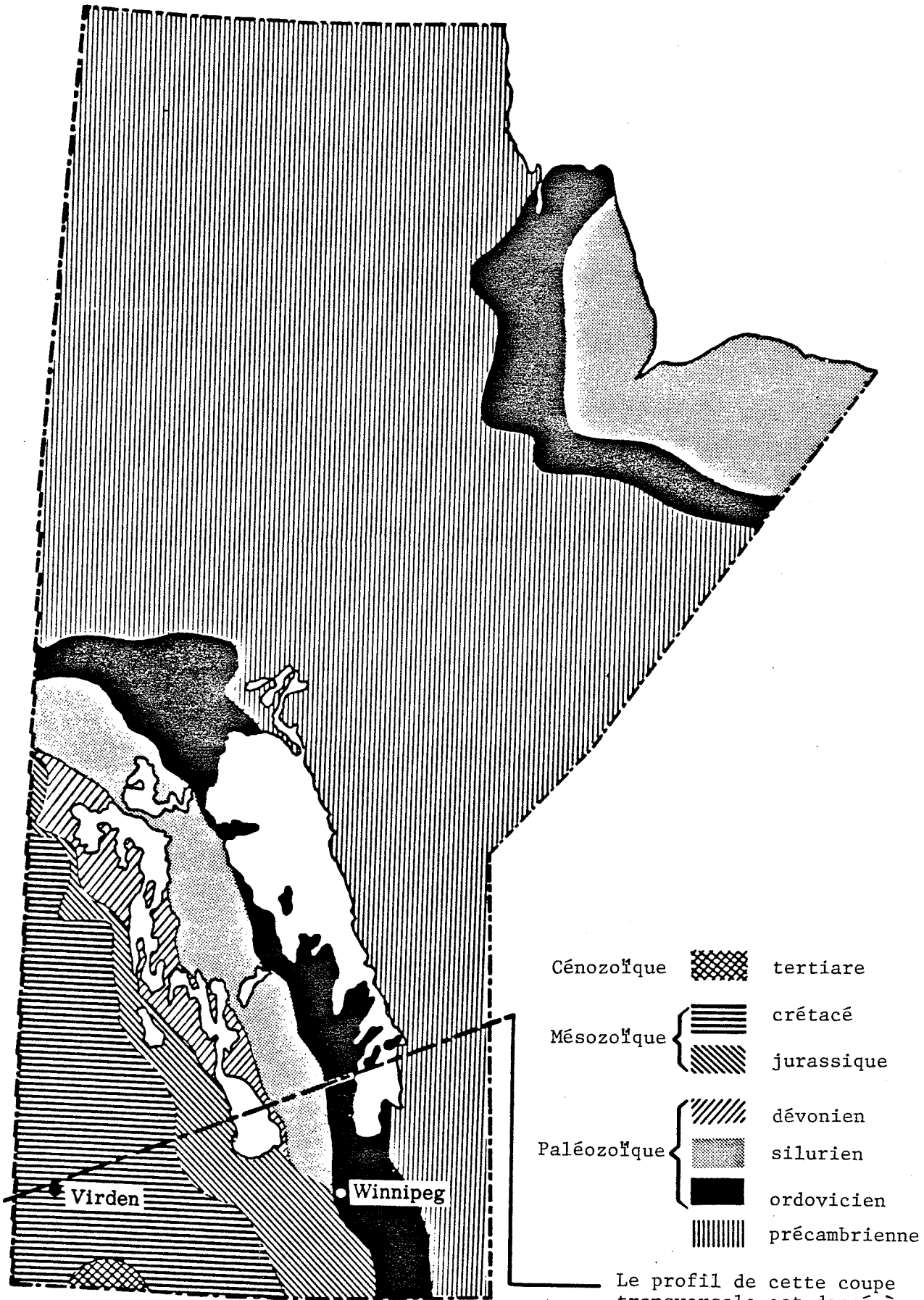
Coloriez la carte en utilisant les couleurs suivantes pour représenter les différentes ères:

rouge - roches précambriennes  
 bleu - roches paléozoïques  
 vert - roches mésozoïques  
 noir - roches cénozoïques

1. Où dans la province trouvons-nous les roches les plus anciennes? les plus récentes?
2. Le village de The Pas se situe sur un socle continental datant de quelle période géologique? Quels âges ont les roches composant ce socle continental?
3. Utilisez un atlas pour situer le village de Garson sur la carte du socle continental du Manitoba. Quelle sorte de roche est exploitée à Garson?
4. Faites de la recherche afin d'expliquer la formation des différentes roches composant le socle continental manitobain.



Eres	Périodes	Roches	Age maximum (en millions d'années)
Cénozoïque	tertiaire	argile, grès, lignite	70
Mésozoïque	crétacé	schiste et grès	125
	jurassique	grès, calcaire, schiste et gypse	165
Paléozoï- que	dévonien	calcaire et dolomite	330
	silurien	dolomite	360
	ordovicien	dolomite, calcaire, grès	420
Précam- brienne		granite, schiste, gneiss et autres roches volca- niques et sédimentaires	4 000



# VOCABULAIRE (Mots nouveaux)

82

catastrophique

demi-vie

nébuleuse

élément-parent/élément-fils

planètesimale

transformation

proto-planète

radiocarbone

géochronologie

ère

temps relatif

période

temps absolu

époque

varve

paléoclimat

superposition (principe de la)

continuité (principe de la)

corrélation

affleurement

strate

coupe stratigraphique

désintégration radioactive

datation

# EVALUEZ VOS CONNAISSANCES

63

## A. VRAI OU FAUX

Indiquez devant chacune des affirmations suivantes si elle est vraie ou fausse. Si elle est fausse, écrivez l'affirmation juste.

- 1 - Les théories nébuleuses soutiennent que les planètes ont été formées soudainement.
- 2 - Le comte de Buffon avança la théorie du genre planètesimale en 1745. L'élément de temps mentionné précédemment sera considéré un temps absolu.
- 3 - Une coupe stratigraphique montre l'histoire géologique d'un endroit.
- 4 - Une strate est une couche géologique.
- 5 - Les protons n'ont pas de charge et ils ajoutent à la masse du noyau d'un atome.
- 6 - L'âge d'un minéral radioactif est calculé en déterminant la proportion entre l'élément-parent et le produit final.
- 7 - Le plomb est le produit final de la désintégration radioactive de l'uranium.
- 8 - L'élément radioactif employé pour dater des spécimens contenant de la matière organique telle que du bois, des os, et du poil est le potassium 40 ( $^{40}\text{K}$ ).
- 9 - Nous respirons quotidiennement des atomes de radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ).
- 10 - Les roches les plus anciennes datent de 3,9 milliards d'années avant notre ère.



B. CHOIX MULTIPLE

84

Choisissez la réponse qui convient le mieux à chaque question.

1 - Une théorie avance l'idée que les planètes furent formées lors de l'explosion d'une étoile. Cette théorie devrait être classifiée du genre

- a) nébuleux
- b) catastrophique
- c) stellaire
- d) planètesimale

2 - Le Bouclier canadien est surtout composé de roches

- a) tertiaires
- b) crétacées
- c) jurassiques
- d) précambriennes

3 - Les anciens climats d'une région sont appelés les

- a) varves
- b) coupes transversales
- c) paléoclimats
- d) climatogrammes

4 - Une couche géologique est dite très ancienne si elle contient un fossile très ancien. Ce raisonnement est conforme à l'idée

- a) du principe de la superposition
- b) du principe de la continuité
- c) de la corrélation
- d) catastrophique

5 - Le noyau d'un atome est composé

- a) de protons
- b) de neutrons
- c) d'électrons
- d) de protons et de neutrons
- e) de protons et d'électrons
- f) de neutrons et d'électrons

6 - La moitié du thorium 232 sera encore non désintégré après

- a)  $2 \times 10^9$  années
- b)  $6 \times 10^9$  années
- c)  $10 \times 10^9$  années
- d)  $14 \times 10^9$  années

7 - Lequel des éléments radioactifs suivant se désintègre le plus vite?

- a) l'uranium 235
- b) le potassium 40
- c) l'uranium 238
- d) le thorium 232

- 8 - La demi-vie de l'uranium ( $^{238}\text{U}$ ) est de
- a) 4,51 milliards d'années
  - b) 4,51 millions d'années
  - c) 4,51 mille années
  - d) 4,51 siècles
- 9 - Selon le calendrier géologique, laquelle des unités ci-dessous est de plus longue durée?
- a) l'époque
  - b) la période
  - c) l'ère
  - d) le siècle
- 10 - Laquelle des époques suivantes est la plus récente de la période Tertiaire?
- a) Pliocène
  - b) Miocène
  - c) Oligocène
  - d) Eocène
  - e) Paléogène

C. COMPLETEZ LES PHRASES SUIVANTES

- 1 - Un(une) \_\_\_\_\_ est un petit corps céleste qui se transformera plus tard en vraie planète.
- 2 - Une description de temps \_\_\_\_\_ consiste à énumérer des événements selon leur ordre de déroulement.
- 3 - Des \_\_\_\_\_ sont de petites couches qui se succèdent et sont composées de matériaux sombres ou clairs dans un lac.
- 4 - Un \_\_\_\_\_ est un endroit où les différentes couches rocheuses sont visibles.
- 5 - Le(la) \_\_\_\_\_ est la transformation spontanée du noyau d'un atome qui libère de l'énergie.
- 6 - Le(la) \_\_\_\_\_ est le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des atomes d'un élément radioactif.
- 7 - La demi-vie du carbone 14 est de l'ordre de \_\_\_\_\_ ans.
- 8 - L'élément radioactif employé pour dater des événements géologiques très anciens est le(la, l') \_\_\_\_\_.
- 9 - L'ère qui dure de 70 000 000 à 200 000 000 années avant nos jours s'appelle le(la) \_\_\_\_\_.
- 10 - Nous vivons actuellement dans la période géologique \_\_\_\_\_.

D. QUESTIONS

37

- 1 - Quelles sont les différences fondamentales distinguant les théories catastrophiques des théories nébuleuses?
- 2 - Comment notre planète a-t-elle été formée?
- 3 - Expliquez pourquoi les varves sont formés de matériaux sombres et clairs qui alternent.
- 4 - Le "principe de la superposition" maintient que la couche géologique immédiatement à la surface est généralement la plus récente. Expliquez comment l'exception: une couche ancienne au-dessus d'une couche plus récente, pourrait se produire dans la nature.
- 5 - Expliquez pourquoi les divers éléments du noyau d'un atome ne sont pas impliqués dans des simples changements physiques et chimiques.
- 6 - La datation radioactive est basée sur une série de suppositions ou croyances. Quelles sont ces croyances et expliquer comment chacune modifie le résultat d'une analyse employant cette technique.
- 7 - Expliquez comment la perturbation de l'atmosphère supérieure causée par les humains pourrait fausser la datation radiocarbone.
- 8 - Expliquez comment la proportion entre le carbone 14 et le carbone 12 change après la mort d'un organisme.
- 9 - Décrivez le Manitoba comme il était il y a 360 millions d'années avant notre ère.
- 10 - Etudiez la carte du socle continental du Manitoba. Essayez d'expliquer la présence de roches paléozoïques le long du rivage de la baie d'Hudson.

# LA TERRE: ASTRE VIVANT

## UNE STRUCTURE DYNAMIQUE

Les dernières sections vous ont probablement donné l'impression que la terre est actuellement dans un état statique. Cette immobilité apparente permet au géologue d'interpréter l'histoire de la terre. Mais, en réalité, la terre continue à se transformer. Certes, c'est une évolution lente du point de vue humain, mais les forces de changements agissent constamment afin de refaire peu à peu la face de la terre.

### ACTIVITE 10 - Les dimensions de la terre

L'objectif de cette activité est de vous aider à développer le sens des proportions concernant les dimensions de la terre. La meilleure façon d'estimer ces dimensions est de dessiner un modèle de la terre à l'échelle.

Utilisez le papier quadrillé à la page suivante pour dessiner la coupe transversale de la terre.

Incluez tous les aspects suivants, à la même échelle, sur votre dessin. Essayez de ne pas exagérer la grandeur d'aucun aspect.

#### a) LA TERRE

Le diamètre équatorial - 12756 km

Le diamètre polaire - 12714 km

La croûte: l'épaisseur moyenne sous les océans 5 - 10 km

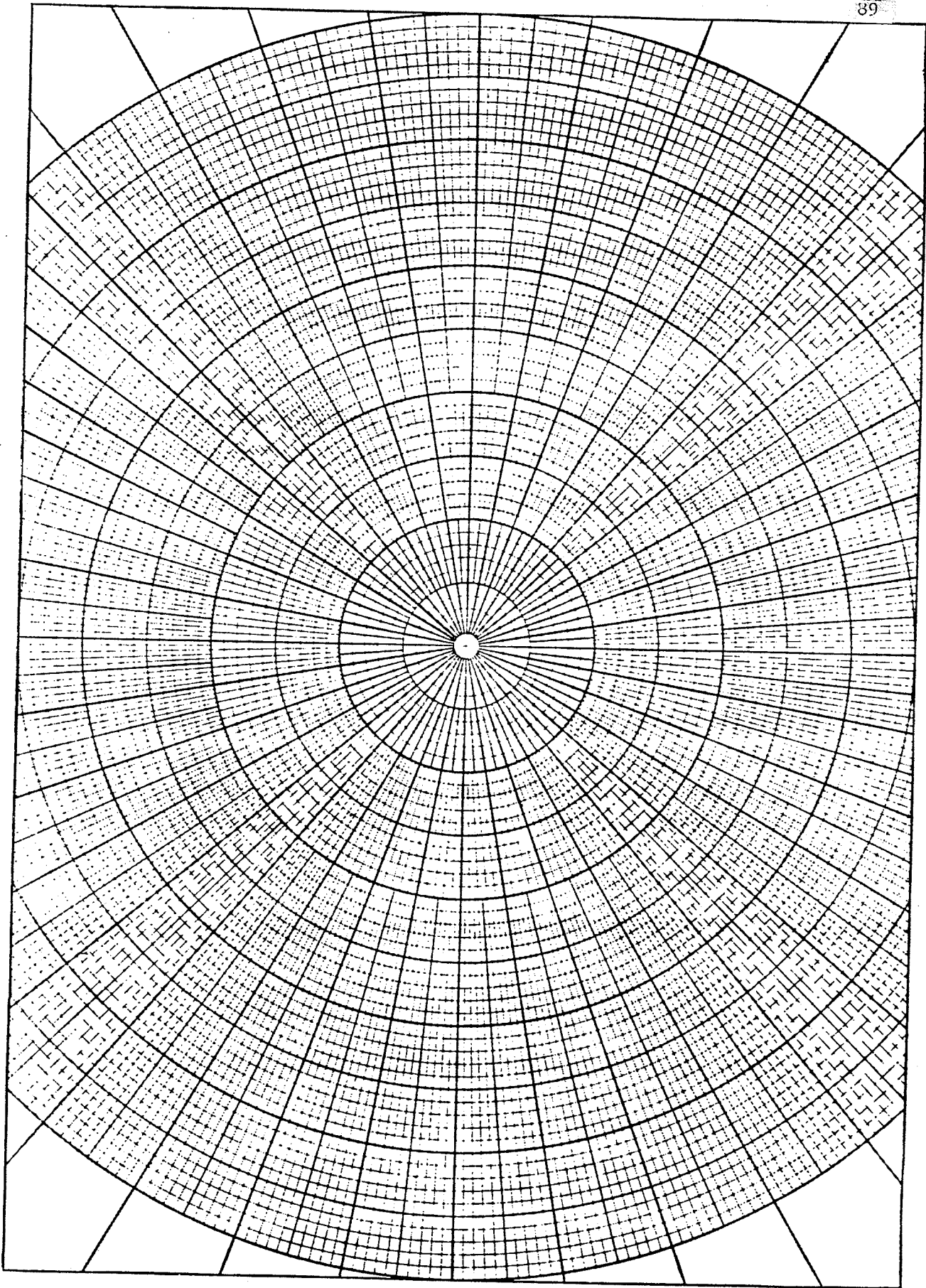
l'épaisseur moyenne sous les continents 24 - 60 km

(généralement plus épaisse en-dessous des chaînes de montagnes)

L'épaisseur du manteau - 2900 km

Le diamètre du noyau interne - 2600 km

L'épaisseur du noyau externe - 2170 km



b) LA SURFACE DE LA TERRE

La profondeur moyenne des bassins océaniques - 4 km

La hauteur moyenne des continents - 0,8 km au-dessus du niveau de la mer

La hauteur du mont Everest - 8880 mètres (ou 8,88 km au-dessus du niveau de la mer)

La profondeur de la fosse des Mariannes dans l'océan Pacifique - 11 km

Coloriez votre modèle afin de distinguer la croûte, le manteau et le noyau. Identifiez les parties du modèle.

1. Comment le diamètre de la terre se compare-t-il avec l'épaisseur de la croûte terrestre? du manteau? du noyau?
2. Construisez un graphique à barres afin de comparer les aspects de la surface de la terre (partie B ci-dessus).
3. Pourquoi l'épaisseur de la croûte terrestre varie-t-elle? Proposez une hypothèse pour expliquer cette variabilité.

ACTIVITE 11 - L'étude de l'intérieur de deux sphères

Dans la section précédente, vous avez fait un modèle de la structure intérieure de la terre. Mais comment les scientifiques ont-ils déterminé la composition interne de cette sphère mystérieuse? Ils n'ont certainement pas drillé un trou jusqu'au noyau terrestre. Ce type de forage serait d'ailleurs impossible. L'activité suivante vous donnera un aperçu de la sorte d'évidence utilisée par les géologues dans l'élaboration d'un modèle terrestre.

Votre professeur vous donnera deux sphères qui semblent être identiques. Mais, le sont-elles vraiment?

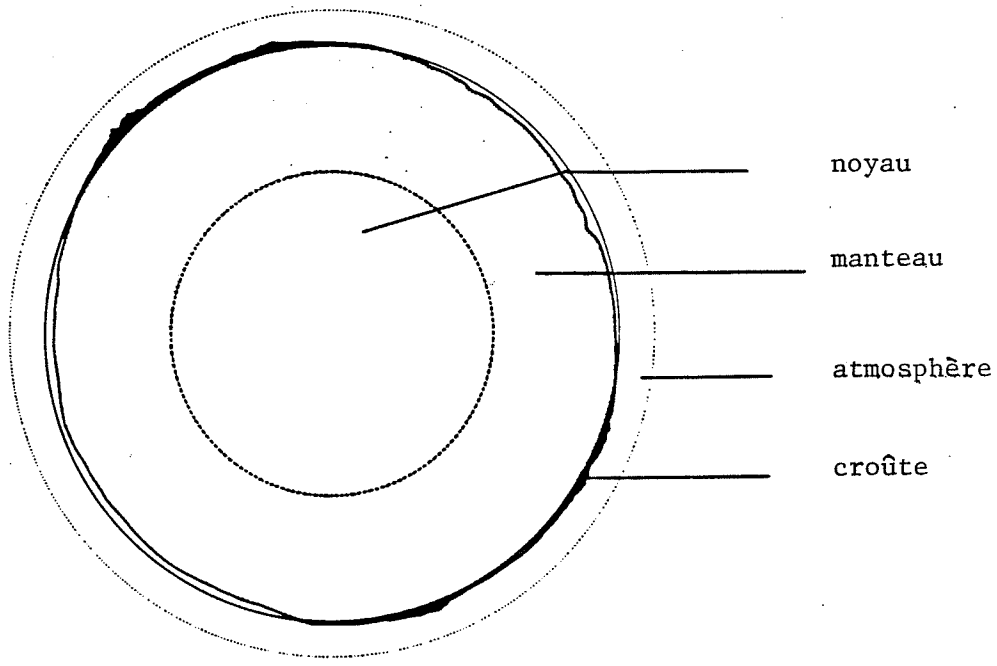
Faites n'importe quelles expériences avec ces sphères. Faites toutes les observations et prenez toutes les mesures que vous estimez nécessaires tout en prenant note des ressemblances et des différences entre ces deux sphères.

Compte tenu de toutes vos observations, décrivez l'intérieur de ces deux sphères et dessinez un modèle de chacune. Mettez en évidence les observations appuyant les modèles proposés.

La structure de la terre

Le modèle de la terre avancé tantôt peut être comparé à un oeuf. La coquille de l'oeuf représente la *croûte* terrestre. Le blanc de l'oeuf peut être comparé au *manteau* et le jaune au *noyau*. L'illustration suivante vous présente ce modèle. Les trois couches principales y sont représentées: la croûte, le manteau et le noyau. Il est à noter que l'illustration n'est pas dessinée à l'échelle.

ILLUSTRATION 27: Un modèle de la terre.



Tiré de *Extending Science Concepts in the Lab* par M. C. Schmid, 1970. Avec l'aimable autorisation de Prentice-Hall Canada Inc.



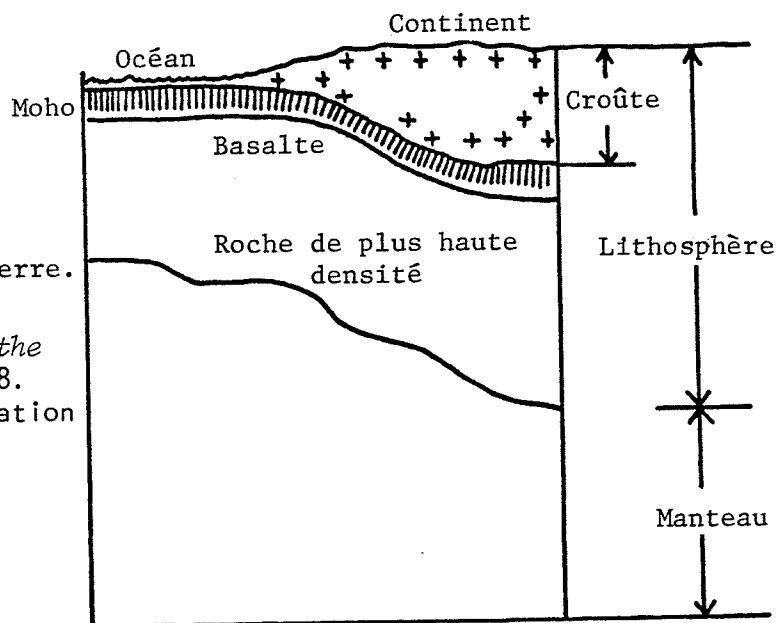
La composition des différentes couches a été identifiée aussi de façon indirecte. Selon l'évidence qui existe actuellement, les géologues ont avancé les propositions suivantes concernant la structure de la terre:

- (a) Le noyau est essentiellement composé de fer - la partie interne est solide tandis que la partie externe est fluide.
- (b) Le manteau consiste de plusieurs couches secondaires. La partie inférieure est probablement solide tandis que la partie supérieure est un fluide visqueux comme le goudron. Cette couche supérieure est nommée l'athénosphère.
- (c) La croûte constitue seulement un élément de la lithosphère qui inclut toutes les parties solides de la sphère terrestre. L'illustration suivante précise le rapport entre le manteau et la croûte.

ILLUSTRATION 28:

La composition de la terre.

Tiré de *Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup> édition, 1978.  
Avec l'aimable autorisation  
de American Geological  
Institute.



Selon ce modèle, la croûte continentale est essentiellement composée de *granite*, tandis que la croûte océanique est constituée de *basalte*. La couche basaltique s'étend de façon continue tout autour du globe. Ceci explique, en partie, pourquoi la croûte terrestre est plus épaisse sous les continents. Le

*Moho*, nommé d'après son découvreur, Andréja Mohorovičić, un sismologue yougoslave, est situé entre la croûte basaltique et la couche composée de *péridotite*. Le Moho est plutôt une *surface de discontinuité* ou une ligne de démarcation entre la croûte océanique de basalte et la couche de *péridotite* qui possède une plus haute densité.

\*\*\*Faites de la recherche à la bibliothèque sur le Moho.

#### ACTIVITE 12 - Une analyse des roches constituant la croûte terrestre

Votre professeur vous donnera un échantillon de chacune des roches suivantes: le granite, le basalte et le *péridotite*. Deux de ces roches sont caractéristiques de la croûte terrestre alors que la troisième est plutôt typique de la couche rocheuse sous le Moho.

Examinez ces échantillons avec une loupe.

1. Comment se comparent-ils? Identifiez, si possible, les minéraux.  
- Déterminez la masse volumique de chaque échantillon.
2. Comment se comparent leurs masses?  
- Déterminez si ces roches ont une propriété magnétique.
3. Comment se comparent-elles?

#### ACTIVITE 13 - Une étude de l'équilibre terrestre

L'activité précédente a démontré que les différentes roches composant le lithosphère de la terre se distinguent par leurs propriétés. Leurs masses volumiques différentes expliquent partiellement le fait que la croûte terrestre est plus épaisse sous les continents. Pouvez-vous expliquer pourquoi cette différence de masse volumique fait que la croûte continentale est plus épaisse? L'activité suivante vous donnera un aperçu du mécanisme expliquant ce phénomène.

##### Partie A

Faites une expérience avec différentes sortes de matériel flottant, telles que la glace, le bois, un cube en plastique, etc...

Placez-les dans un b cher rempli d'eau. Utilisez un cylindre gradué afin de mesurer l'eau déplacée.

Etant donné que l'eau a une masse volumique d'environ  $1 \text{ g / cm}^3$ , calculez la masse volumique de chaque matériel en utilisant les données qui indiquent le volume d'eau déplacé.

Répétez l'expérience avec un autre liquide, tel que l'alcool, l'huile à moteur, etc... Votre professeur vous indiquera la masse volumique de cet autre liquide.

1. Supposons que la glace est la croûte terrestre et que l'eau est la matière fluide du manteau en-dessous de la croûte. D'après ce modèle, comment explique-t-on l'observation que la croûte continentale est plus épaisse que la croûte océanique?

#### Partie B: (une démonstration)

Selon une explication, il y a des mouvements de matière à l'intérieur du manteau supérieur qui équilibrent les mouvements massifs à la surface de la terre. Considérez une chaîne de montagnes et la mer avoisinante. Avec le temps, le sommet de la montagne sera érodé et ce matériel sera transport  à la mer. La masse de la montagne est ainsi réduite et, par conséquent, la montagne se tient en équilibre à un niveau plus haut sur la matière fluide du manteau.

Placez un morceau de bois dans l'eau d'un évier. Marquez le niveau d'eau sur le bois.

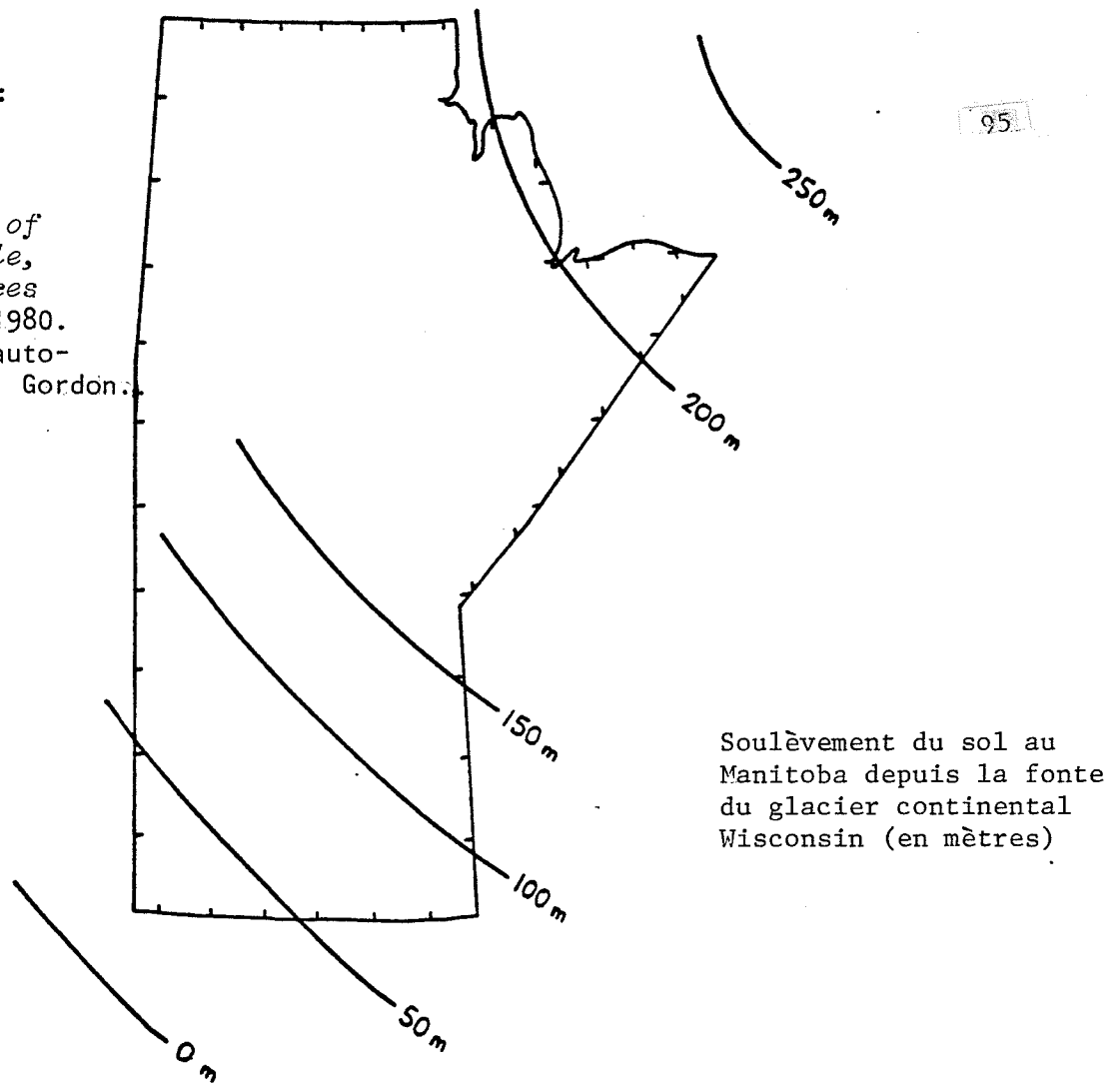
Ajoutez graduellement du sable sur le morceau de bois et marquez le niveau d'eau de nouveau.

Simulez l'érosion en enlevant du sable peu à peu.

2. Compte tenu de cette démonstration, comment explique-t-on le soulèvement du sol au Manitoba depuis la fonte du glacier continental qui, dans son temps, avait atteint une épaisseur de 3 kilomètres. Le soulèvement en mètres, par région provinciale, est résumé dans l'illustration suivante.

ILLUSTRATION 29:

Tiré de *Geology of Manitoba: People, Land and Resources of a Province*, 1980. Avec l'aimable autorisation de W.A. Gordon.



La croûte terrestre et l'isostasie

Le mot *isostasie* est dérivé du grec et signifie "état d'équilibre". L'isostasie réfère à l'équilibre vertical qui existe au sein des couches superficielles de la terre, entre les chaînes de montagnes et les plaines aussi bien qu'entre les continents et les bassins océaniques. L'état d'équilibre entre ces zones majeures de la croûte explique que des mouvements verticaux résulteront si l'une ou l'autre zone devient plus ou moins chargée. Comme un canot se situe plus bas dans l'eau lorsqu'il est chargé et plus haut dans l'eau lorsqu'il est vide, de même la croûte terrestre atteint son propre état d'équilibre selon sa charge. En effet, la côte de la baie d'Hudson est encore en voie de se soulever lentement au rythme de 12 millimètres ou plus par année. Les géologues croient que lorsque le soulèvement maximum sera atteint dans un avenir lointain, les lacs Winnipeg et Manitoba s'écouleront vers le sud et non plus vers la baie d'Hudson.

## Un outil géologique: les séismes

L'énergie peut se propager à travers la matière sous forme d'*ondes de compression*. En déterminant la *vitesse de la propagation des ondes*, le scientifique peut élaborer la structure de la substance. En effet, cette méthode est un outil très important dans l'étude de ce que le géologue ne peut pas voir, notamment, l'intérieur de la terre.

Lorsque vous laissez tomber une pierre dans l'eau, les rides ou les ondes concentriques se propagent à la surface de l'eau à partir du point de contact. La première onde est la plus grande. Graduellement, cette onde se rétrécit. Les ondes successives sont de plus en plus petites. A la fin du 19<sup>e</sup> siècle, des scientifiques ont découvert que l'énergie libérée par un tremblement de terre se diffuse par l'entremise d'*ondes sismiques*. Les ondes sismiques se propagent du *foyer*, le point d'origine souterrain de la rupture violente de la roche. Ces ondes se propagent dans toutes les directions et peuvent être détectées par des instruments sensibles.

Il y a plusieurs sortes d'ondes sismiques. Il y a les *ondes de compression* ou les *primaires*. Lorsque les ondes de compression voyagent à travers une masse, les particules individuelles vibrent dans le sens de propagation, comme un ressort. Ces ondes voyagent à une grande vitesse à l'intérieur de la terre et peuvent passer à travers les solides, les liquides et les gaz. Une deuxième sorte, appelée *ondes de cisaillement* ou les *secondaires (S)* voyagent aussi à l'intérieur du globe.

Ces ondes se comportent comme une corde agitée. Elles se déplacent plus lentement et ne passent pas à travers du matériel liquide ou gazeux. Ces deux sortes d'ondes sont désignées des *ondes de fond* car elles peuvent voyager à l'intérieur de la terre. Un autre groupe d'ondes de choc voyagent à la surface de la terre seulement. Ces *ondes de surface*, ou *ondes longues (L)*, sont les plus lentes et sont responsables en grande partie pour la nature destructive des tremblements de terre. L'illustration suivante démontre le comportement de ces trois types d'ondes sismiques.

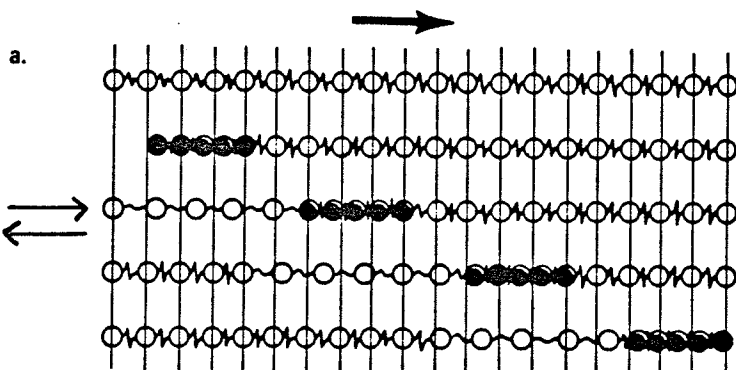
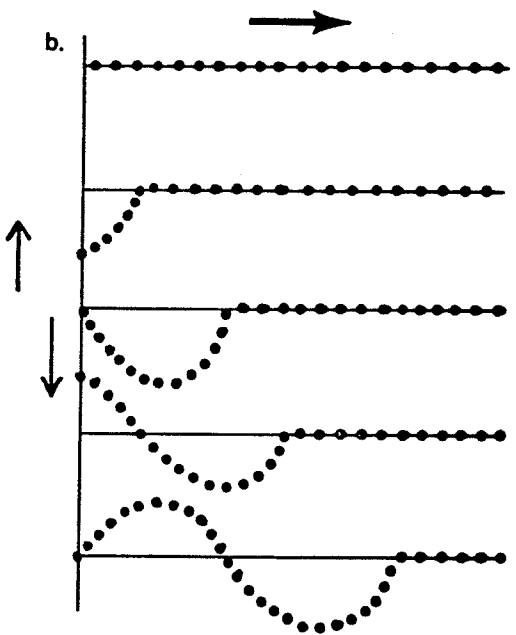


ILLUSTRATION 30:

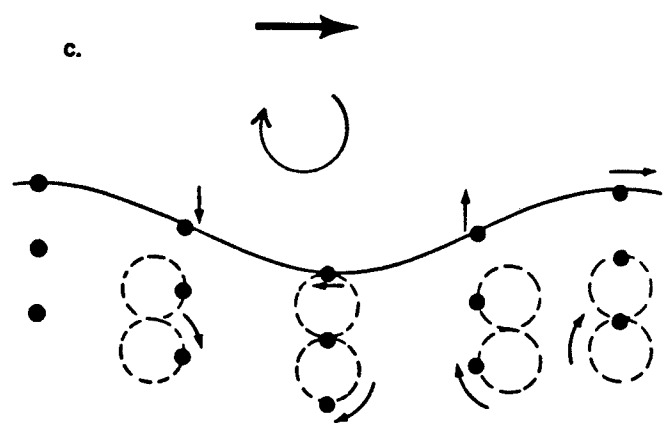
Le comportement de trois différents types d'ondes sismiques.

Tiré de *Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup> édition, 1978. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.

Les ondes de compression ou les primaires (P)



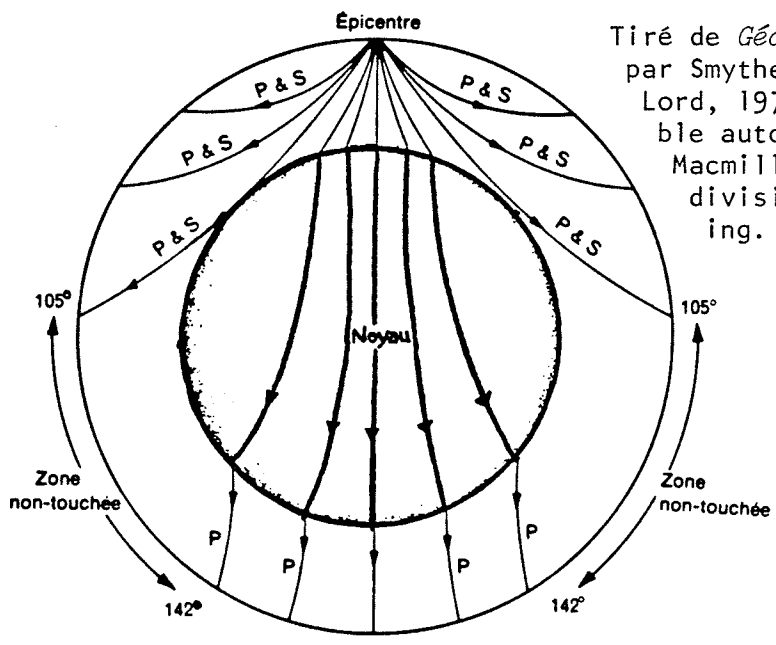
Les ondes de cisaillement ou les ondes secondaires (S)



Les ondes de surface ou les longues (L)

→ Sens de propagation  
 → Mouvement des particules

L'illustration suivante montre comment les ondes sismiques se propagent à partir du foyer. L'épicentre se situe à la surface de la terre directement au-dessus du foyer profond d'un tremblement de terre (voir illustration 32 qui démontre le rapport entre l'épicentre et le foyer).



Tiré de *Géographie physique* par Smythe, Brown, Fors et Lord, 1979. Avec l'aimable autorisation de Macmillan of Canada: A division of Gage Publishing.

**Répartition des ondes sismiques.** On notera que certaines régions sont affectées à la fois par les ondes primaires et secondaires et que d'autres ne le sont que par les ondes primaires. La zone non-touchée se situe entre 105° et 142° de l'épicentre.

\*\*\*Comment la répartition des ondes sismiques P & S nous donne-t-elle un indice de la structure intérieure de la terre?

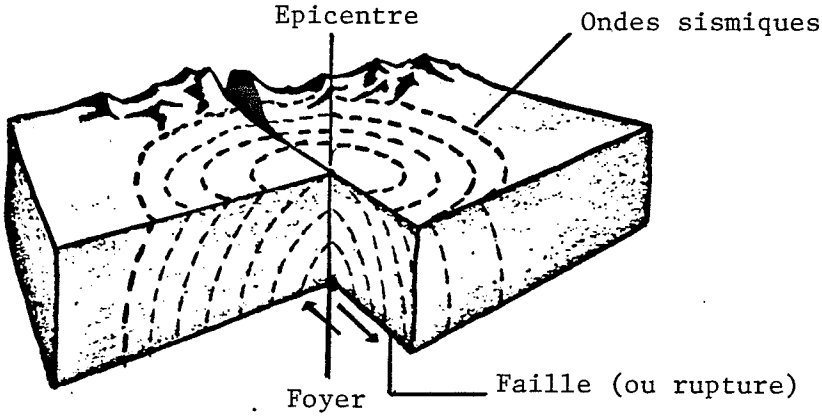


ILLUSTRATION 32:

Le rapport entre l'épicentre et le foyer d'un tremblement de terre.

Tiré de *Earth Science* par Coble, Murray and Rice, 1981. Avec l'aimable autorisation de Prentice-Hall, Inc.

## Les tremblements de terre

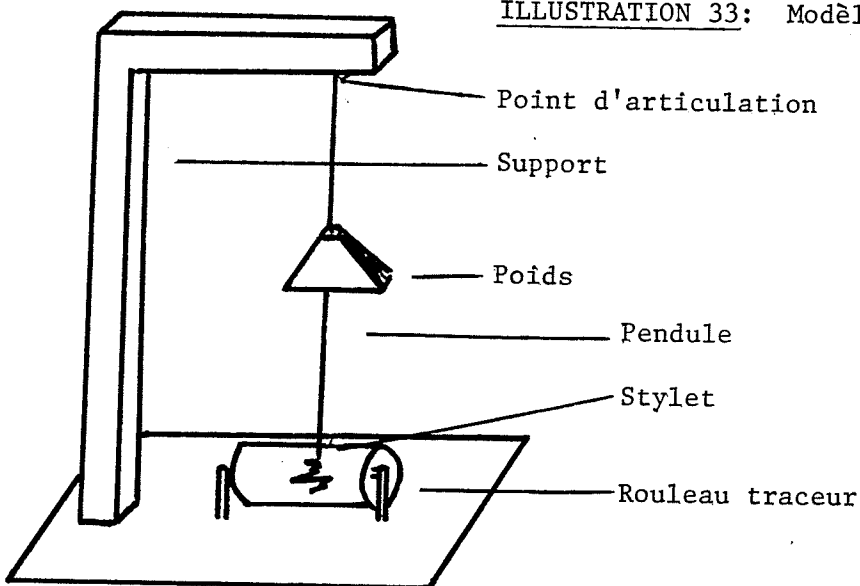
La *magnitude* d'un tremblement de terre est directement reliée au degré d'énergie qui se dégage du foyer du séisme. Le sismologue américain Charles F. Richter, spécialiste dans l'étude des tremblements de terre, a développé une méthode pour évaluer le déplacement du sol associé à un séisme. Il a assigné un numéro à chaque tremblement de terre selon l'*amplitude* maximale des ondes sismiques.

Cette magnitude est mesurée par un *sismographe* qui enregistre les mouvements d'un point sur l'écorce terrestre. L'enregistrement des secousses sismiques est appelé un *sismogramme*. L'adoption de l'*échelle Richter* au niveau international nous permet de déterminer la magnitude d'un tremblement de terre indépendamment de ses effets sur l'humanité.

Selon l'échelle Richter, les numéros plus élevés désignent des tremblements de terre ayant une plus grande force. Chaque numéros dans la série indique une secousse dix fois plus forte que le numéro précédent. Un tremblement de terre de 5 sur l'échelle Richter est donc 100 fois plus puissant qu'un autre de 3. Une magnitude de 7 ou plus est un indice d'un tremblement majeur. La secousse la plus forte enregistrée jusqu'à présent avait une magnitude de 9,5 selon l'échelle Richter.

### ACTIVITE 14 - La construction d'un sismographe

ILLUSTRATION 33: Modèle d'un sismographe.



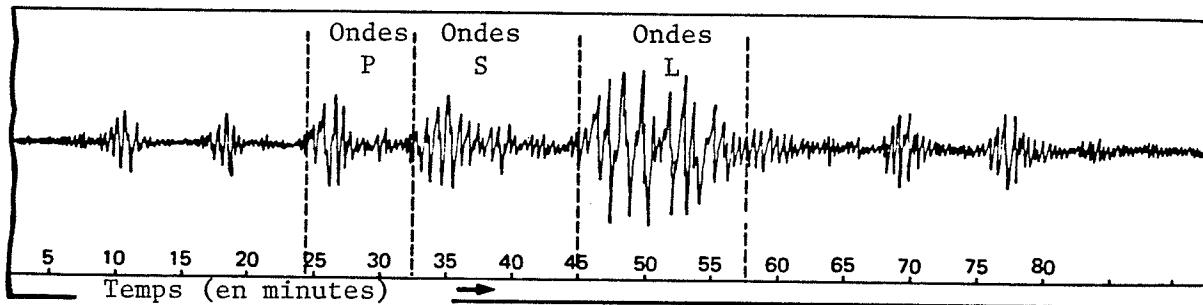


Construisez un sismographe simple.

1. Comment le sismographe fonctionne-t-il? Sur quel principe est-il fondé?

- Placez votre sismographe sur une table. Simulez des secousses et enregistrez-les avec le sismographe.
- Essayez d'enregistrer un sismogramme semblable à l'exemple suivant. Prenez en note la différence entre les ondes P, S et L.

ILLUSTRATION 34: Un sismographe.



Tiré de *Extending Science Concepts in the Lab* par M.C. Schmid, 1970. Avec l'aimable autorisation de Prentice-Hall Canada Inc.

### L'évaluation des dégâts sismiques

L'*intensité* ou la force des secousses d'un tremblement de terre nous donne un indice des pertes humaines et des dégâts matériels dûs à un séisme. L'évaluation de l'intensité est faite par des observateurs(trices) spécialisé(e)s utilisant un code international. L'intensité est évaluée d'après les changements physiques qui se produisent dans un endroit donné. L'*échelle modifiée de Mercalli* comprend des degrés d'intensité progressivement plus sérieux. Cette échelle classifie les dégâts attribuables aux séismes en 12 catégories. Une intensité de 1 signifie de faibles secousses détectées généralement par très peu de gens. A l'autre extrémité de l'échelle, une intensité de 12 caractérise une situation où la destruction est presque totale. En somme, l'intensité sismique nous donne un indice de l'effet du tremblement de terre sur l'homme et la magnitude nous donne un indice de ce qui s'est passé à l'intérieur de la terre.

Les principales caractéristiques qui définissent chaque échelon de l'échelle modifiée de Mercalli sont un résumé de très nombreuses descriptions. Les différents échelons de l'échelle des intensités sont les suivants:

- I. Non ressenti, sauf par quelques rares personnes dans des circonstances particulières. Les oiseaux et les animaux sont mal à l'aise, les arbres se balancent, les portes et les lustres oscillent légèrement.
- II. Ressenti par quelques personnes au repos, en particulier dans les étages supérieurs des habitations.
- III. Ressenti à l'intérieur des maisons, mais la plupart des gens n'identifient pas un tremblement de terre: vibrations analogues à celles que provoque un petit camion. On peut estimer la durée des secousses.
- IV. Les assiettes, les fenêtres et les portes vibrent, les murs craquent. Vibrations analogues à celles provoquées par le passage d'un gros camion. Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart des gens, à l'extérieur par quelques personnes seulement.
- V. Ressenti par presque tout le monde; beaucoup de personnes sont réveillées. Les petits objets instables sont déplacés; les plâtres peuvent s'effriter.
- VI. Ressenti par tout le monde; beaucoup de gens sont effrayés et sortent des maisons. Des meubles peuvent être déplacés. Les livres tombent, des étagères et les tableaux se décrochent. Les cloches sonnent. Les cheminées peuvent être endommagées, mais les dégâts restent limités.
- VII. La plupart des personnes se précipitent à l'extérieur. Il est difficile de se tenir debout. Les automobilistes ressentent les secousses. Les dommages sont négligeables pour les immeubles spécialement conçus, faibles pour les immeubles bien construits, considérables pour les structures légères ou mal bâties. Il apparaît des vagues sur les étangs ou sur les piscines.

L'intensité VII correspond à ce qui a été ressenti dans un rayon d'une quinzaine de kilomètres autour de l'épicentre du tremblement de terre de San Fernando, en février 1971. Les niveaux d'intensité plus élevés furent ressentis dans des secteurs limités au Nord de la vallée San Fernando.

- VIII. La conduite des automobiles est affectée. Les maisons de bois bougent sur leurs fondations ou sont détruites; les murs faits de panneaux s'abattent. Quelques murs de maçonnerie s'écroulent. Les cheminées se tordent ou tombent. Les dommages sont légers pour les édifices spécialement construits et importants pour les immeubles peu solides. Les meubles sont renversés.
- IX. Panique générale. Les dommages sont considérables: d'importants immeubles s'effondrent partiellement, les réservoirs et les canalisations souterraines sont endommagés. Apparition de fissures dans le sol.
- X. De nombreuses maisons et leurs fondations sont détruites. Certaines structures en bois, même bien conçues, sont détruites. Les rails de chemin de fer sont légèrement tordus, nombreux glissements de terrain.
- XI. Aucune construction ne reste debout. Destruction des ponts. Larges fissures dans le sol. Déformation importante des rails.
- XII. Destruction totale. Les objets sont projetés dans les airs.

Tiré de *La faille de San Andreas* par Don Anderson. Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

#### ACTIVITE 15 - Comment situer l'épicentre d'un tremblement de terre

Un des outils importants dans le domaine de la sismologie est un graphique qui compare la distance de l'épicentre des différents types d'ondes avec leurs temps d'arrivée. Ce graphique permet au sismologue de situer l'épicentre d'un tremblement de terre.

La vitesse de propagation des ondes P est plus grande que celle des ondes S. Donc, même si ces deux types d'ondes se propagent précisément en même temps à partir du même endroit, ils seront enregistrés aux observatoires sismiques à des temps différents.

#### Partie A

Considérez un séisme enregistré par un sismographe à Washington, D.C., à 08:00:00 (ou 8 h 00) heure de Greenwich en Angleterre. Le même séisme est enregistré par différents observatoires aux temps indiqués dans le tableau de données ci-dessous:

ILLUSTRATION 35: Le temps d'arrivée des ondes sismiques enregistrées à différents observatoires.

Ville	Distance en kilomètres	Ondes P Temps d'arrivée (T.U.)*	Ondes S Temps d'arrivée (T.U.)*
Buenos Aires, Argentina	8640	8:11:50	8:21:42
LeCaire, Egypte	9590	8:12:37	8:23:12
Bogota, Colombie	4840	8:08:05	8:14:25
Londres, Angleterre	6060	8:09:27	8:17:06
LosAngeles, Californie	3810	8:06:42	8:12:11
Moscou, U.R.S.S.	8040	8:11:20	8:20:41
SanFrancisco, Californie	4040	8:07:00	8:12:40
Stockholm, Suède	6800	8:10:12	8:12:31

\*T.U.: Temps universel (heure de Greenwich)

Construisez un graphique comparant le temps d'arrivée des ondes P à chaque observatoire sismique (sur l'axe vertical) par rapport à sa distance de l'épicentre du tremblement de terre (sur l'axe horizontal). Sur le même graphique, tracez la courbe du temps d'arrivée par rapport à la distance pour les ondes S.

Utilisez ce graphique afin de répondre aux questions suivantes.

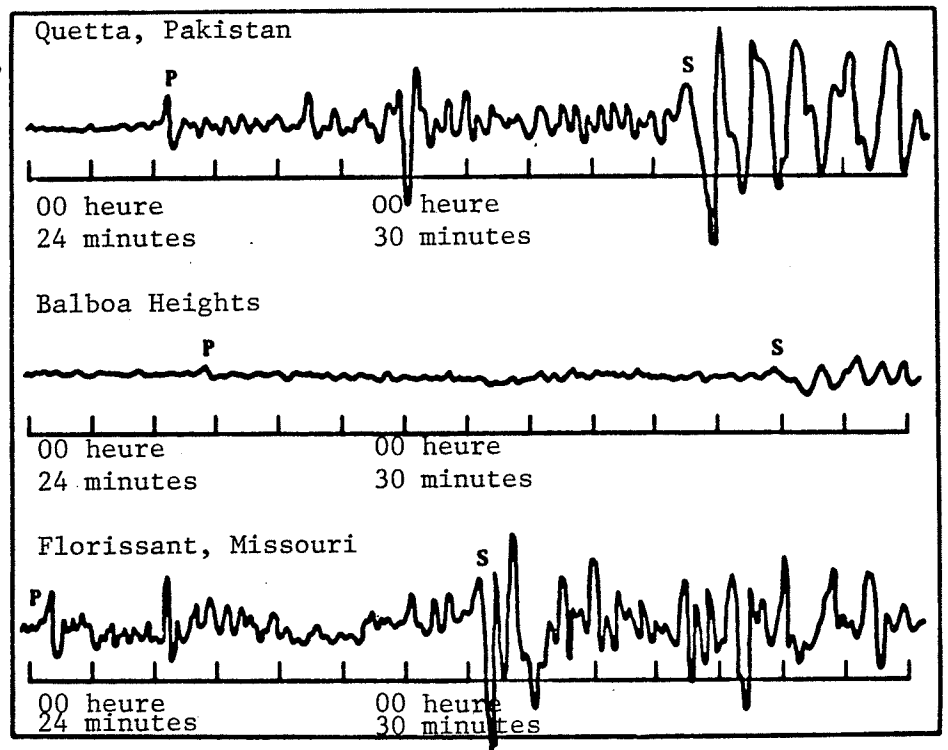
1. Combien de temps est requis pour la propagation des ondes P du foyer du tremblement de terre à un observatoire sismique situé à une distance de 2000 km du foyer?
2. Combien de temps est requis pour la propagation des ondes S sur une distance équivalente?
3. Quelle différence existe-t-il entre les temps d'arrivée de ces deux types d'ondes à un observatoire sismique situé à une distance de 3000 km du foyer du tremblement de terre? à 5000 km du foyer?
4. Quel rapport existe-t-il entre la distance de l'observatoire sismique à l'épicentre du tremblement de terre et le temps d'arrivée des ondes sismiques?

Partie B

Utilisez votre graphique et un globe afin de situer l'épicentre d'un tremblement de terre enregistré dans les sismogrammes à l'illustration suivante. Le temps est indiqué pour chaque sismogramme permettant un point de repère commun.

ILLUSTRATION 36: Situer l'épicentre du tremblement de terre enregistré dans ces trois sismogrammes.

Tiré de *Investigating the Earth*, 3<sup>e</sup> édition, 1978. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.



5. Où se situe l'épicentre du tremblement de terre?
6. Comparez votre réponse à celle des autres élèves. Les réponses sont-elles identiques? Comment expliquez-vous ces différences?

### Partie C

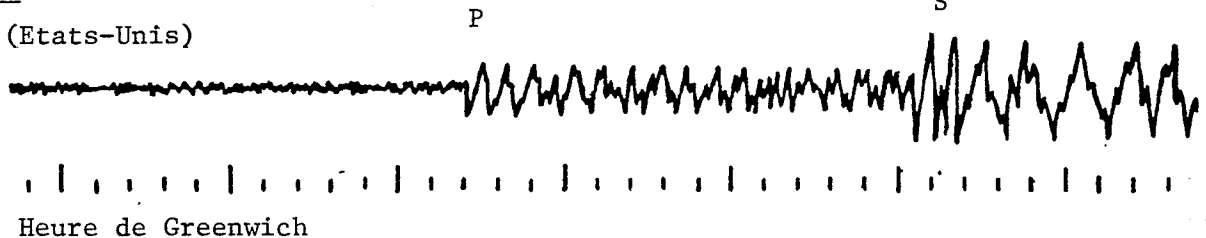
Utilisez les données sismographiques ci-dessous afin de situer l'épicentre d'un deuxième tremblement de terre. (Notez bien que l'échelle de distance de la carte ainsi que celle du graphique ne sont pas exactes, en réalité.)

Marquez l'épicentre du tremblement de terre. Coloriez le triangle d'erreur.

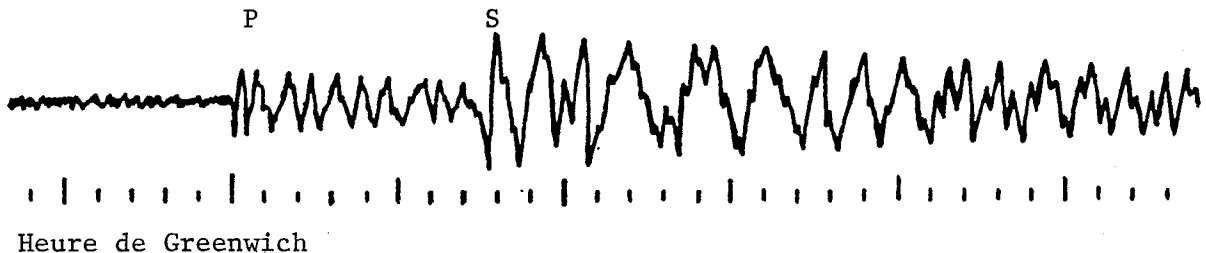
7. Quand le tremblement de terre s'est-il manifesté au foyer sismique?

ILLUSTRATION 37: Les sismogrammes enregistrant un tremblement de terre. S

a) de Boston (Etats-Unis)



b) de Minneapolis (Etats-Unis)



c) de Pasadena (Etats-Unis)

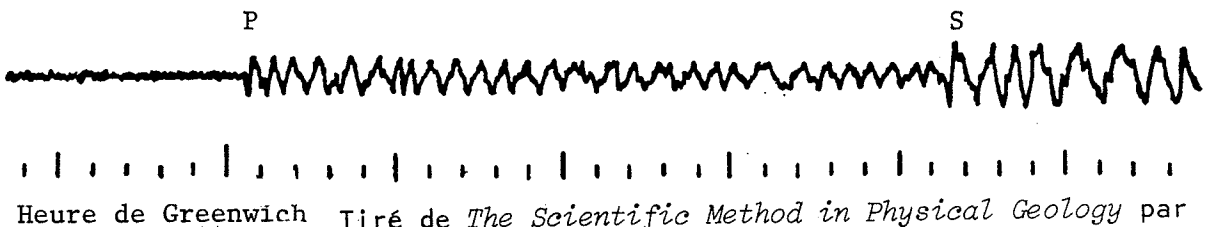
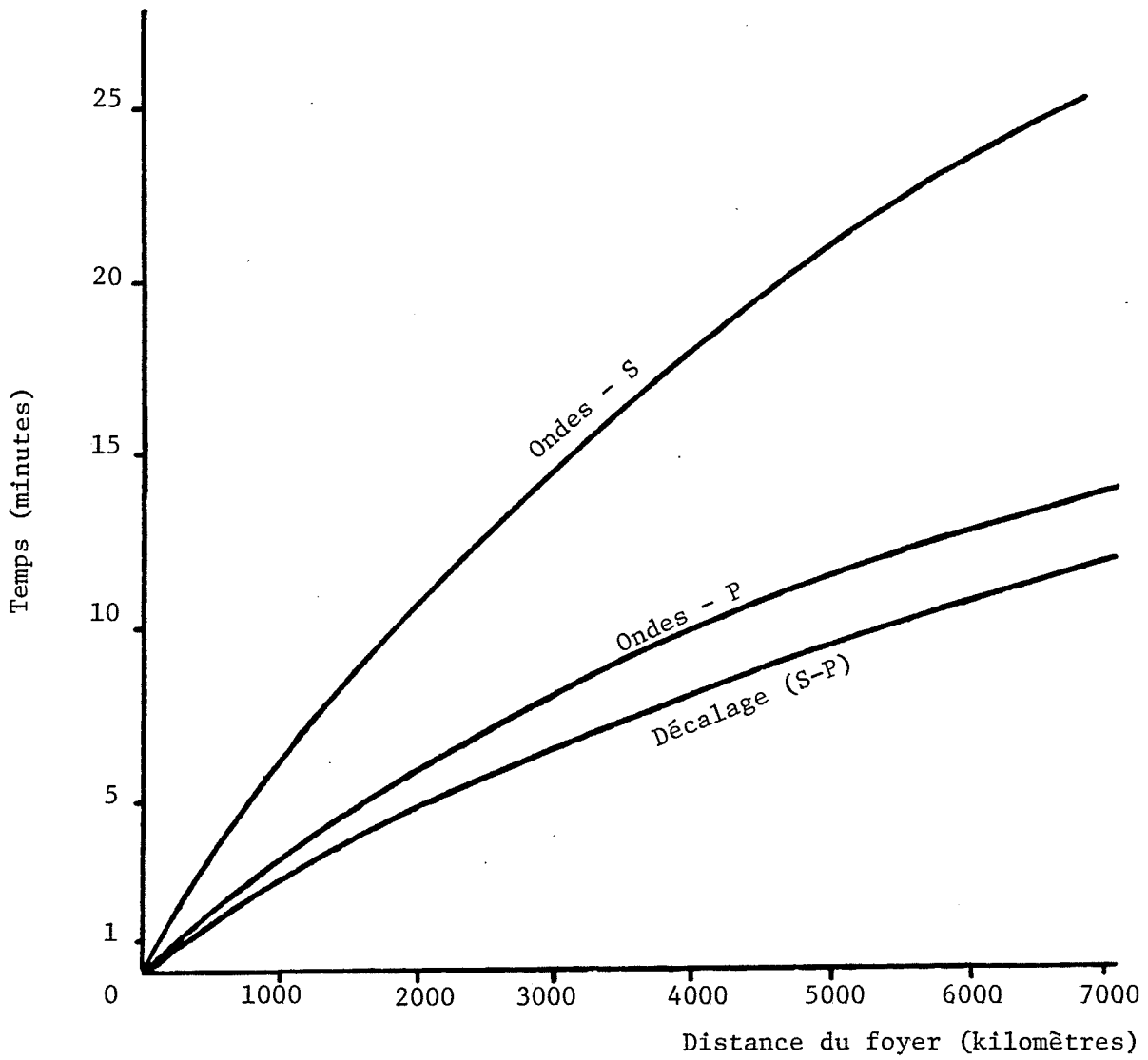


ILLUSTRATION 38: Graphique démontrant le rapport entre la distance et le temps des ondes sismiques.



Tiré de *The Scientific Method in Physical Geology* par M.S. Woyski, © 1970. Avec l'aimable autorisation de Wadsworth Publishing Company, Belmont, California 94002.

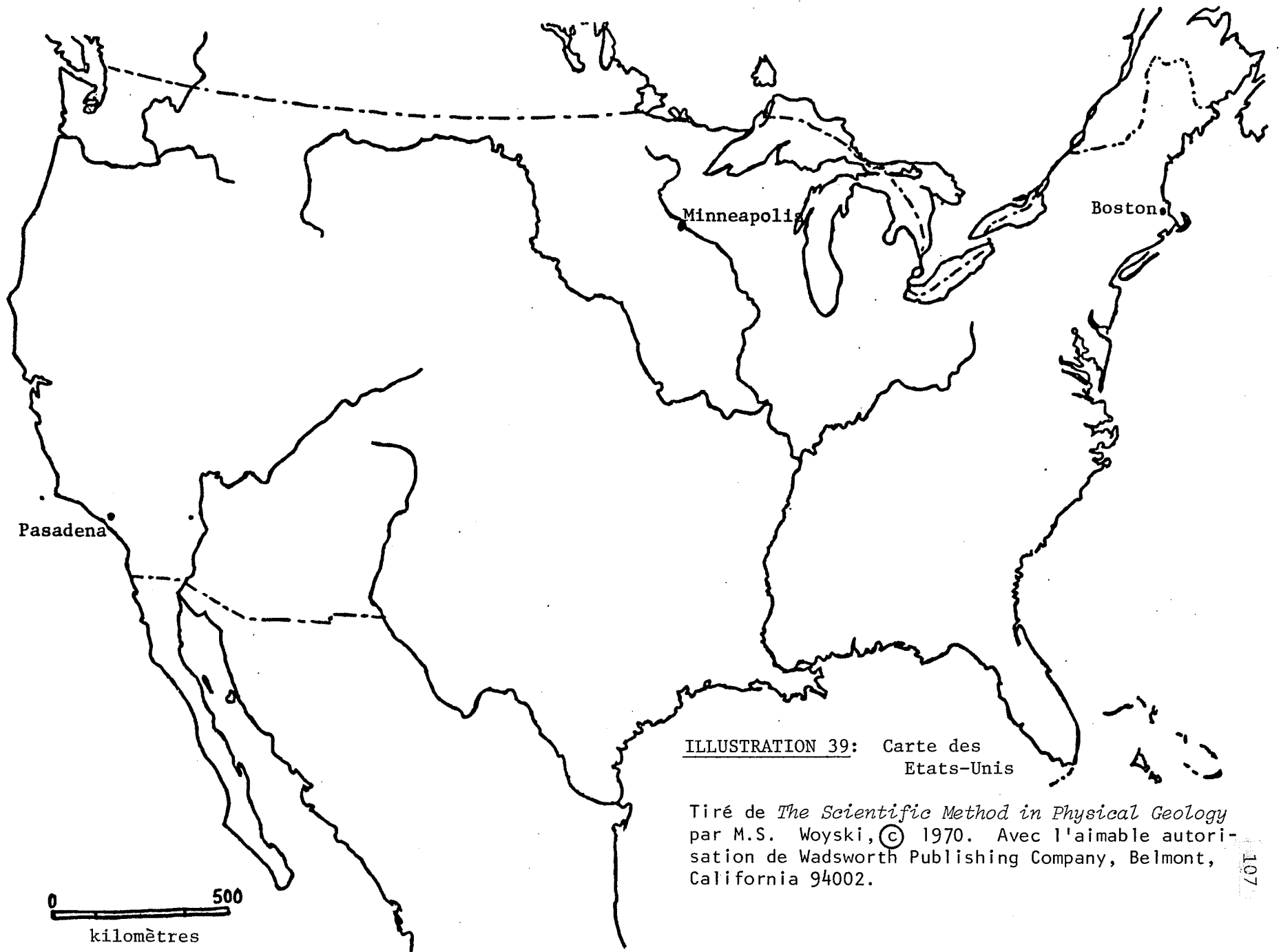


ILLUSTRATION 39: Carte des  
Etats-Unis

Tiré de *The Scientific Method in Physical Geology*  
par M.S. Woyski, © 1970. Avec l'aimable autori-  
sation de Wadsworth Publishing Company, Belmont,  
California 94002.



## LA TERRE EN EVOLUTION

D'après les chapîtres précédents, on peut constater que la terre est un astre dynamique, presque vivant. Notre planète a changé radicalement au cours des quatre ou cinq milliards d'années qui se sont écoulées depuis son origine. Mais comment explique-t-on l'origine des séismes qui se manifestent régulièrement? Comment explique-t-on le fait que le Manitoba était autrefois situé à l'équateur? Cette section nous aidera à mieux comprendre ces phénomènes.

### La dérive des continents

La notion que les continents actuels proviennent d'un seul ensemble, un *super-continent*, n'est pas une nouvelle idée. Francis Bacon, en 1620, déclara publiquement que les contours continentaux suggéraient une complémentarité. Mais il n'avança pas d'explications pour cette observation. Alfre Wegener présenta, en 1912, son hypothèse à ce sujet, soutenue par diverses observations et preuves dont plusieurs sont acceptées encore aujourd'hui. Le fait que cette idée ait été laissée de côté pendant une cinquantaine d'années, pour être éventuellement ranimée, ne lui enlève aucune crédibilité.

#### ACTIVITE 16 - L'assemblage des continents

L'hypothèse que proposa Wegener était certainement soutenue par la complémentarité évidente entre les rives continentales. Il avança l'idée que tous les continents constituaient autrefois un ensemble super-continental qui, par la suite, s'est séparé pour former les continents actuels.

### Partie A

Découpez les continents de la carte mondiale à la page suivante (illustration 40). Essayez d'assembler ces blocs continentaux en un seul ensemble. Tracez une nouvelle carte démontrant le rapport entre les blocs continentaux dans le super-continent.

1. Quels problèmes avez-vous rencontrés dans l'assemblage d'un super-continent?
2. Supposons que quelqu'un vous demande votre opinion concernant l'idée que les continents formaient autrefois un super-continent. Que répondriez-vous? Quelles sortes d'information auriez-vous besoin pour appuyer votre raisonnement?

Mettez les blocs continentaux de côté puisqu'ils seront utilisés de nouveau plus tard.

### Partie B

Déchirez en même temps et en plusieurs morceaux une pile de dix pages d'un journal. Entremêlez les pages et ensuite essayez d'assembler les différents morceaux.

3. Quels indices avez-vous utilisés pour assembler les morceaux du journal?
4. Le principe de l'assemblage des continents d'après le contour des rives continentales n'est pas le seul critère à respecter dans la reconstitution de l'ancien super-continent. L'assemblage des morceaux du journal exige que les caractères soient alignés. Quelles sortes d'information géologique pourraient servir comme indice dans l'assemblage des continents?

### Les anciens glaciers: une preuve de la dérive des continents

Au cours du 19<sup>e</sup> siècle, les géologues ont découvert de l'évidence soutenant la notion qu'une époque glaciaire s'est produite il y a 200 millions

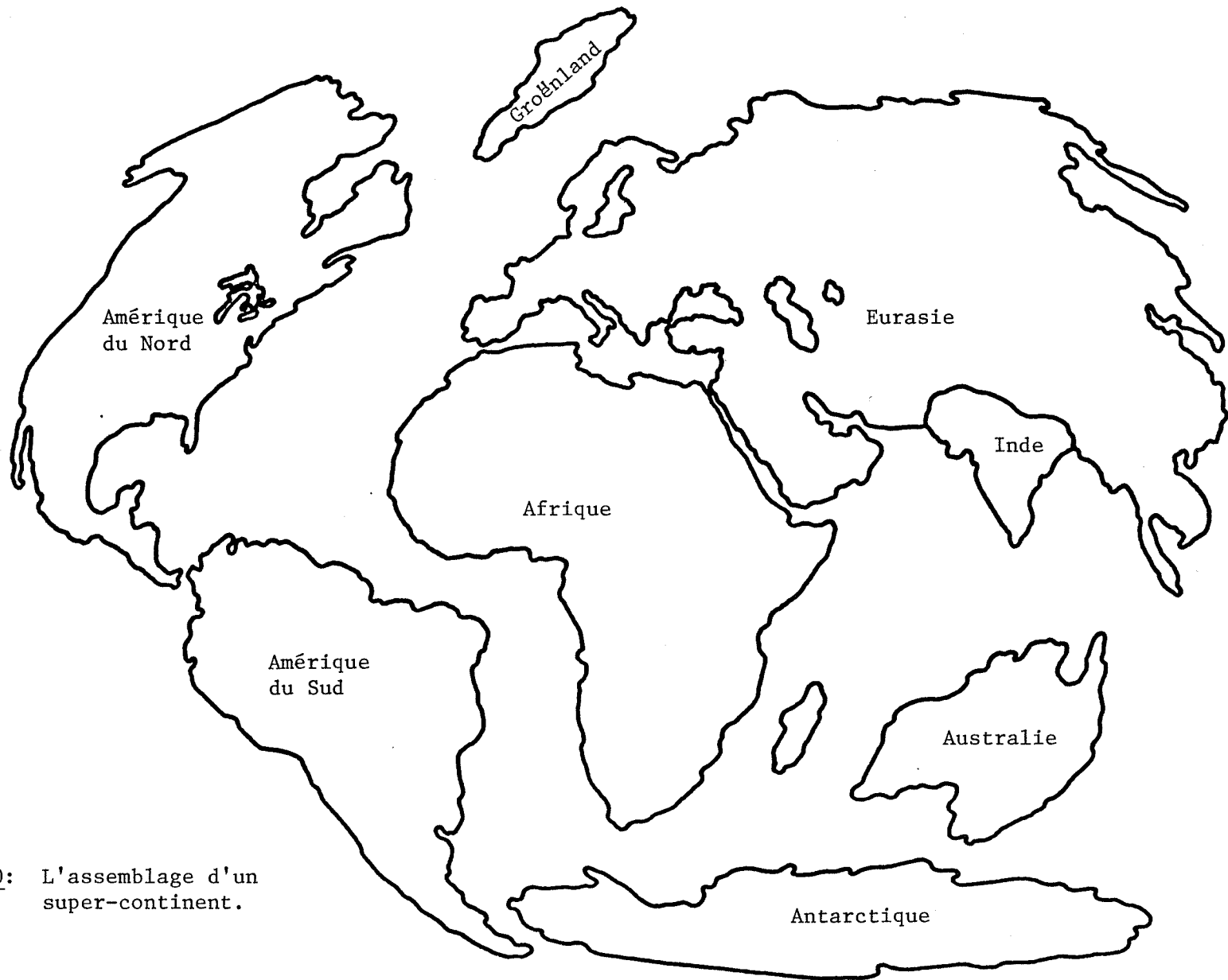


ILLUSTRATION 40: L'assemblage d'un super-continent.

d'années, sur trois continents de l'hémisphère sud: l'Amérique du Sud, l'Australie et l'Afrique. Mais quelle était cette évidence? Comment l'existence de ces glaciers anciens est-elle reliée à la notion de la dérive des continents?

L'illustration ci-dessous montre une roche très polie dont la surface est marquée par des stries parallèles.

ILLUSTRATION 41:

Les stries produites par un glacier sur la surface d'une roche.

Tiré de *Investigating the Earth*, 2<sup>e</sup> édition, 1973.  
Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.

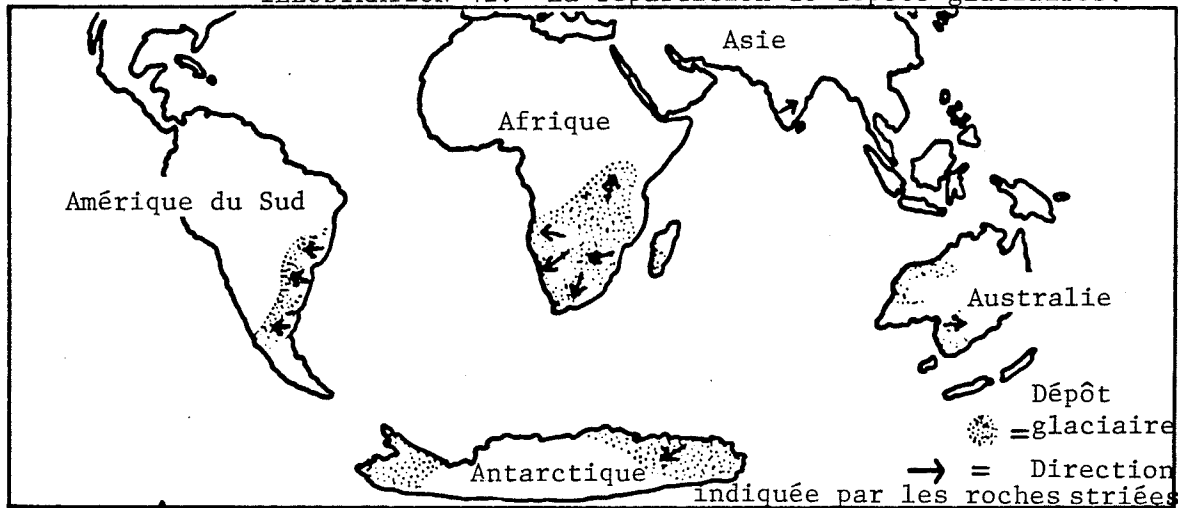


La dureté de la roche exige que ces *stries* aient été tracées par une action mécanique très puissante. On sait que ces stries peuvent se produire sous l'effet du déplacement lent d'une énorme masse glaciaire. Un glacier transporte généralement à sa base des morceaux de roches abrasives qui agissent comme du papier émeri. Donc, en se déplaçant, le glacier strie la roche sous son poids.

Les glaciers sont aussi responsables d'un autre phénomène. A mesure que les glaciers se déplacent, ils entraînent du matériel dégagé par l'érosion. Les débris de roche sont souvent déposés dans un endroit particulier. La répartition mondiale de certains dépôts d'origine glaciaire suggère un lien ancien. Des

dépôts glaciaires ayant le même âge ont été découverts en Amérique du Sud, en Afrique du Sud, en Australie, en Antarctique et en Inde. L'illustration suivante montre la répartition de ces dépôts ainsi que la direction du déplacement glaciaire. (La direction est indiquée par la présence de stries sur la surface rocheuses.)

ILLUSTRATION 42: La répartition de dépôts glaciaires.



Tiré de *Crusty Problems* par ISCS © 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.

Comment expliquer la direction des stries en Amérique du Sud puisque l'ancien glacier semble s'être déplacé d'un endroit océanique? Est-il possible qu'un énorme glacier, ait à une certaine époque, recouvert les continents actuels? Comment expliquer la notion que ces dépôts glaciaires se situaient près de l'équateur?

#### ACTIVITE 17 - Les anciens glaciers et le super-continent

Utilisez les blocs continentaux découpés pour l'activité précédente. Dessinez des flèches indiquant la direction du déplacement glaciaire sur chacun des blocs continentaux.

Supposons que les glaciers se sont déplacés dans toutes les directions à partir d'un point central. Essayez d'assembler les blocs continentaux en un seul ensemble.

Dessinez une nouvelle carte illustrant le lien ancien entre les continents.

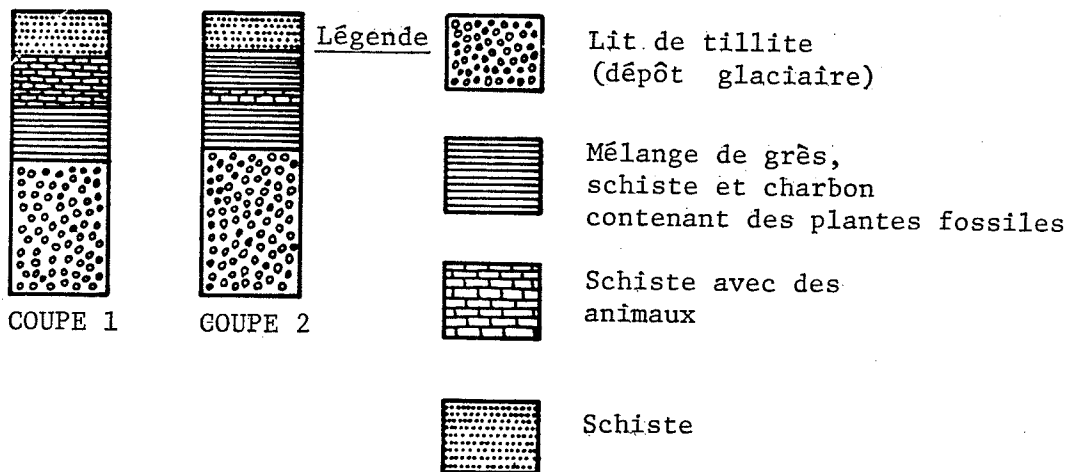
1. Est-ce que la répartition des dépôts glaciaires et la direction des stries à la surface des roches constituent de l'évidence appuyant ou rejetant la notion de la dérive des continents? Donnez vos raisons.
2. Pouvez-vous apporter une autre explication par rapport à ces observations?

### La flore fossile et le super-continent

Comparez les deux coupes géologiques illustrées ci-dessous:

ILLUSTRATION 43:

Tiré de *Crusty Problems* par ISCS © 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.

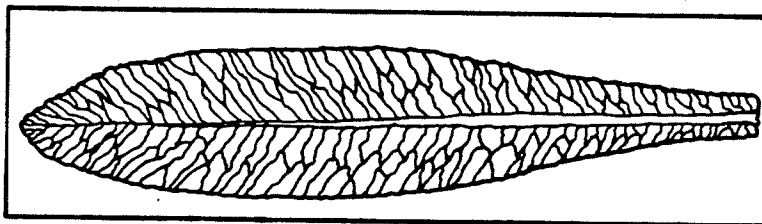


1. Comment les strates dans chaque coupe se comparent-elles?
2. Selon vous, serait-il exact d'affirmer que les deux coupes ont probablement la même origine?

L'illustration suivante est le dessin d'une fougère fossile trouvée à l'intérieur de la strate de grès, de schiste et de charbon située au-dessus du lit de tillite.

ILLUSTRATION 44:

Glossopteris,  
une fougère  
fossile



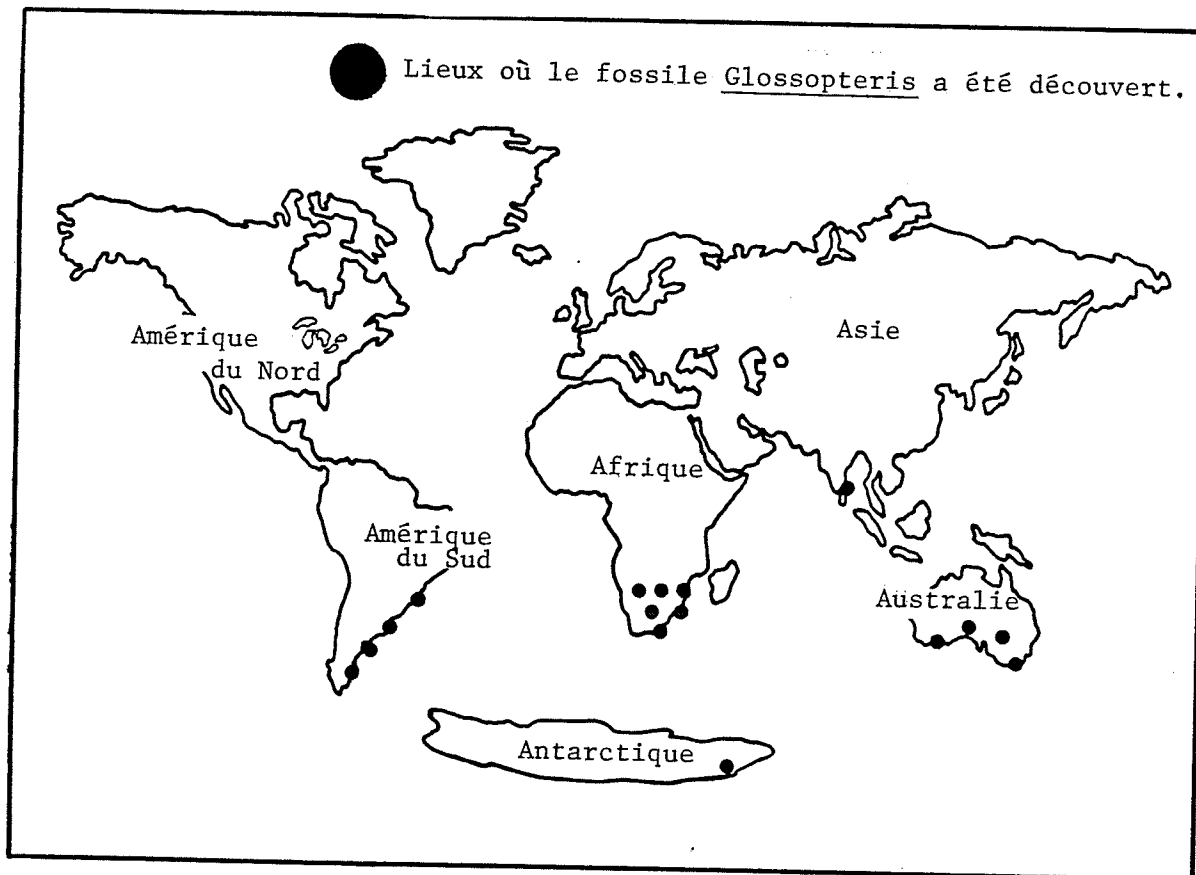
Tiré de *Crusty Problems* par ISCS © 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.

Notez bien que ce fossile rare, nommé Glossopteris, se trouve dans les deux différentes coupes.

Les deux coupes proviennent d'endroits séparés par une grande distance: la coupe n° 1 se situe au sud du Brésil et la coupe n° 2 se situe en Afrique du Sud.

Comment expliquer la présence de coupes semblables et de fougères fossiles identiques provenant de deux continents aussi éloignés l'un de l'autre? Une bonne preuve appuyant la théorie de la dérive des continents est cette présence de fossiles identiques tels que Glossopteris sur différents continents séparés par des milliards de kilomètres d'océan. Il est peu probable que des fougères identiques aient pu exister parallèlement dans des lieux séparés par une telle distance. Il est possible que les graines de ces plantes se soient déplacées sur les mers, mais la plupart des biologistes éliminent cette possibilité. Les graines ont peut-être été dispersées par des oiseaux! Cette explication a été rejetée puisque l'origine des oiseaux sur la terre a été estimée à des millions d'années plus tard. Ces découvertes constituent une forte preuve appuyant l'idée de la dérive continentale. En effet, des coupes semblables ont été découvertes sur d'autres continents tels que l'Australie, l'Inde et l'Antarctique. La carte suivante indique les lieux où cette fougère ancienne a été découverte.

ILLUSTRATION 45:



Tiré de  
*Touch the Earth* par  
ISIS 1981.  
Avec l'aimable auto-  
risation de  
Florida State  
University.

### Les ceintures orogéniques et les cratons: une autre preuve de la dérive des continents.

Si les continents étaient autrefois reliés pour former un seul ensemble, alors l'âge des roches, qui se sont séparées au moment du déplacement continental, devrait être le même. Les géologues, avec l'aide de *géochronologues*, spécialistes dans la datation radioactive, sont généralement capables de dater les différentes provinces géologiques telles que les ceintures orogéniques et les cratons.

L'*orogénèse* réfère à la naissance des montagnes, c'est-à-dire aux phénomènes qui entraînent la formation d'une chaîne de montagnes. Cette naissance peut durer de 200 à 250 millions d'années. Une *ceinture orogénique* est donc une chaîne de montagnes de même origine. Les *cratons* sont des zones stables où l'*orogénèse* s'est manifestée tout au début de l'existence de la terre. Ces anciens blocs continentaux, datant du précambrien, sont généralement entourés de ceintures orogéniques plus récentes.

### ACTIVITE 18 - L'assemblage de l'Amérique du Sud et de l'Afrique

La carte suivante montre la répartition des cratons sur deux continents (les parties au pointillé représentent les cratons). Selon la datation radioactive de plusieurs échantillons de roche pris dans ces régions, les cratons ont plus de deux milliards d'années. Les parties en gris pâle représentent des ceintures orogéniques plus récentes variant entre 450 et 650 millions d'années.

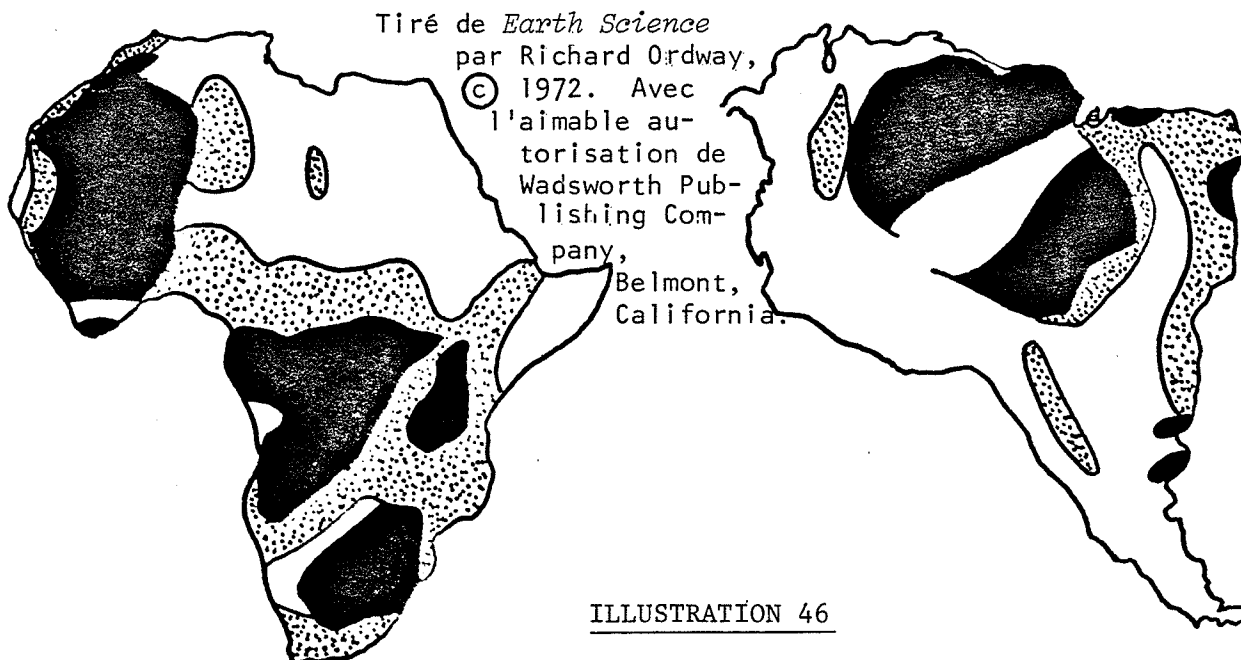


ILLUSTRATION 46



Tracez la limite de ces cratons sur les blocs continentaux découpés auparavant pour l'activité intitulée "L'assemblage des continents". Soyez aussi précis que possible.

Compte tenu des données concernant l'âge similaire des cratons, essayez d'assembler ces deux continents en un seul super-continent.

Dessinez une carte illustrant le lien ancien entre ces deux continents.

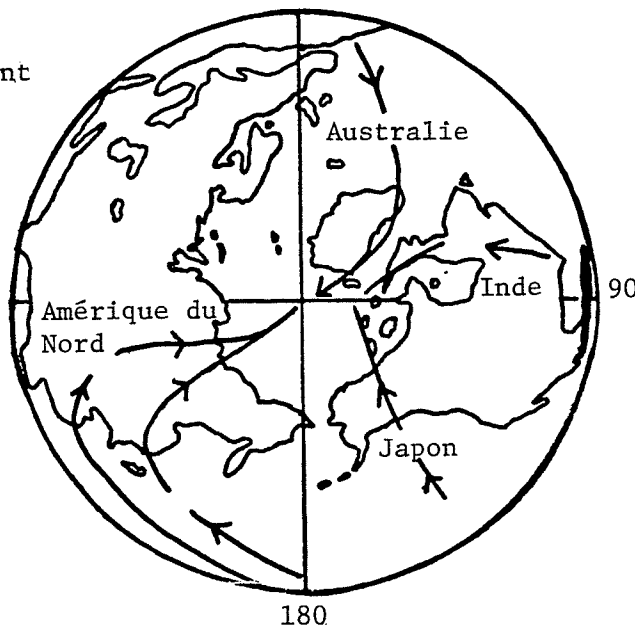
1. Est-ce que l'assemblage suggère un rapport entre les vieux cratons des deux continents?
2. Comment cet assemblage se compare-t-il avec celui basé sur les dépôts glaciaires? Avec le premier basé sur le contour des rives continentales?

#### Autres preuves de l'existence d'un super-continent

L'étude du magnétisme naturel de roches provenant de différents continents suggère qu'une migration drastique du Pôles Nord a eu lieu dans le passé. La carte suivante retrace les divers chemins anciennement suivis par le Pôle magnétique.

ILLUSTRATION 47: Les chemins anciennement suivis par le Pôle magnétique.

Tiré de "Les preuves de la dérive des continents" par Patrick Hurley. *La dérive des continents, la tectonique des plaques.* Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.



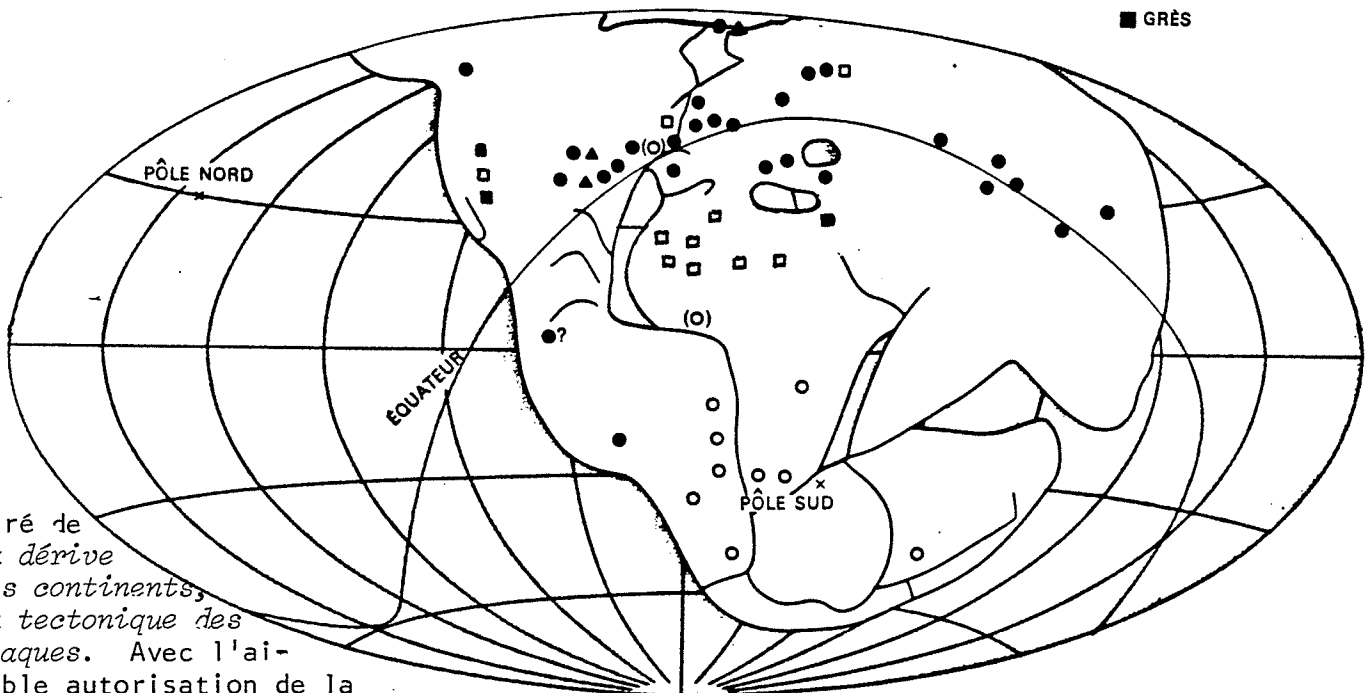
Cette carte prend pour acquis que les continents ne se sont pas déplacés. Puisqu'il est improbable que la migration du Pôle Nord ait pu se faire simultanément selon

plusieurs chemins, la plupart des géologues acceptent l'idée que les continents se soient déplacés au cours de l'existence de la terre. Si on admet que les continents étaient autrefois reliés ensemble, ces divers chemins se ramènent à un seul.

Une deuxième preuve est étroitement reliée à cette dernière, mais elle diffère en ce qu'elle aborde spécifiquement la question de la répartition des climats au cours des temps géologiques. L'évidence d'un ancien climat tropical est fournie par certaines sortes de charbon; l'existence d'un ancien climat polaire par les tillites glaciaires, et celle de l'ancien climat aride par les dépôts de sel, de gypse et de sable désertique. Wegener a observé que l'emplacement de différents dépôts tels que le charbon, le sel, le sable, les tillites glaciaires s'expliquait très difficilement sans recours à l'idée d'un ancien super-continent. La carte ci-dessous montre l'emplacement de ces dépôts au Carbonifère, il y a environ 300 millions d'années, avant que les continents ne commencent à se séparer les uns des autres.

**ILLUSTRATION 48:** L'emplacement des dépôts de glace, charbon, grès, sel et gypse au Carbonifère.

○ GLACE    □ SEL  
● CHARBON    ▲ GYPSE  
■ GRÈS



Tiré de  
*La dérive  
des continents,  
la tectonique des  
plaques.* Avec l'ai-  
mable autorisation de la  
Bibliothèque Pour la Science,  
Diffusion Belin, © 1980.

1. Comment l'emplacement de ces différents dépôts est-il utilisé comme indice de la répartition des climats anciens?
2. Pouvez-vous proposer une explication pour cette répartition si on prend pour acquis que les continents n'étaient pas anciennement proches les uns des autres?

## L'expansion des fonds océaniques

Vous n'avez probablement jamais ressenti de secousses sismiques. Par contre, vous avez tous eu l'occasion de prendre conscience des dégâts matériels et des pertes humaines qui peuvent en découler grâce à des reportages dans les journaux ou à la télévision.

Vous avez peut-être l'impression que ces tremblements de terre se manifestent rarement. Mais ceci n'est pas le cas. En effet, des centaines de secousses sismiques se produisent quotidiennement mais la plupart ne sont jamais rapportées puisqu'elles sont de faible magnitude ou amplitude. Cependant, de temps à autre, on reçoit les nouvelles d'un tremblement de terre qui a déclenché assez de force pour dévaster une ville ou un village et entraîner la mort de milliers de personnes.

Puisque les secousses sismiques se produisent quotidiennement, comment expliquer le fait que nous ne les observons que rarement? Où se manifestent-elles? De quelle profondeur dans la terre proviennent-elles? L'activité suivante répondra à ces questions.

### ACTIVITE-19 - La répartition mondiale d'épicentres sismiques

Le tableau ci-dessous contient des données concernant divers épicentres sismiques enregistrés sur une période d'environ trois semaines. La date, l'heure, l'endroit, la profondeur et la magnitude sont indiqués pour chaque tremblement de terre.

## STRATION 49: Données sismiques - février 1971.

Jour	Février 1971 Temps d'origine (Heure de Greenwich)			Coordonnées géographiques		Régions et commentaires	Prof. (km)	Magn.
	Heure	Minute	Seconde	Lati- tude	Longi- tude			
1	01	16	16,8	6,4S	130,3E	Mer de Banda	133	5,8
1	01	56	47,0	7,5S	156,3E	Ile Solomon	48	4,9
1	05	40	06,2	22,1S	170,1E	Région des îles Loyauté	24	
1	05	53	34,9	21,7N	143,0E	Région des îles Mariannes	310	4,0
1	09	35	37,6	11,0S	165,0E	Iles de Santa Cruz	N*	4,4
1	11	58	00,9	15,4S	173,10	Iles de Tonga	17	5,0
1	12	13	27,6	36,4N	43,4E	Irak	16	5,1
1	14	37	25,7	36,7N	68,3E	Région Hindou Kouch	N	4,6
1	15	42	27,0	47,1N	17,9E	Hongrie	N	4,0
1	19	01	18,3	43,2N	146,5E	Iles Kouriles	56	4,7
1	20	53	29,9	0,8S	120,4E	Iles Célèbes	124	4,9
2	03	35	48,6	35,2N	36,30	Dorsale nord- atlantique	N	4,7
2	08	01	13,3	21,0S	68,40	Région frontière Bolivie-Chili	115	4,8
2	09	18	32,5	34,2N	117,50	Californie		
2	15	35	26,2	28,0N	111,80	Golfe de la Californie	N	3,8
3	04	05	53,8	35,1N	27,8E	Iles Dodécanèse	34	4,7
3	04	07	44,3	21,5S	179,10	Région des Îles Fiji	600	5,3
3	04	26	22,1	41,3N	79,3E	Frontière Kirghizie-Sin- Kiang	17	5,3
3	05	23	08,0	30,1S	75,4E	Crête centrale- indienne	N	
3	08	10	05,2	8,4S	111,3E	Java	79	5,6
3	15	40	59,7	23,9S	66,60	Argentine	197	4,7
3	17	18	19,2	21,1S	68,8E	Crête centrale- indienne	N	4,6
3	18	28	45,2	36,2N	141,1E	Côte est de Honshû au Japon	35	4,3
4	09	25	56,9	56,1S	27,40	Iles Sandwich du Sud	N	5,7
4	14	42	30,2	51,7N	174,10	Iles Aléoutiennes	26	4,9
4	18	33	18,0	43,6N	147,9E	Iles Kouriles	N	4,6
4	22	15	55,4	20,6S	69,00	Nord du Chili	86	5,0
4	22	51	28,9	6,9S	155,5E	Iles de Solomon	62	5,0
5	01	21	05,1	33,0S	178,60	Sud des îles Kermadec	N	5,1
5	02	50	50,3	61,4N	147,80	Sud de l'Alaska	48	3,6

\*N- dénote une profondeur normale, c'est-à-dire peu profonde.

Jour	Février 1971 Temps d'origine (Heure de Greenwich)			Coordonnées géographiques		Régions et commentaires	Prof. (km)	Magn.
	Heure	Minute	Seconde	Lati- tude	Longi- tude			
5	16	52	47,6	41,8N	32,5E	Turquie	6	4,3
6	13	28	26,9	51,2N	179,20	Iles Aléoutiennes	34	4,1
6	19	22	39,4	37,5N	116,60	Nevada	5	3,6
7	05	35	15,6	18,4N	100,20	Mexique	88	4,2
7	11	27	34,7	23,5N	44,80	Dorsale nord- atlantique	N	4,6
8	05	54	12,4	19,1N	68,00	Océan nord- atlantique	48	5,0
8	07	17	05,0	41,1S	72,60	Côte du Chili	90	4,4
8	08	02	37,2	0,9S	78,50	Equateur	28	4,1
8	14	00	00,1	37,1N	116,10	Nevada	0	5,5
8	14	39	56,8	19,1N	64,40	Iles Vierges	N	4,6
9	03	03	18,7	32,5S	71,20	Côte est du Chili	58	6,6
9	04	46	25,6	32,5S	71,40	Côte est du Chili	69	4,5
9	09	52	50,4	3,8N	78,50	Sud de Panama	57	4,3
9	12	27	24,5	20,5S	178,10	Région des îles Fiji	550	5,1
9	15	46	49,9	53,0S	22,9E	Sud de l'Afrique	N	4,6
9	17	00	52,1	8,2S	148,2E	Région est de la Nouvelle-Guinée	62	
9	17	11	55,5	43,5N	147,6E	Iles Kouriles	N	4,2
10	00	26	35,3	32,4S	71,40	Côte du Chili central	65	4,3
10	17	22	37,2	40,4N	109,60	Utah	8	3,8
11	05	30	53,9	0,9S	13,30	Nord de l'île Ascension	N	5,1
11	11	43	13,2	23,4N	123,7E	Sud-ouest des îles Ryû-Kyû	34	4,8
11	12	51	33,7	8,2N	38,00	Dorsale de l'Atlan- tique central	N	4,5
12	09	02	09,2	24,0N	111,20	Baja, Californie	N	4,8
12	23	50	15,7	19,6N	63,00	Iles Sous-le-Vent	N	4,2
14	07	16	53,6	5,8S	153,2E	Nouvelle-Irlande	N	4,9
14	14	48	41,2	47,8N	114,40	Montana	5	
14	15	40	48,6	60,0N	152,70	Alaska	82	4,0
14	15	51	58,1	32,9S	72,10	Au large de la Côte du Chili central	62	4,8
14	19	53	14,3	0,8N	29,00	Dorsale de l'Atlan- tique central	N	5,2
15	01	33	22,3	44,8N	10,3E	Nord de l'Italie, 2 morts	8	5,2

Février 1971 Temps d'origine (Heure de Greenwich)				Coordonnées géographiques		Régions et commentaires		
Jour	Heure	Minute	Seconde	Latitude	Longitude		Prof. (km)	Magn.
15	05	36	11,6	60,1N	153,30	Alaska	150	4,4
15	06	15	31,4	37,2N	36,8E	Turquie	N	4,6
15	10	38	50,0	34,2N	117,50	Sud de la Cali- fornie	10	
15	10	57	02,4	41,7N	142,6E	Hokkaido, Japon	57	4,1
15	18	49	07,3	44,8N	10,3E	Nord de l'Italie	19	4,0
16	04	31	28,4	59,3N	154,20	Alaska	N	
16	05	50	23,7	35,0N	23,1E	Crête	42	4,5
16	21	40	23,1	16,7N	96,10	Mexique	14	5,2
17	03	23	53,6	15,3N	45,30	Dorsale nord atlantique	N	4,6
17	03	39	15,4	55,3N	161,50	Péninsule d'Alaska	N	4,3
17	05	32	42,9	7,0N	94,7E	Région des îles Nicobar		
17	15	00	55,4	26,5N	93,2E	Est de l'Inde	49	5,3
17	17	56	13,9	4,0S	80,80	Frontière Pérou- Equateur	35	4,8
17	19	30	14,1	49,8N	114,80	Colombie Britan- nique	0	
17	20	10	21,5	21,5S	68,20	Frontière Bolivie- Chili	123	5,4
17	21	45	23,6	38,3N	39,9E	Turquie	N	4,5
18	00	02	26,2	34,0N	45,2E	Frontière Iran- Iraq	N	4,7
18	16	18	22,8	45,7N	26,3E	Roumanie	137	4,6
18	19	16	41,7	18,3N	100,70	Guerrero, Mexique	110	4,7
21	03	00	32,2	1,2S	14,90	Nord de l'île Ascension	N	4,5
21	09	14	26,1	36,2N	120,90	Californie centrale	8	4,2
21	20	01	57,1	30,9N	41,60	Dorsale nord- atlantique	N	4,3
22	06	29	49,0	31,1N	41,60	Dorsale nord- atlantique	N	4,8
25	15	31	11,4	41,3N	29,50	Iles Azores	N	4,6
23	15	44	27,4	47,8N	114,3	Montana	5	
24	20	24	30,6	37,9S	49,4E	Crête atlantique- indienne	N	5,0

- Utilisez les données suivantes afin de remplir la carte mondiale ci-incluse, indiquant l'emplacement ainsi que la profondeur de chaque tremblement de terre. Utilisez les symboles suivants pour représenter la profondeur. (Votre professeur vous montrera comment les situer selon les coordonnées géographiques).

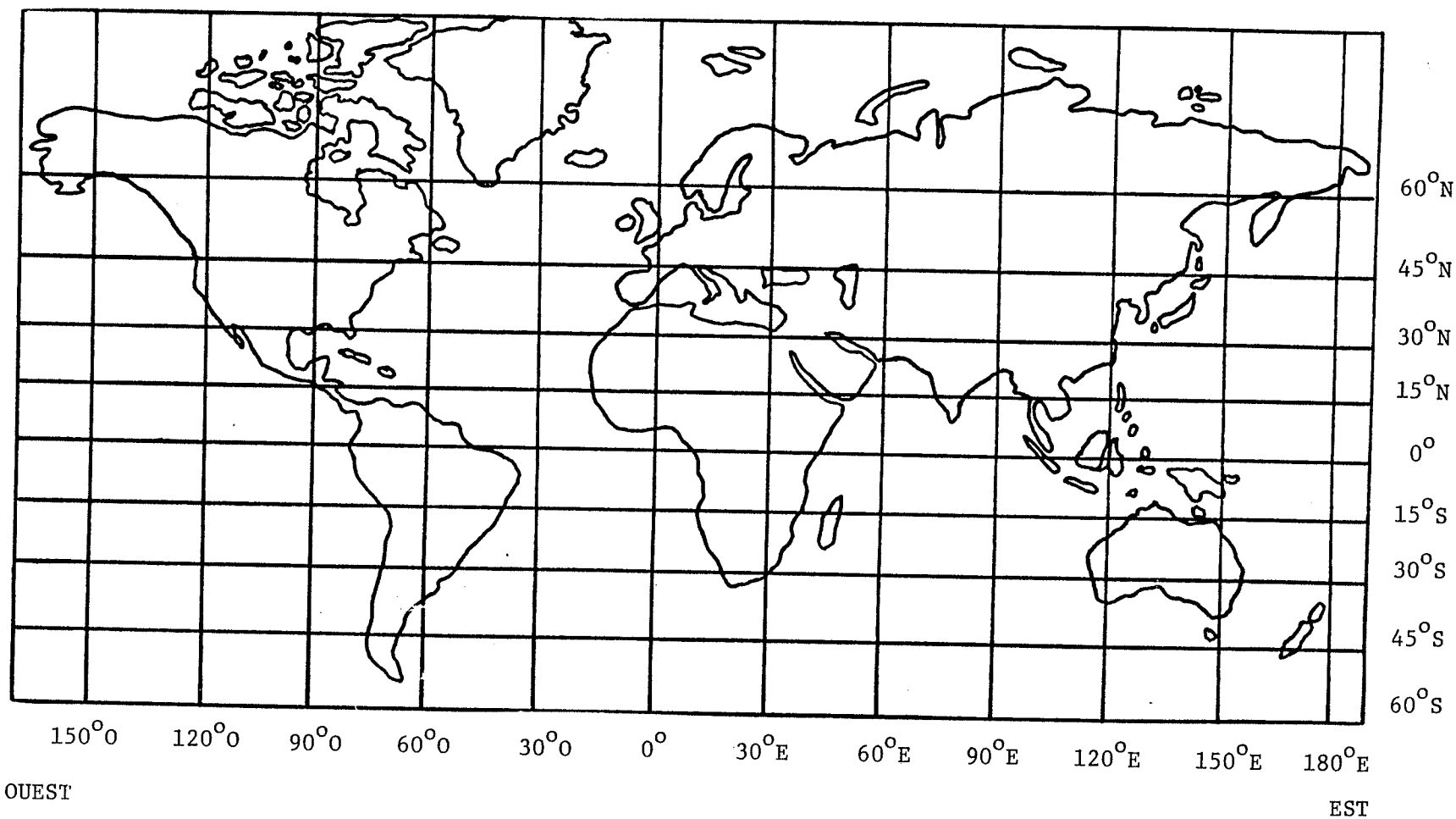
ILLUSTRATION 50:

Foyer sismique	Profondeur (km)	Symbole/Couleur
normal	0-69	+ bleu
intermédiaire	70-299	■ rouge
profond	plus de 299	□ jaune

1. Tenant compte de la carte mondiale que vous avez préparée, identifiez les régions où se situent de nombreux tremblements de terre.
2. Est-ce que les tremblements de terre sont répartis au hasard dans le monde ou sont-ils plutôt concentrés dans des zones précises?
3. Étudiez la répartition mondiale des séismes par rapport à la profondeur du foyer. Y-a-t-il des zones caractérisées par des séismes d'une profondeur semblable? Si oui, où sont-elles situées?
4. Pouvez-vous expliquer l'existence de ces zones sismiques?



ILLUSTRATION 51: La répartition mondiale d'épicentres sismiques.



Tiré de *Crustal Problems* par ISCS © 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.

ACTIVITE 20 - La répartition mondiale des volcans, des arcs insulaires  
et des fosses océaniques

---

Le tableau ci-dessous donne les coordonnées géographiques pour quelques volcans.

ILLUSTRATION 52:

Volcan	Latitude	Longitude
Bandaisan (Japon)	37 N	140 E
Katmai (Alaska)	58 N	155 O
Mauna Loa (Hawaii)	20 N	155 O
Fujiyama (Japon)	35 N	140 E
Mt. Shasta (Californie)	41 N	122 O
Krakatoa (Indonésie)	6 S	105 E
Lassen Peak (Californie)	40 N	121 O
Mt. Hood (Orégon)	45 N	120 O
Popocatepetl (Mexique)	20 N	100 O
Atitlan (Guatémala)	14 N	91 O
Tolima (Colombie)	4 N	75 O
Mt. St. Helens (Washington)	46 N	122 O

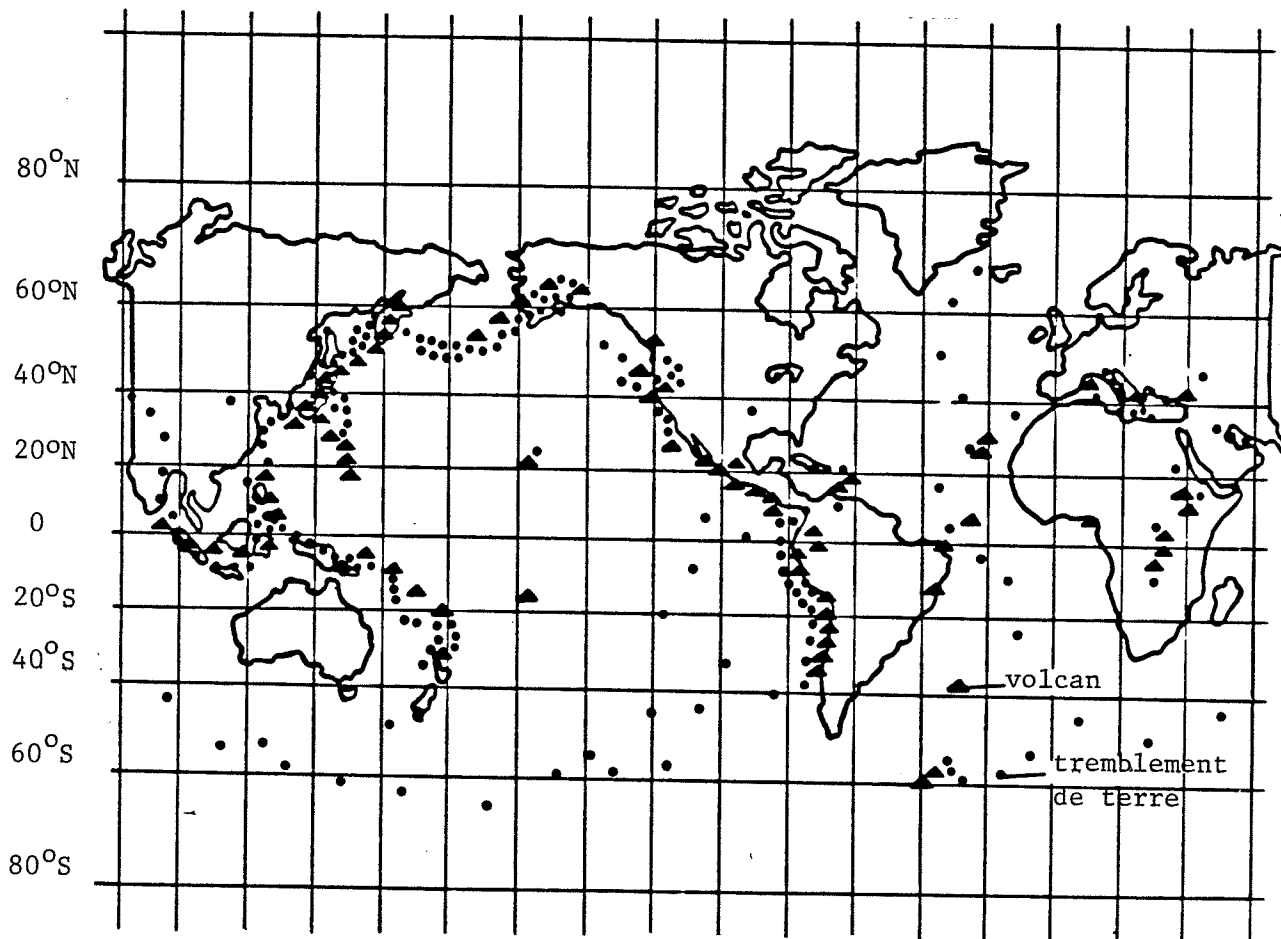
- Situez chaque volcan sur la carte que vous avez utilisée auparavant pour la répartition mondiale des tremblements de terre. Employez le symbole  $\Delta$  (couleur rouge) pour représenter chaque volcan.

1. Pourquoi les tremblements de terre entourant l'océan Pacifique sont-ils nommés la "ceinture de feu"?

Cette liste de volcans n'est certainement pas exhaustive. Néanmoins, la plupart de ces volcans se situent le long de la "ceinture de feu". La carte mondiale suivante situe les volcans par rapport aux tremblements de terre.

ILLUSTRATION 53: La répartition mondiale de volcans et de tremblements de terre.

100°E 140°E 180°E 140°O 100°O 60°O 20°O 20°E 60°E



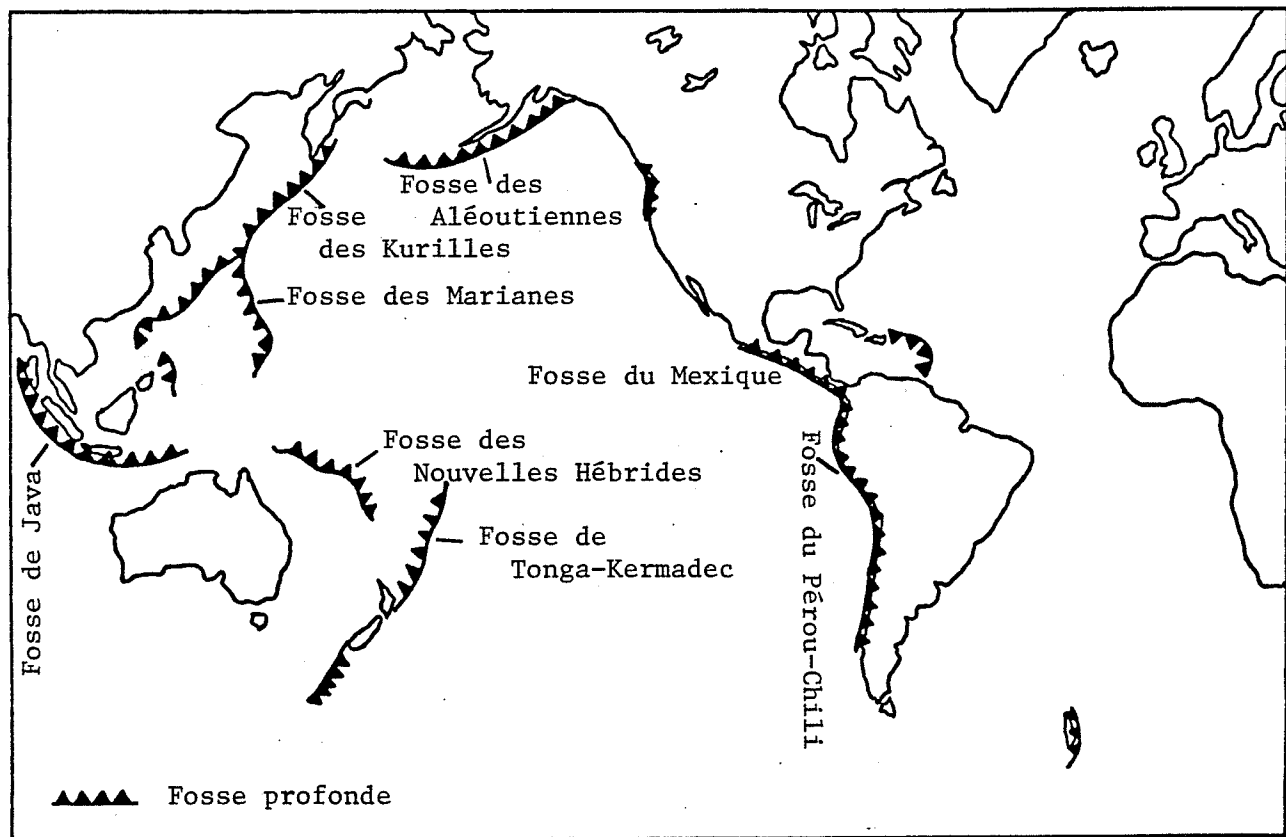
Tiré de *Touch the Earth* ISIS 1981. Avec l'aimable autorisation de Florida State University.

2. Comment la répartition mondiale des volcans se compare-t-elle à celle des tremblements de terre?

3. La carte suivante indique la répartition mondiale des *fosses océaniques* et des *arcs insulaires*. Ces fosses océaniques se situent principalement le long de l'océan Pacifique. Elles peuvent atteindre une profondeur d'environ 10 000 mètres. Les arcs insulaires sont associés avec ces fosses profondes à l'exception de ceux qui sont situés au large de la côte ouest de l'Amérique du Sud.

Etudiez la carte suivante. Comment la répartition mondiale des fosses océaniques profondes et des arcs insulaires se compare-t-elle avec la répartition mondiale des tremblements de terre?

ILLUSTRATION 54: La répartition mondiale des fosses profondes.



Tiré de "La tectonique des plaques" par John Dewey, *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

Une première tentative d'explication: la pomme ratatinée

Comment expliquer la répartition des séismes dans le monde? Pourquoi existe-t-il des zones caractérisées par des foyers sismiques peu profonds, ou superficiels, et par d'autres plus profonds? Nous allons étudier deux différents modèles qui tentent d'expliquer ce phénomène. Le modèle d'une terre contractée était très populaire à l'époque. Avec l'aide de ce modèle, on tentait d'expliquer le chevauchement de roches, les mouvements de la croûte terrestre, ainsi que les tremblements de terre. Avez-vous déjà fait cuire une pomme au four? Une pomme se ratatine au fur et à mesure que l'humidité s'en échappe.

Tiré de  
*Crusty Problems*  
par ISCS  
© 1972. Avec  
l'aimable auto-  
risation de  
General Learning  
Corporation.

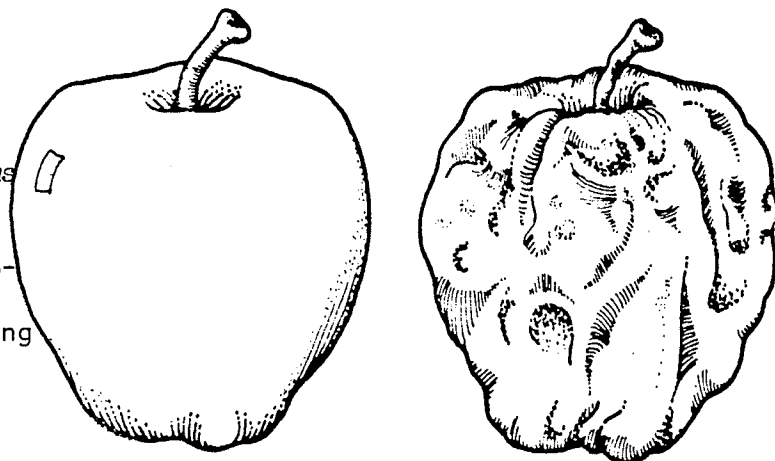
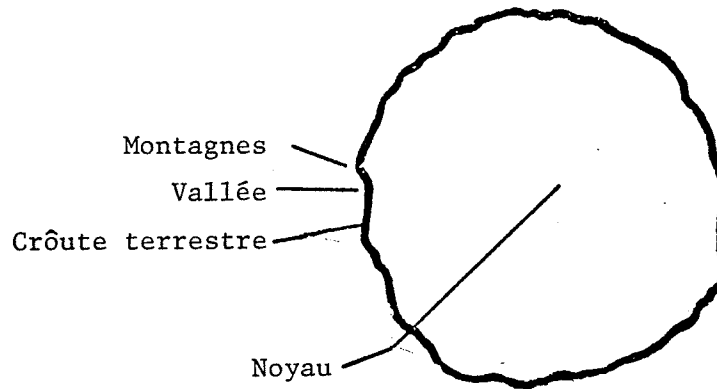


ILLUSTRATION 55

En se servant du modèle d'une pomme ratatinée, on peut imaginer que la terre est recouverte d'une pelure dure entourant un noyau qui était autrefois très chaud et qui, maintenant, se contracte au fur et à mesure qu'il refroidit. Semblable à la formation des rides sur la pomme, le soulèvement de la croûte terrestre a entraîné la formation de montagnes, tandis que son affaissement nous a donné les bassins océaniques et les vallées.

1. Pouvez-vous suggérer comment ce modèle pourrait expliquer les tremblements de terre?

ILLUSTRATION 56



2. Dans un article publié en 1970, M. John Dewey, un géologue, a exprimé l'idée suivante:

"Les géologues savent depuis longtemps que les montagnes, les volcans et les tremblements de terre ne sont pas distribués au hasard à la surface de la terre, qu'ils sont, au contraire, concentrés dans des zones bien définies et relativement étroites". ("La tectonique des plaques", La dérive des continents, Diffusion Berlin, 1979).

Est-ce que son idée est conséquente avec le modèle de la terre présenté ci-haut?  
Expliquer.

### Quel est le caractère des fonds océaniques?

La plupart des gens n'ont jamais vu les profondeurs de l'océan; néanmoins, nous avons tous probablement songé à connaître ses mystères. La curiosité humaine a toujours cherché à savoir ce que cache cette surface placide.

Anciennement, on tentait de mesurer la profondeur de l'océan avec une roche attachée au bout d'une corde. Les matelots laissaient tomber la roche jusqu'au fond océanique et mesuraient de cette façon la profondeur sous le niveau de la mer. Cette méthode exigeait parfois toute une journée de travail pour effectuer seulement une mesure. Une meilleure technique fut développée en 1920 avec la découverte du sonar. Utilisant cet instrument, les scientifiques ont pu déterminer, de façon continue, la distance entre le plancher océanique et la surface de l'eau. Ceci a permis d'élaborer un *profil topographique* des océans c'est-à-dire, une image du relief marin.

### ACTIVITE 21 - La détermination d'un profil par la technique de sondage sonore

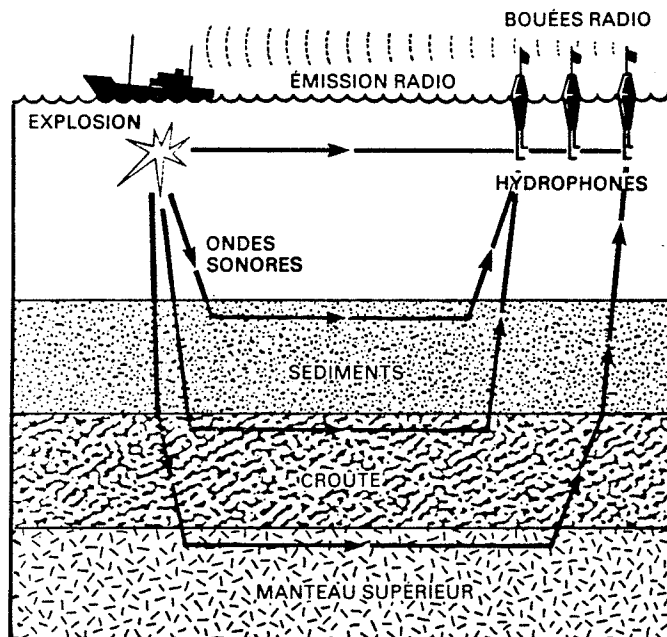
Le sondage sonore utilise la vitesse de propagation des ondes pour déterminer la profondeur des mers. La vitesse du son dans l'eau de mer est d'environ 1460 mètres/seconde. Donc, si les ondes sonores émises d'un bateau sont enregistrées par les hydrophones 2 secondes plus tard, la profondeur sera de 1460 mètres: une seconde pour se propager jusqu'au plancher océanique et une seconde pour le retour aux hydrophones après le rebondissement. Une émission continue d'ondes sonores permet d'enregistrer la forme du relief marin.

- Recueillez des boîtes de conserve vides toutes de la même dimension.
- Placez-en deux avec l'ouverture en bas, l'une sur une table et l'autre sur le plancher.
- Avec un compte-gouttes tenu au niveau de vos yeux, laissez tomber des gouttes d'eau sur la première boîte. Ecoutez attentivement le son. Faites la même chose avec la deuxième boîte.

1. Comment se comparent les sons?
  - Organisez une série de cinq boîtes placées en ligne droite à différentes hauteurs.
  - Demandez à un autre élève d'essayer de déterminer le profil de la série sans regarder l'opération. Demandez-lui de tracer une ligne illustrant la hauteur des différentes boîtes dans la série. Cette ligne constitue un profil.
2. Comment le profil tracé à l'aide du son est-il comparable au profil réel?
3. La *réfraction sismique*, technique semblable au sondage sonore, est employée pour étudier la profondeur ainsi que la structure de la croûte océanique, c'est-à-dire, l'épaisseur des sédiments, la composition géologique, etc... L'illustration suivante résume ce procédé.

ILLUSTRATION 57:

La réfraction sismique permet d'étudier la structure de la croûte océanique. Les ondes sonores émises lors des explosions se propagent à travers l'eau et les diverses roches du plancher océanique. Selon le trajet suivi, les temps de parcours diffèrent. En comparant les divers enregistrements recueillis par les hydrophones et retransmis vers le bateau par les bouées radio, il est possible de déterminer la structure du plancher océanique.

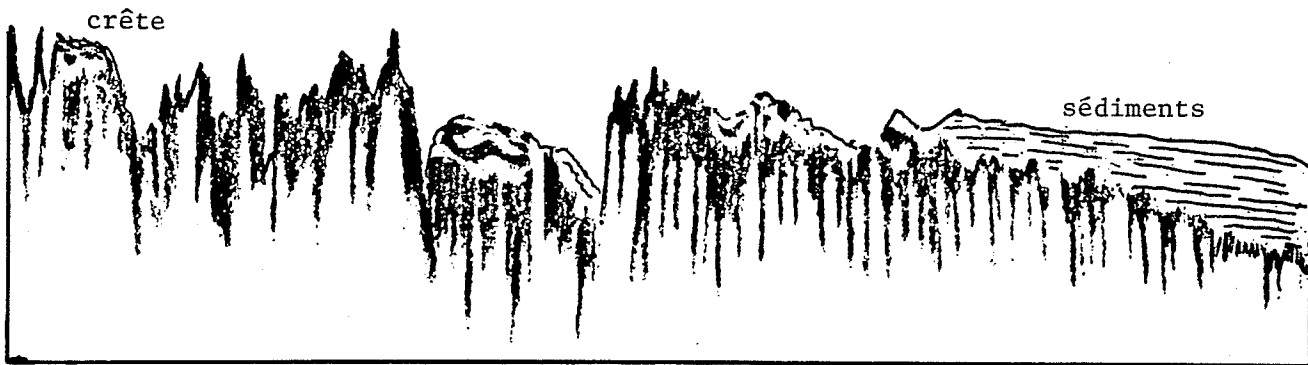


Tiré de "Les ophiolites ou la recherche des océans perdus" par Claude Allègre, *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.



L'illustration suivante donne le profil sismique de la côte est de la dorsale médio-Atlantique. Les sédiments qui s'accumulent en plein océan sont dérivés en grande partie des coquillages d'invertébrés. Expliquez pourquoi les sédiments sont beaucoup plus épais sur la côte de la dorsale que près de la crête.

ILLUSTRATION 58:

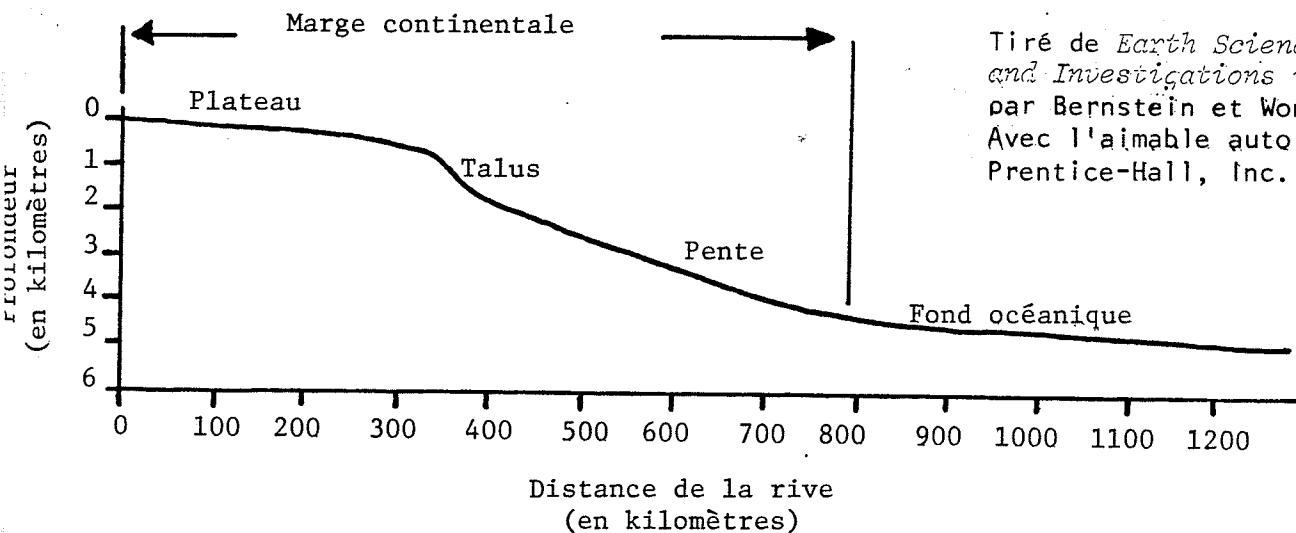


Tiré de *Exercices in Physical Geology*, 5th. Ed., © 1980. Avec l'aimable autorisation de Burgess Publishing Company.

Le relief marin

L'analyse du relief marin a indiqué qu'il existe trois aspects topographiques communs dans tous les océans: les *marges continentales*, les *bassins océaniques* et les *dorsales océaniques*.

Les marges continentales se situent le long des continents et comprennent trois parties: le *plateau*, le *talus* et la *pente*.



Le plateau continental est l'extension sous-marine du continent. A un certain point, le plancher océanique descend rapidement. Cette descente est le talus continental. La pente continentale continue sa descente jusqu'aux fonds océaniques, mais de façon beaucoup plus graduelle. D'autre part, les bassins océaniques sont composés de différents traits topographiques tels que les *plaines abyssales*, les *arcs insulaires*, les *monts de mer*, les *guyots* et les *fosses profondes*.

Les *plaines abyssales* sont caractérisées par un plancher océanique extrêmement plat, beaucoup plus plat que n'importe quelle surface naturelle sur les continents. Les *arcs insulaires* regroupent les chaînes d'îles d'origine volcanique. Les *monts de mer* et les *guyots* sont des montagnes isolées d'origine volcanique. Les monts de mer ont un sommet conique ou pointu tandis que les guyots ont un sommet plat. Les *fosses profondes* sont typiquement situées dans l'océan Pacifique voisinant les arcs insulaires. Ces fosses constituent les zones océaniques les plus profondes. Le tableau suivant indique la profondeur de quelques fosses:

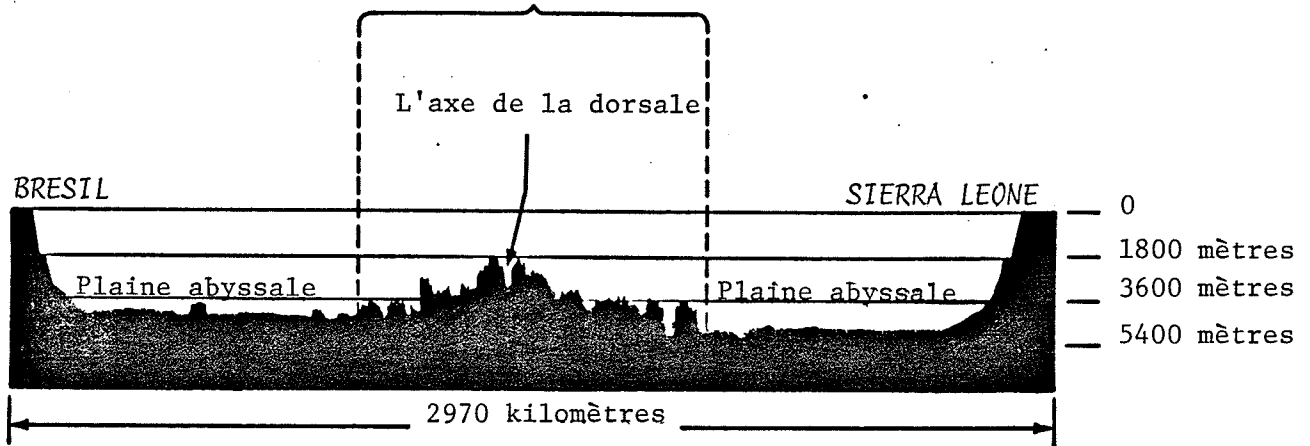
ILLUSTRATION 60: La profondeur de quelques fosses océaniques.

FOSSE	EMPLACEMENT	PROFONDEUR (en mètres)
des Mariannes	Philippines	11 034
des Kouriles	Japon	10 542
des Philippines	Philippines	10 539
de Porto Rico	Porto Rico	8 648
des Aléoutiennes	Alaska	8 100

Les *dorsales océaniques* ressemblent à une longue chaîne de montagnes de grande élévation. Elles forment un réseau complexe encerclant le globe et s'étendent sur une distance qui dépasse certainement les 70 000 kilomètres, soit plus une fois et demie la circonférence terrestre.

L'illustration suivante montre le profil de l'océan Atlantique. Les traits topographiques majeurs sont illustrés.

ILLUSTRATION 61: Le profil de l'océan Atlantique.



Tiré de *Investigating the Earth - Teacher's Guide*, 2<sup>e</sup> édition, 1973. Avec l'aimable autorisation de American Geological Institute.

### DORSALE MEDIO-ATLANTIQUE

#### ACTIVITE 22 - Comparaison du relief des océans Atlantique et Pacifique

- A) Etudiez la carte du relief de l'océan Atlantique. Voir illustration n° 62.
- Indiquez les traits topographiques suivants:
- plateau continental;
  - talus continental;
  - plaine abyssale;
  - dorsale océanique;
  - les dorsales océaniques s'élèvent généralement de façon symétrique jusqu'à une ligne ou un axe central. Coloriez en rouge l'axe de cette dorsale (Dorsale Médio-Atlantique);
  - les dorsales sont typiquement interrompues par des cassures dans le plancher océanique appelées des *failles transformantes*. Coloriez en bleu quelques failles transformantes.



Tiré de *Exercises in Physical Geology*, 5th Ed., © 1980. Avec l'aimable autorisation de Burgess Publishing Company.



Tiré de *Exercises in Physical Geology*, 5th Ed., © 1980.  
Avec l'aimable autorisation de Burgess Publishing Company.

- B) Étudiez la carte du relief de l'océan Pacifique. Voir l'illustration n° 63.  
Indiquez les traits topographiques suivants:
- a) un arc insulaire;
  - b) un mont de mer;
  - c) un guyot;
  - d) une fosse profonde.
1. Comment ces deux océans se comparent-ils en fait de relief?
  2. Quel océan semble être caractérisé par beaucoup d'activités sismique et volcanique?

## L'expansion des fonds océaniques et l'activité sismique

Dans une activité précédente, vous avez situé les tremblements de terre qui ont eu lieu pendant une période de moins d'un mois. Par contre, les géologues ont recueilli des données sismiques semblable aux vôtres depuis longtemps. Les deux cartes suivantes résument l'activité sismique au cours de deux années différentes - 1960 et 1972. Comme vous pouvez le constater, la répartition sismique est généralement semblable d'une année à l'autre avec 80% de tous les tremblements de terre se déclenchant dans la région entourant l'océan Pacifique.

ILLUSTRATION 64: Foyers sismiques dans le monde en 1960.\*

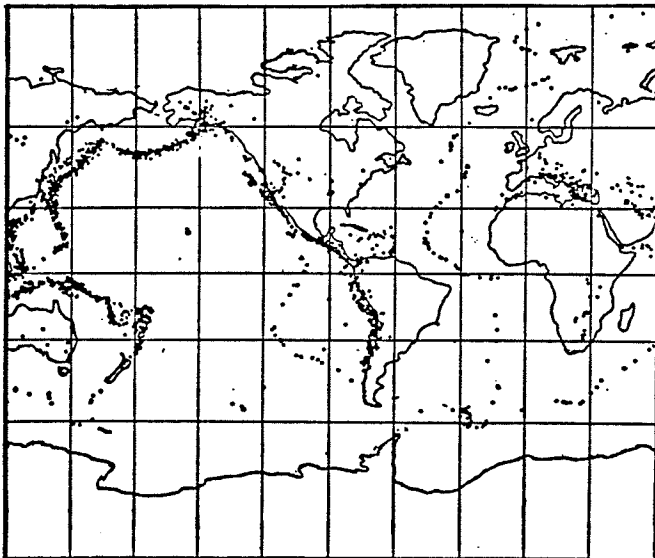
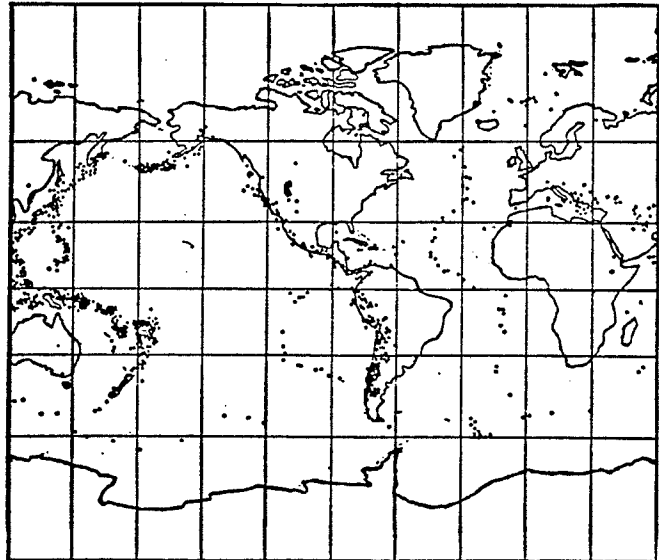


ILLUSTRATION 65: Foyers sismiques dans le monde en 1972.\*

\*Chaque point dénote l'emplacement d'un ou plusieurs tremblements de terre.

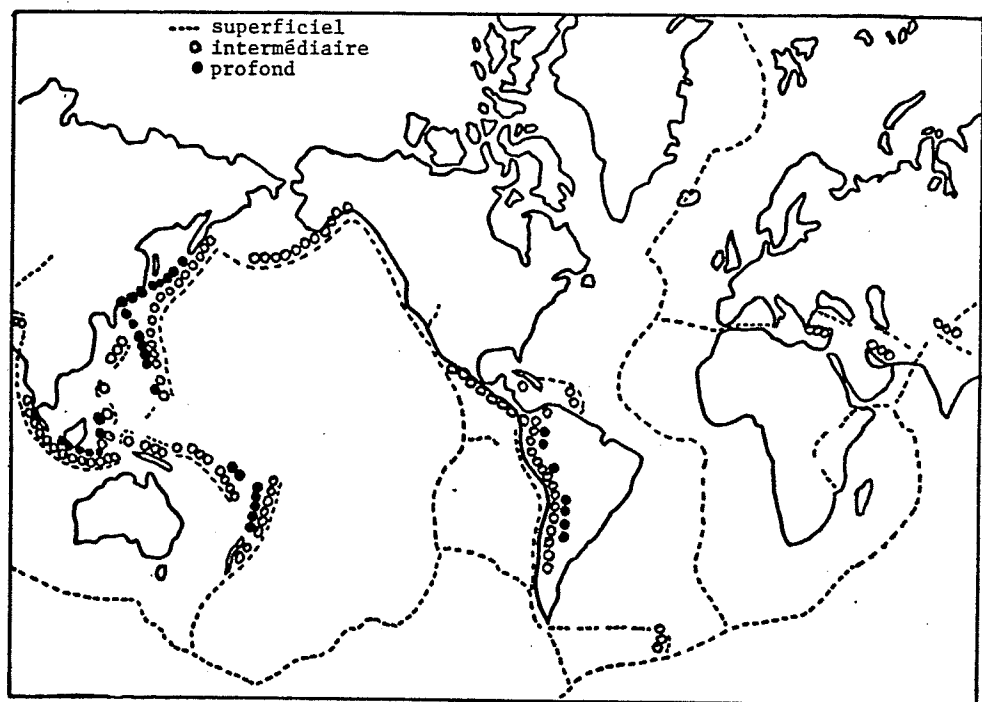
On constate que les tremblements de terre ne sont pas répartis au hasard dans le monde. Ce qui est encore plus frappant c'est le fait que les différentes zones ou ceintures impliquent généralement des tremblements de terre d'une telle profondeur. La carte mondiale ci-dessous donne la répartition mondiale des tremblements de terre par rapport à la profondeur du foyer sismique.

1. Dans la région entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, les tremblements de terre sont-ils superficiels, intermédiaires ou profonds?
2. A quelle profondeur sont les tremblements de terre le long de la côte ouest de l'Amérique du Sud?
3. Identifiez deux autres régions où l'on trouve des tremblements de terre intermédiaires ou profonds.

ILLUSTRATION 66:

La répartition mondiale des tremblements de terre par rapport à la profondeur du foyer sismique.

Tiré de *Crustal Problems* par ICS © 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.



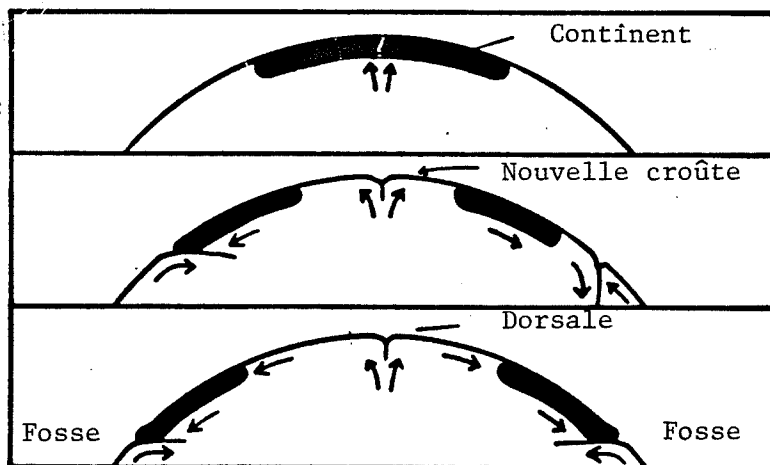
Vous pouvez constater qu'une zone de tremblements de terre superficiels divise l'océan Atlantique en deux parties. En effet, cette bande étroite s'étend autour de la terre. Ce système, nommé *dorsale médio-océanique*, est le siège d'une chaîne de montagnes volcaniques. Par contre, des tremblements de terre d'une



profondeur variable, se situent généralement le long des frontières entre les océans et les continents (ex., entre l'Amérique du Sud et l'océan Pacifique) ou entre deux continents (ex., entre l'Afrique et l'Europe).

Comment expliquer cette répartition des tremblements de terre? Une théorie avance la notion que la croûte terrestre est divisée en *plaques* qui se séparent et se repoussent à certains endroits et qui entrent en collision à d'autres endroits. Selon cette théorie, la croûte terrestre se transforme constamment à partir des dorsales médio-océaniques, se déplace dans les directions opposées de ce point d'origine, et s'enfonce finalement dans le manteau de la terre pour enfin disparaître. C'est semblable à un convoyeur gigantesque. L'illustration suivante démontre ce mécanisme.

ILLUSTRATION 67:



Tiré de *Crusty Problems* par ISCS  
© 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.

La séparation entre continents débute par la formation d'un *rift* ou d'une fracture continentale et se poursuit avec le déplacement des deux parties dans des directions opposées. Ce déplacement se produit sous l'effet de la poussée de magmas ou de roche fondue provenant de l'intérieur de la terre, qui, en s'accumulant, élargit le rift. A la surface, ce magma se refroidit lentement. Mais quelle preuve avons-nous de l'expansion des fonds océaniques à partir de la dorsale. L'activité suivante présentera une preuve de ce phénomène.

ACTIVITE 23 - Un modèle de l'expansion des fonds océaniques

A) Joignez deux feuilles de papier avec du ruban adhésif, comme dans l'illustration A.

Placez deux pupîtres l'un à côté de l'autre de façon à ce qu'ils se touchent.

Placez les deux feuilles de papier entre les pupîtres de façon à ce que l'extrémité collée pende en-dessous des pupîtres.

Pliez la feuille de gauche pour que la moitié supérieure repose sur le pupître de gauche; faites de même avec la feuille de droite.

Supposons que l'ensemble du papier représente un super-continent avant sa séparation.

B) Placez un petit aimant en forme de barre (barreau aimanté) près de la fente à côté du papier. (voir illustration B).

Placez une boussole sur chaque feuille de papier comme dans l'illustration. Tournez l'aimant si l'aiguille de la boussole ne pointe pas vers l'aimant.

L'aimant représente le champ magnétique de la terre et les boussoles seront utilisées pour le détecter.

Tracer une ligne sur chaque feuille de papier de long de la fente entre les pupîtres. Cette ligne représente la limite des deux continents après la fracture du super-continent.

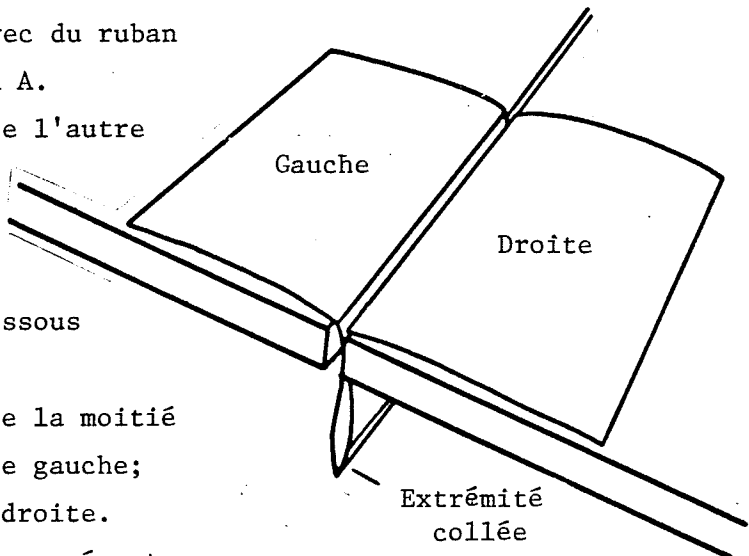


ILLUSTRATION A:

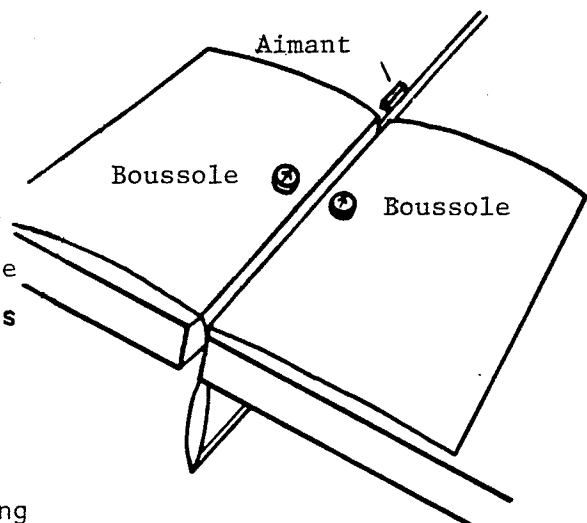
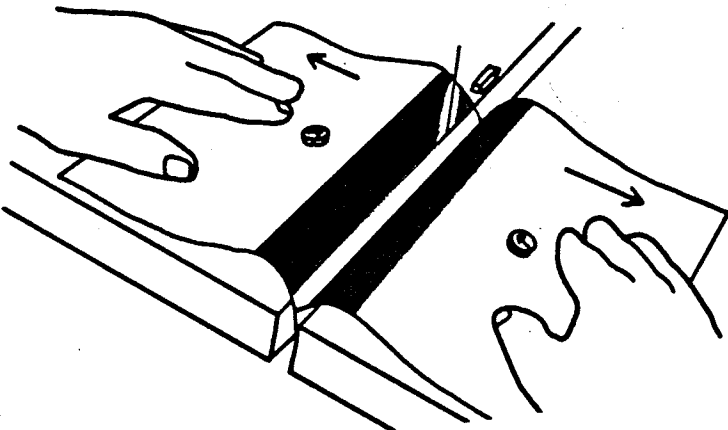


ILLUSTRATION B:

Tiré de *Crusty Problems* par ISCS © 1972.  
Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.

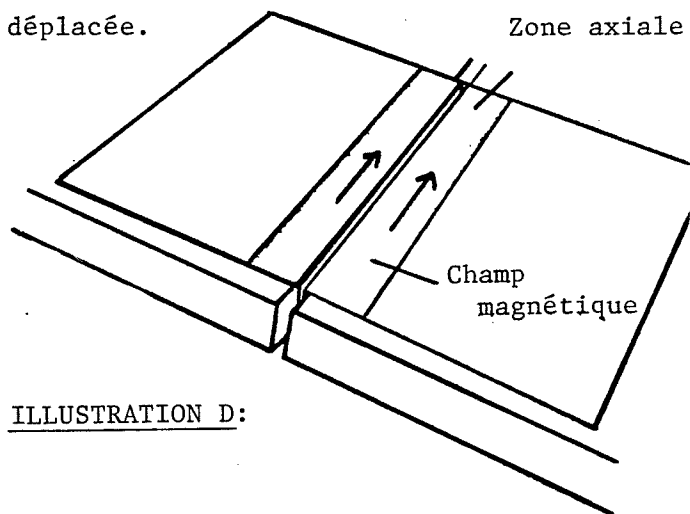
Rift continental

ILLUSTRATION C:

- C) Séparez les deux continents de la façon suivante. Posez une main sur chaque feuille de papier puis écartez lentement les feuilles en les éloignant du centre. Déplacez chaque feuille d'environ 3 cm de la ligne que vous avez tracée (rift continental).

Coloriez en rouge la surface de papier que vous avez fait sortir de la fente. Cette surface représente la zone déplacée.

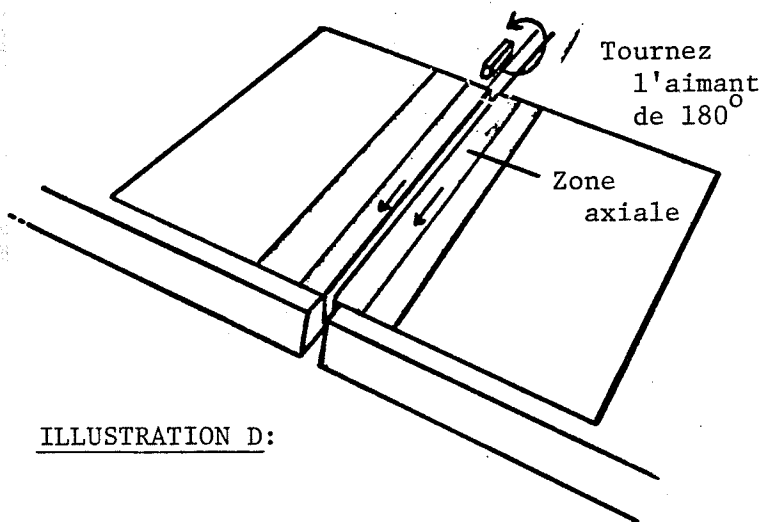
- D) Marquez le champ magnétique de chaque côté du rift continental en dessinant une flèche qui pointe dans la même direction que l'aiguille de la boussole.

ILLUSTRATION D:

- E) Tournez l'aimant de  $180^\circ$ , de façon à ce que l'autre bout pointe maintenant dans la direction du papier. Déplacez les deux continents de nouveau mais, cette fois, d'une distance de 1,5 cm de chaque côté du rift.

Coloriez en bleu la surface nouvellement exposée.

Mesurez et marquez la direction de l'aiguille de la boussole.

ILLUSTRATION D:

F) Répétez la section E deux autres fois, mais déplacez les continents 2 cm la première fois et 4 cm la deuxième fois.

Changez de couleur et tournez l'aimant en sens inverse à chaque fois.

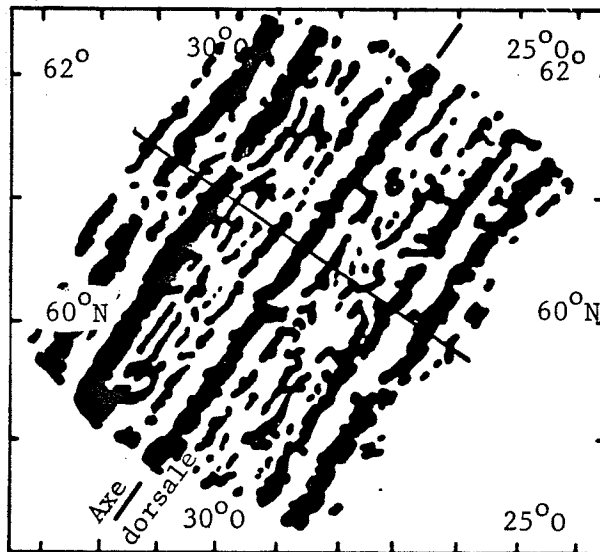
Les scientifiques ont découvert que le champ magnétique terrestre s'est inversé plusieurs fois au cours de l'existence de la terre. Chaque fois que vous avez tourné l'aimant en sens inverse, vous avez simulé l'*inversion du champ magnétique* terrestre. Vous savez déjà que la roche peut contenir du matériel métallique ayant une propriété magnétique. Selon la théorie de l'expansion des fonds océaniques, la roche partiellement fondue parvient à la surface de la zone axiale et se refroidit pendant son déplacement. Si cette roche fondue contient du matériel métallique, elle s'oriente dans la roche, avant de refroidir, comme l'aiguille d'une boussole. Donc, la direction du champ magnétique terrestre est enregistrée dans la roche.

L'illustration ci-dessous représente le champ magnétique enregistré dans le plancher de l'océan Nord-Atlantique.

ILLUSTRATION 68:

Les bandes magnétiques du plancher nord-atlantique.

Tiré de *Crusty Problems* par ICS  
© 1972. Avec l'aimable autorisation de General Learning Corporation.



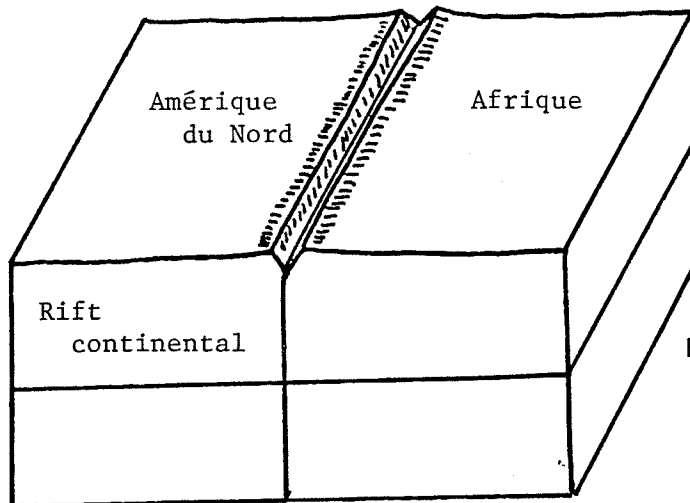
L'axe de la dorsale est situé au centre dans cette illustration. Les parties sombres représentent la roche du plancher océanique enregistrant une *polarité normale*, c'est-à-dire, orientée dans le même sens que le champ magnétique terrestre actuel. Les parties blanches représentent la roche démontrant une polarité inverse.

1. Est-ce que l'illustration représente le modèle que vous avez préparé avec les feuilles de papier?
2. Mesurez la distance le long de la ligne AA', de l'axe dorsal jusqu'à la partie sombre la plus éloignée, de chaque côté de l'axe. Est-ce que les deux distances sont presque égales?
3. Que pouvez-vous conclure par rapport à l'ampleur du déplacement du fond océanique de chaque côté de l'axe dorsal?

Etudiez les dessins que vous avez faits au cours de l'activité. Selon la théorie de l'expansion des fonds océaniques, l'océan Atlantique occupe actuellement la surface entre les continents qui se sont séparés. Prenez pour acquis que l'Amérique du Sud est le continent du côté gauche et l'Afrique celui du côté droit.

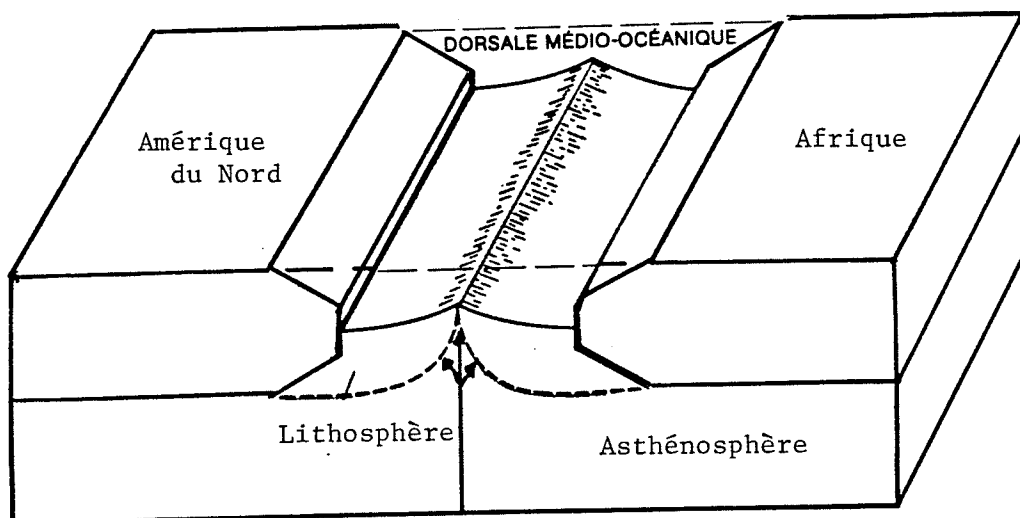
4. Si on analyse des échantillons de roches prélevés dans la zone axiale de la dorsale ainsi qu'à d'autres endroits entre cette zone et l'Amérique du Sud, quelle prédiction pouvons-nous faire au sujet de l'âge de ces roches?

Au fur et à mesure que le nouveau plancher océanique se forme, il s'éloigne de l'axe dorsal d'une distance équivalente de chaque côté. De plus, la datation radioactive indique que l'âge des sédiments augmente par rapport à la distance de la dorsale médio-océanique. Donc, les scientifiques croient maintenant que le plancher de l'océan Atlantique s'écarte lentement de la dorsale médio-océanique. La répartition des tremblements de terre le long de la dorsale indique la position de cette *faille* gigantesque dans la croûte terrestre. L'illustration à la page suivante résume ce phénomène.



Tiré de "L'histoire de l'Atlantique" par John Sclater et C. Tapscott *La dérive des continents, la tectonique des plaques.* Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

FORMATION DE LA DORSALE MÉDIO-OcéANIQUE



FORMATION DU GLACIS SÉDIMENTAIRE

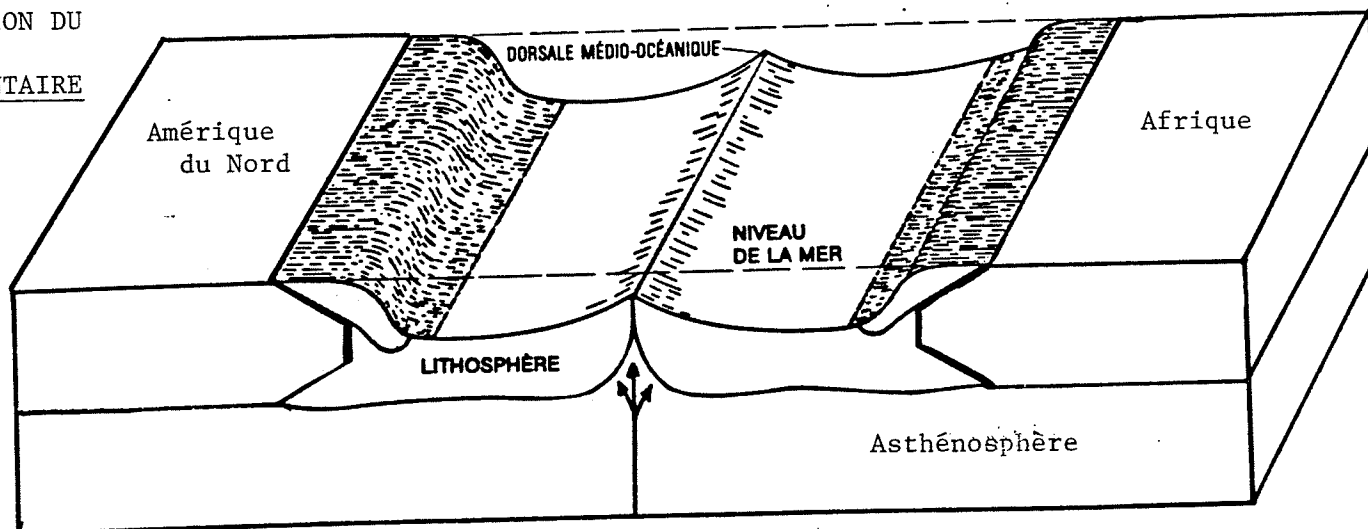
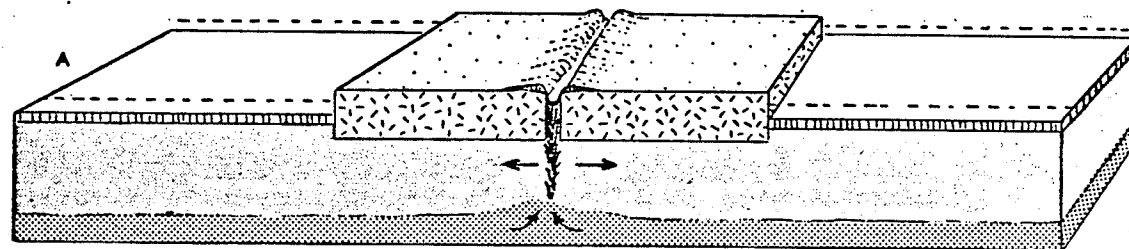


ILLUSTRATION 69: La séparation entre continents débute par la formation d'un rift continental (en haut). L'arrivée continuelle de nouveaux magmas élargit la coupure, donne naissance à un nouveau plancher océanique et repousse les continents de part et d'autre du rift qui se transforme peu à peu en une vraie dorsale (au milieu). Pendant que l'expansion se poursuit, les produits d'érosion des continents s'accumulent au pied du talus continental, créant un glacis sédimentaire (en bas).

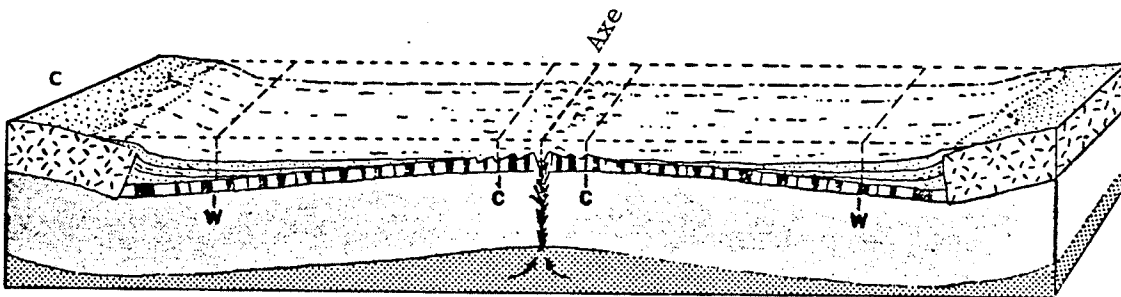
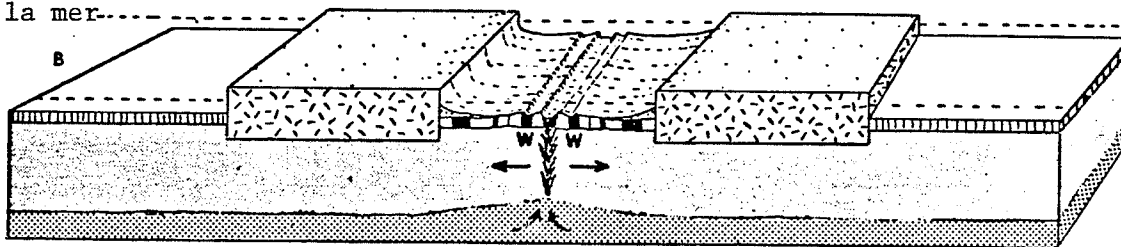
### ACTIVITE 24 - Une autre preuve de l'expansion des fonds océaniques

Dans la section précédente, on a dit que la datation radioactive des sédiments déposés sur le plancher océanique appuyait l'idée de l'expansion des fonds océaniques. Cette activité vous aidera à comprendre une autre preuve appuyant cette notion.

Etudiez l'illustration ci-dessous et ensuite répondez aux questions qui suivent.



Echelle: 1 mm = 75 km



Croûte  
continentale  
(granite)



Ancienne  
croûte  
océanique  
(basalte)



Nouvelle  
croûte  
océanique  
(basalte)



Lithosphère  
(rigide)



Asthénosphère  
(plastique)



Sédiments

Tiré de  
*Laboratory  
Studies in  
Earth His-  
tory*, 3rd  
Ed., par  
James C. Brice  
et Harold L.  
Levin, ©  
1960, 1977,  
1981. Avec  
l'aimable au-  
torisation de  
WM. C. Brown  
Company Pub-  
lishing,  
Dubuque, Iowa

**ILLUSTRATION 70:** Les étapes dans la formation d'un bassin océanique et la séparation de deux continents (selon le concept de l'expansion des fonds océaniques).

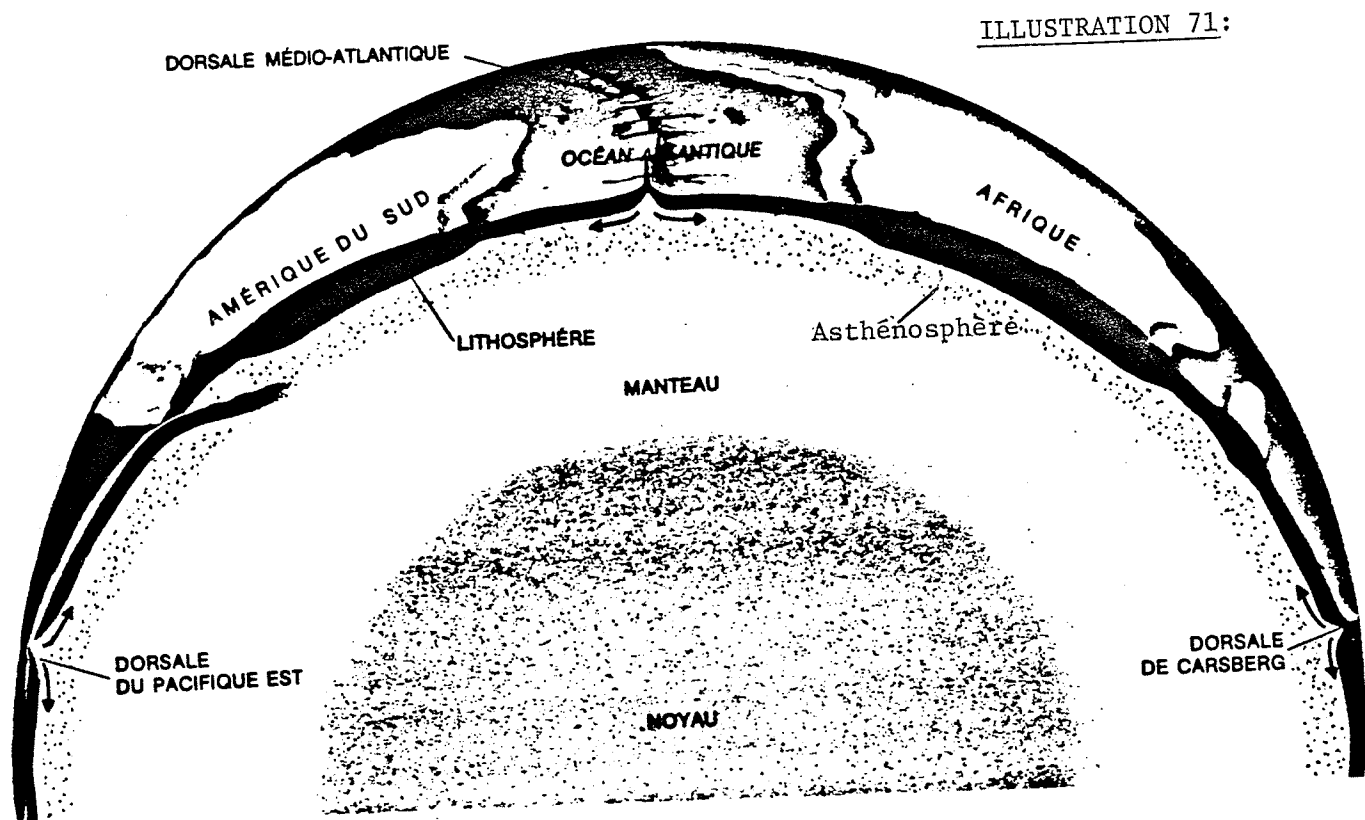
1. Est-ce que le plancher à l'endroit "C" est plus ou moins ancien qu'à "W"?
  2. Pourquoi les bandes aux endroits "C" sont-elles à la même distance de l'axe de la dorsale?
  3. Est-il possible que les sédiments sur le nouveau plancher océanique aient été déposés avant que le rift continental séparant l'ancien super-continent ne se produise? Donnez vos raisons.
  4. Pourquoi la couche de sédiments est-elle plus épaisse au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la dorsale dans la direction d'un continent?
- \*\*\*5. Etudiez l'illustration "C" à la figure 70. Prenez pour acquis que la situation actuelle y est représentée et, en plus, que la bande basaltique à l'endroit "C" a été précisément datée comme étant 10 millions d'années. Calculez, en centimètres, le taux annuel moyen de séparation (ou de déplacement) des continents durant cette période.
- \*\*\*6. Si le taux de séparation est le même pour "C" et "W", quel sera l'âge du plancher océanique à l'endroit "W"?
- \*\*\*7. En 1922, Alfred Wegener avait essayé d'assembler les continents en utilisant la limite du plateau continental à une profondeur d'environ 200 mètres. Actuellement, les géologues jugent que l'assemblage devrait se faire encore plus loin du bord, à une profondeur de 2 000 mètres. Compte tenu de l'illustration "C" à la figure 70, proposez une explication pour ce choix.



## La tectonique des plaques

On peut marier les deux idées, l'expansion des fonds océaniques et la dérive des continents, formant ainsi un seul concept appelé la *tectonique des plaques*. Ce concept suggère que la lithosphère de la terre est composée de plaques rigides qui flottent sur une couche de fluide visqueux, l'*asthénosphère*, constitué de matériaux semi-fondus.

Les continents et les océans sont transportés simultanément par les plaques sur lesquelles ils sont placés. L'illustration suivante démontre le rapport entre ces différents éléments de la terre.



Tiré de "Les points chauds" par Kevin Burke et Tuzo Wilson, *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

On peut identifier sept grandes plaques dans ce système. Il existe d'autres plaques plus petites que ces dernières; cependant on ne les identifiera pas en premier afin de ne pas trop compliquer l'explication. L'illustration suivante montre les frontières de ces sept grandes plaques, soit les plaques eurasiatique, australienne, pacifique, antarctique, nord-américaine, sud-américaine et africaine.

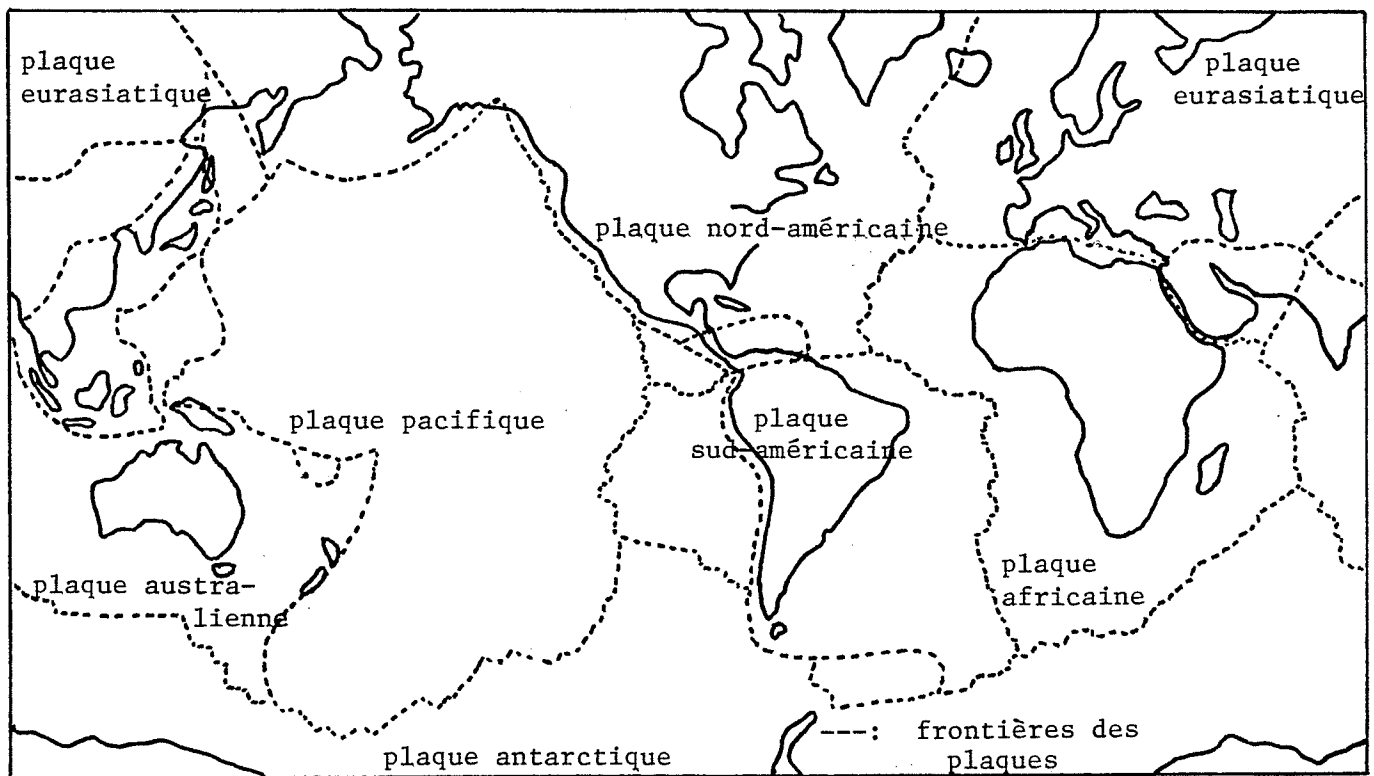
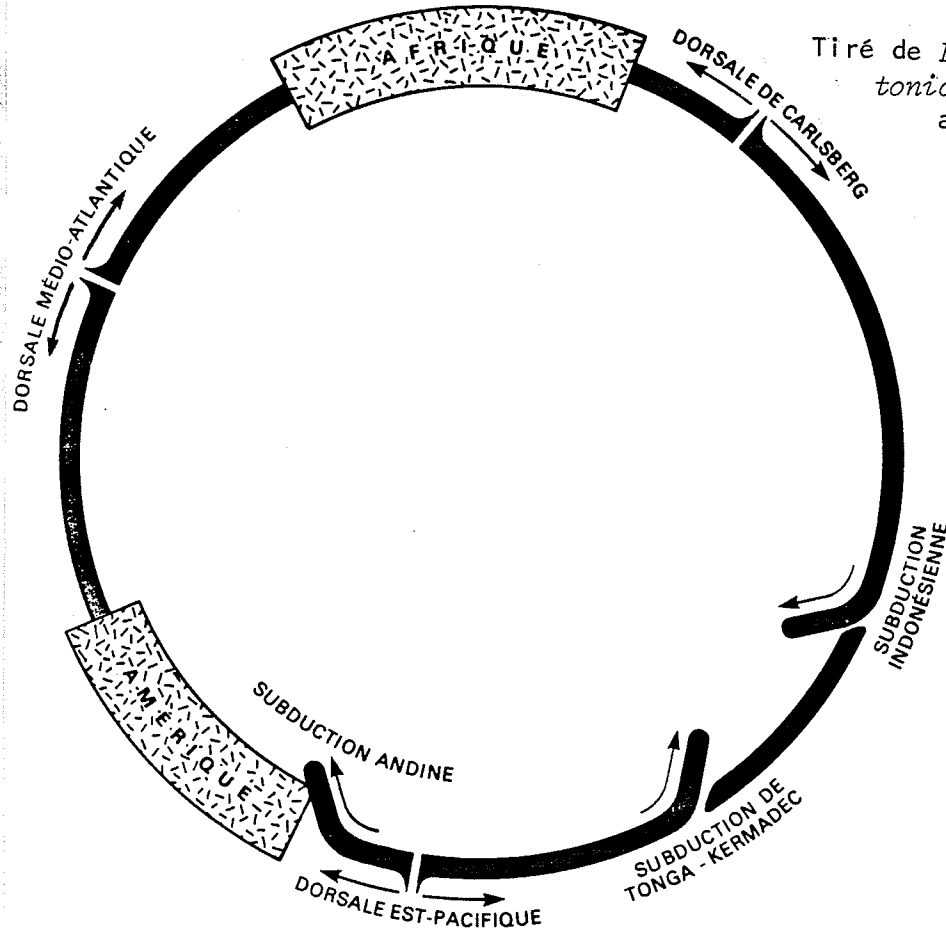


ILLUSTRATION 72: La répartition des plaques mondiales.

Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

Ces plaques sont constamment en mouvement. Elles se forment le long des dorsales océaniques puis s'en éloignent pour enfin parvenir à des zones de subduction. A la zone de subduction, la croûte océanique disparaît dans

l'asthénosphère de la terre. Par contre, la croûte continentale reste à la surface,



Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

#### ILLUSTRATION 73:

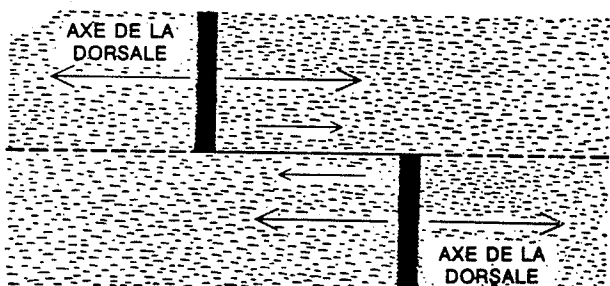
CETTE COUPE GÉNÉRALE DU GLOBE TERRESTRE illustre les principales opérations qui régissent la tectonique des plaques. On distingue clairement les dorsales où se fabrique la nouvelle croûte océanique et les zones de subduction qui détruisent cette croûte par engloutissement dans le manteau. Au cours du processus, les continents sont passifs.

étant donné qu'elle est plus légère que la croûte océanique. Alors, ce n'est que cette dernière qui est recyclée à l'intérieur de la terre. L'illustration ci-haut résume le cycle de vie de ces plaques.

On peut identifier trois types de frontières entre les plaques. La dorsale est l'endroit où la nouvelle croûte océanique est formée lorsque des matériaux chauds remontent des profondeurs du manteau. Cette sorte de frontière est donc *constructive*.

Une zone de subduction est un endroit où deux plaques adjacentes entrent en collision. Dans les océans, cette zone est caractérisée par des fosses profondes et des arcs insulaires. Généralement, une des plaques plonge dans le manteau de la terre et disparaît. A l'intérieur d'un continent, et même entre océan et continent, la collision entre deux plaques peut entraîner la formation de montagnes. Cette sorte de frontière peut être classifiée comme étant de nature destructive. Le troisième type de frontière est représenté par les failles transformantes. Les dorsales océaniques ne sont pas continues. Elles sont plutôt interrompues par des failles ou fractures dans l'écorce terrestre. La faille transformante est donc une fracture rejoignant deux segments de la même dorsale. Le long de cette faille transformante, les plaques glissent en sens contraire. Les illustrations suivantes montrent le lien entre la faille transformante et les axes dorsales.

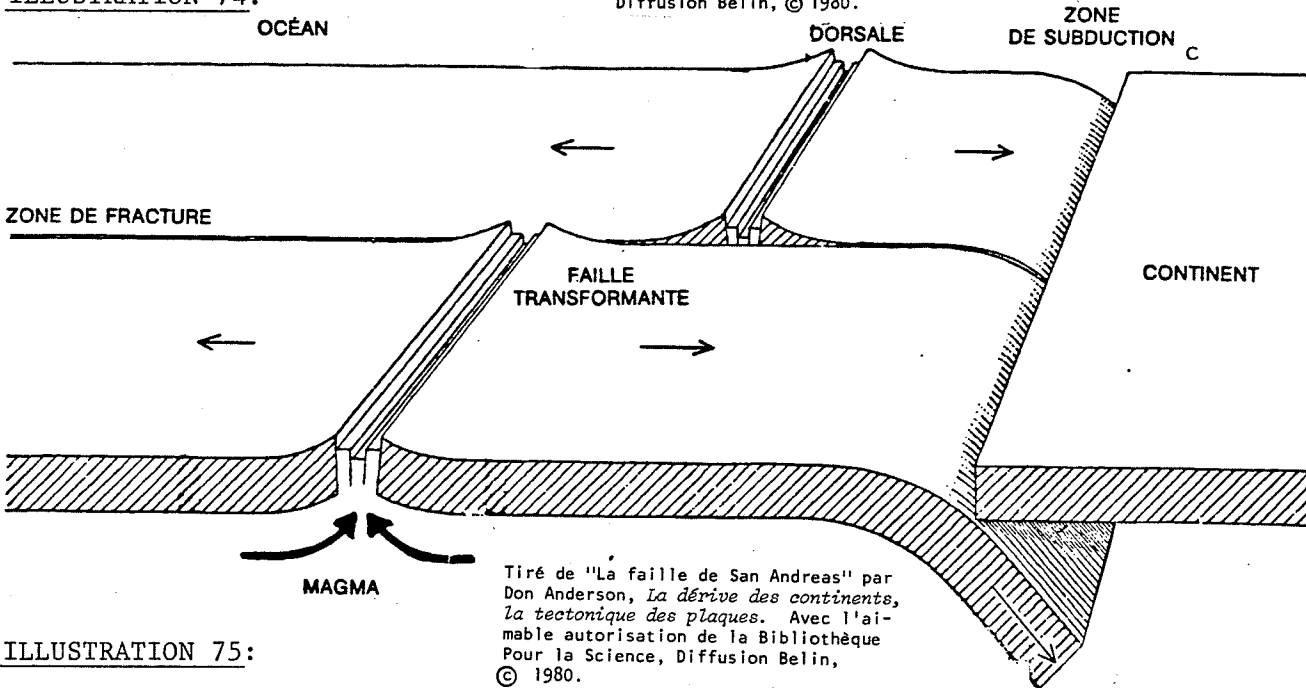
La croûte terrestre n'est ni créée ni détruite, elle se déplace tout simplement dans des sens opposés de chaque côté de la faille transformante. Alors on pourrait classifier ces failles comme étant de genre conservateur.



**ZONE DE FRACTURE**  
Tiré de "L'origine des océans" par Sir Edward Bullard, *La dérive des continents, la tectonique des plaques.* Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

LES MOUVEMENTS le long de l'axe d'une dorsale océanique consistent en l'ouverture d'une fracture axiale (bande verticale) à partir de laquelle deux plaques divergent (flèches). Le mouvement des plaques est nécessairement parallèle aux failles transformantes.

**ILLUSTRATION 74:**



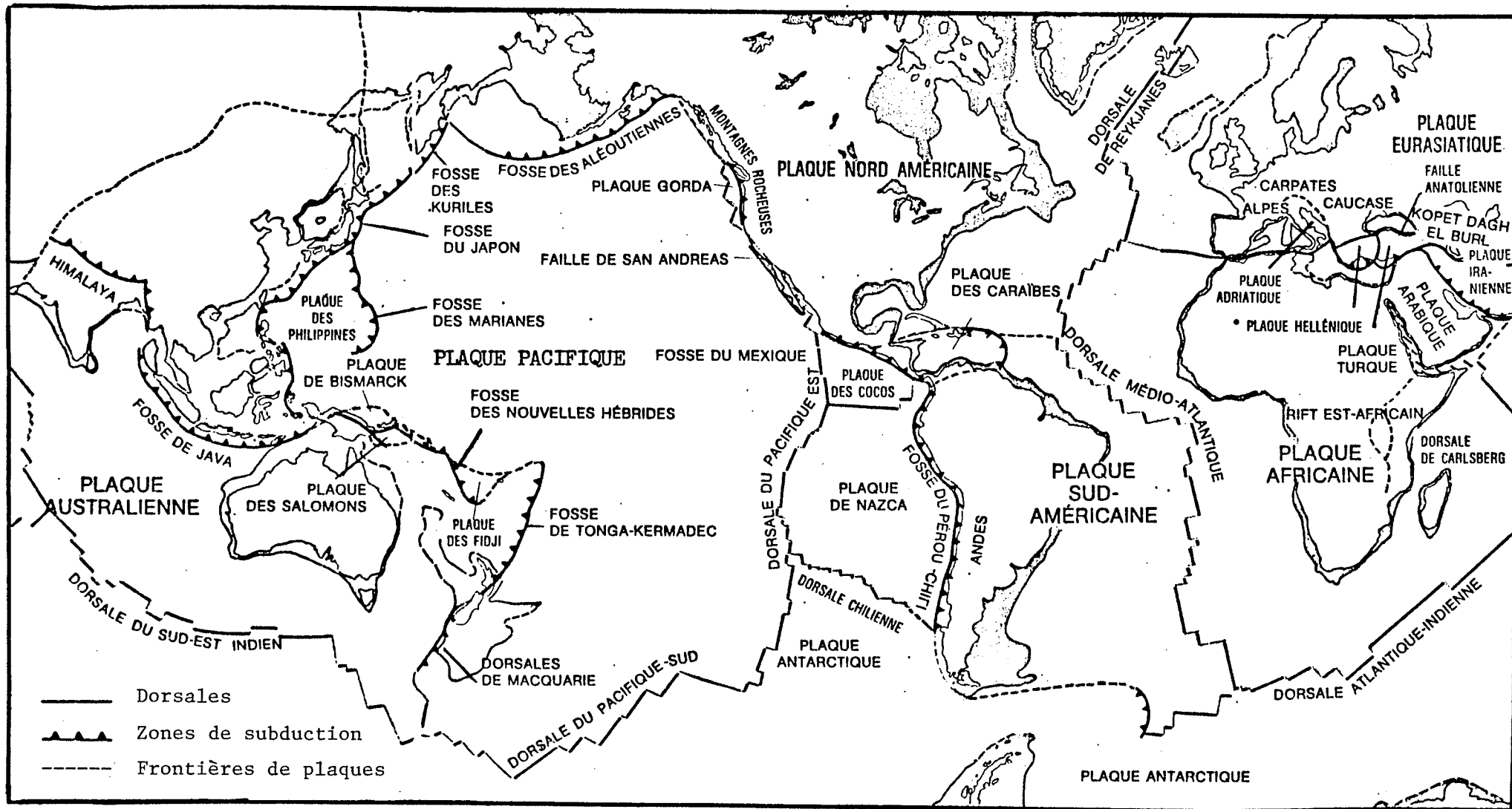
Tiré de "La faille de San Andreas" par Don Anderson, *La dérive des continents, la tectonique des plaques.* Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

**ILLUSTRATION 75:**

### ACTIVITE 25 - La direction des plaques mobiles

Tenant compte du fait que les plaques sont formées à la dorsale et qu'elles sont ensuite détruites à la zone de subduction, interprétez la carte mondiale la figure 76 et répondez aux questions.

1. Dans quelle direction les plaques suivantes se dirigent-elles? Indiquez la direction sur la carte en utilisant des flèches.
  - a) la plaque pacifique;
  - b) la plaque sud-américaine;
  - c) la plaque nord-américaine;
  - d) la plaque australienne;
  - e) la plaque de Nazca;
  - f) la plaque des Cocos.
2. Identifiez une zone de subduction:
  - a) entre un océan et un continent;
  - b) à l'intérieur d'un continent.
3. Identifiez une chaîne de montagnes qui a probablement comme origine l'enfoncement de deux plaques adjacentes.



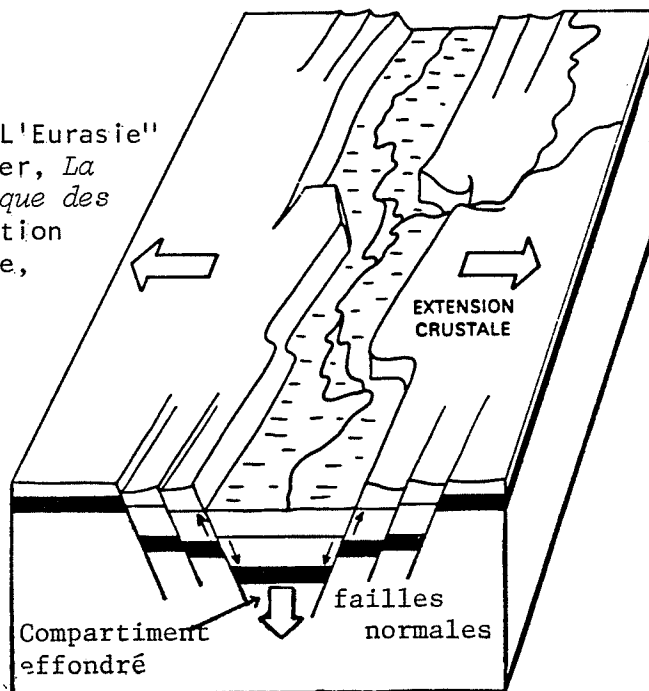
Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

## ACTIVITE 26 - Une simulation des forces de compression et de distension

Le mouvement des plaques est un processus très dynamique. Les forces de distension agissant sur une plaque peuvent précipiter la formation de diverses structures géologiques telles que des *fossés d'effondrement* ou des vallées, des rifts et même des mers. L'illustration suivante montre la formation du système de fossés d'effondrement du Chansi dans le nord-est de la Chine.

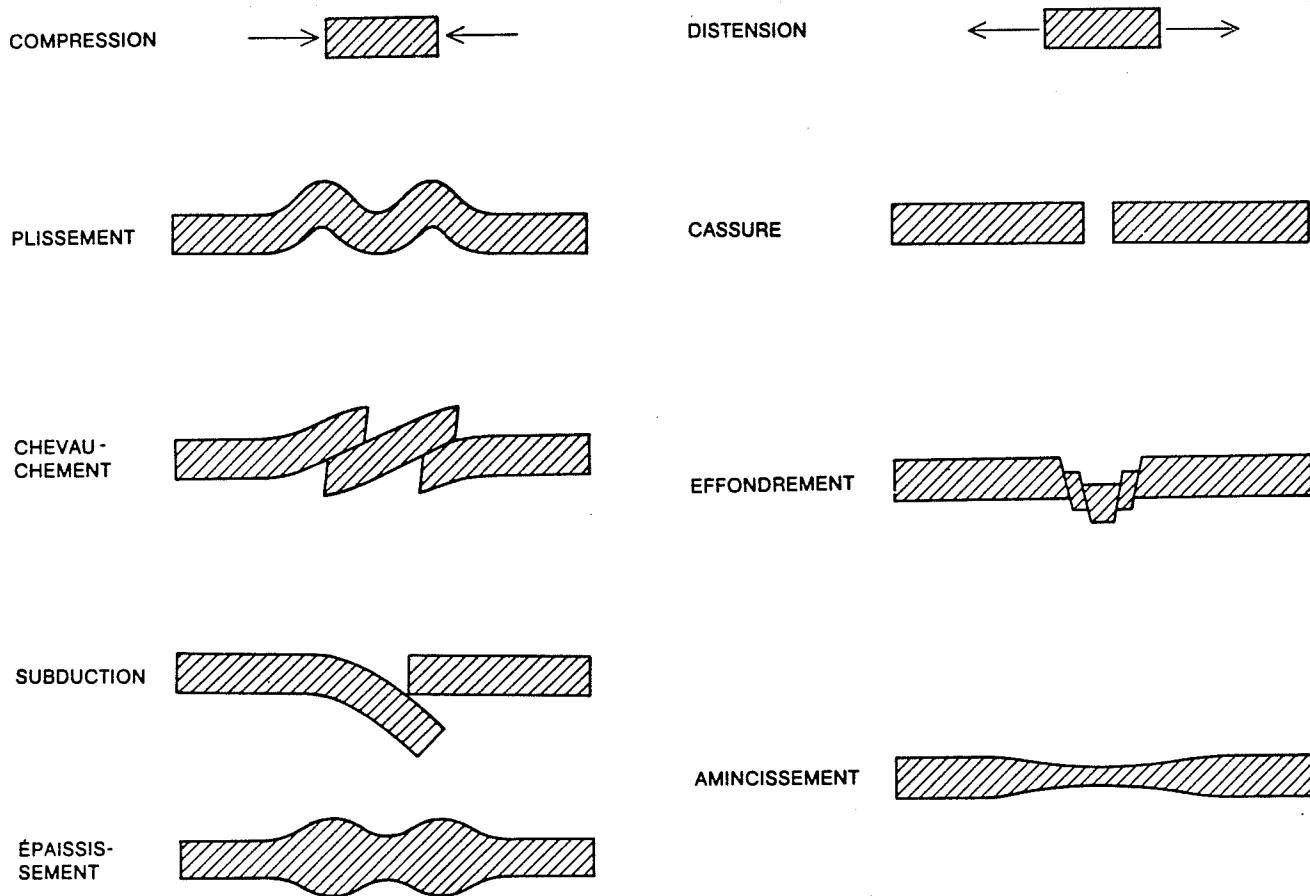
### ILLUSTRATION 77:

Tiré de "Le choc de l'Inde et de L'Eurasie" par Peter Molnar et Paul Tapponnier, *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.



D'autre part, les forces compressives agissant sur une plaque crustale peuvent entraîner la formation de structures telles que des montagnes, des systèmes d'arcs insulaires et de fosses profondes. L'illustration suivante démontre les principales réactions dues à ces forces opposantes.

Faites des expériences avec deux planches sur lesquelles la tête de quelques clous dépassent d'un centimètre.



Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

LA REPONSE D'UNE PLAQUE CRUSTALE à la compression (à gauche) ou à la distension (à droite) explique la plupart des phénomènes géologiques. Selon la théorie de la tectonique des plaques, l'enveloppe de la terre est constituée d'une série de plaques rigides qui glissent, se heurtent ou s'éloignent les unes des autres. La théorie permet de reconstituer l'évolution des continents vers leurs positions actuelles.

- A) Placez les deux planches l'une à côté de l'autre et appliquez une couche uniforme de pâte à modeler d'une épaisseur de 2 cm sur leur surface, en tassant bien la pâte autour de la tête des clous.

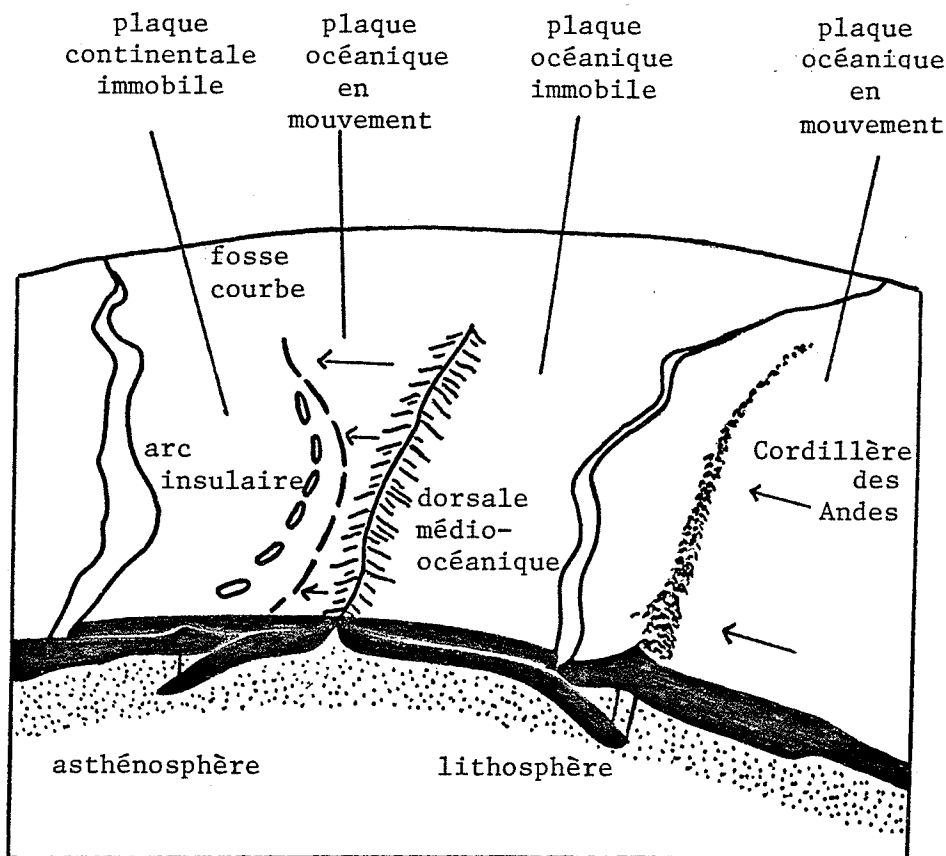


Séparez lentement les deux planches et observez-les dans la surface. Décrivez-la.

- B) Etalez la pâte à modeler de nouveau sur les deux planches placées côte à côte. Déplacez les planches en sens inverse en les glissant l'une contre l'autre. Observez les changements dans la surface et décrivez-les.
- C) Faites les expériences A et B de nouveau, mais cette fois, utilisez du plâtre de moulage ou une pâte composée d'eau et de farine. Variez la consistance de ces mélanges et observez les résultats. Décrivez les formations qui en résultent.
- D) Faites l'expérience de nouveau avec de la pâte à modeler; mais cette fois, laissez un espace de 3 cm entre les deux planches lorsque vous appliquez la pâte à modeler. Ramenez lentement les deux planches ensemble. Décrivez les formations qui en résultent. Ensuite, préparez les planches de la même façon mais cette fois déplacez-les parallèlement et en sens inverse. Décrivez les formations qui en résultent.

#### ACTIVITE 27 - Une preuve du phénomène des plaques plongeantes

La *convergence* ou le rapprochement de deux plaques entraîne généralement la disparition d'une des plaques, car lorsque deux plaques convergent, l'une des deux plonge et est ensuite absorbée dans le manteau. Ce phénomène est appelé la subduction, et l'endroit où il se produit, la zone de subduction. La convergence des plaques peut engendrer deux structures géologiques distinctes telles que les systèmes de fosses et d'arcs insulaires, ainsi que les montagnes. L'illustration suivante montre comment ces structures se forment.



## ILLUSTRATION 79:

Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

LA CONVERGENCE DES PLAQUES peut engendrer deux structures géologiques distinctes. Lorsque la plaque océanique progresse vers un continent immobile, le plancher océanique, mince et flexible, s'enfonce dans le manteau le long d'une zone de pliure courbe, située au large du continent. Il se forme alors un arc insulaire, comme le Japon ou l'archipel indonésien. A l'opposé, lorsque le continent chevauche une plaque océanique immobile, la plaque lithosphérique descendante doit se plier le long de la côte et il en résulte une chaîne de montagnes volcaniques située sur le bord du continent comme la Cordillère des Andes.

Quelle preuve avons-nous de l'existence de ces plaques plongeantes?

- Dans une activité précédente, vous avez situé le foyer sismique de différents tremblements de terre qui se sont produits au cours d'une certaine période. Utilisez ces données pour l'activité qui suit.
- Sélectionnez un endroit dans la zone active (ex., la ceinture le long de l'océan Pacifique) où se produisent des séismes superficiels, intermédiaires et profonds.
- Dessinez une ligne perpendiculaire à la rive continentale à travers cette ceinture.

- Mesurez la distance du séisme à la rive continentale en millimètres.
  - Notez cette distance ainsi que la profondeur du foyer sismique de plusieurs tremblements de terre proches de la ligne dessinée.
  - Construisez un graphique comparant la profondeur du foyer sismique (en mètres) par rapport à la distance de la rive (en millimètres).
1. Compte tenu de votre graphique, quelle conclusion générale pouvez-vous faire?
  2. Comment expliquez-vous cette répartition?

### ACTIVITE 28 - La construction de modèles tectoniques

#### A) La zone de subduction:

Compte tenu de toutes les informations précédentes concernant la convergence des plaques, utilisez n'importe quels matériaux pour construire un modèle qui simule le processus de la destruction d'une plaque à la zone de subduction.

#### B) La faille transformante:

Construisez un modèle afin de simuler le glissement des plaques le long d'une faille transformante.

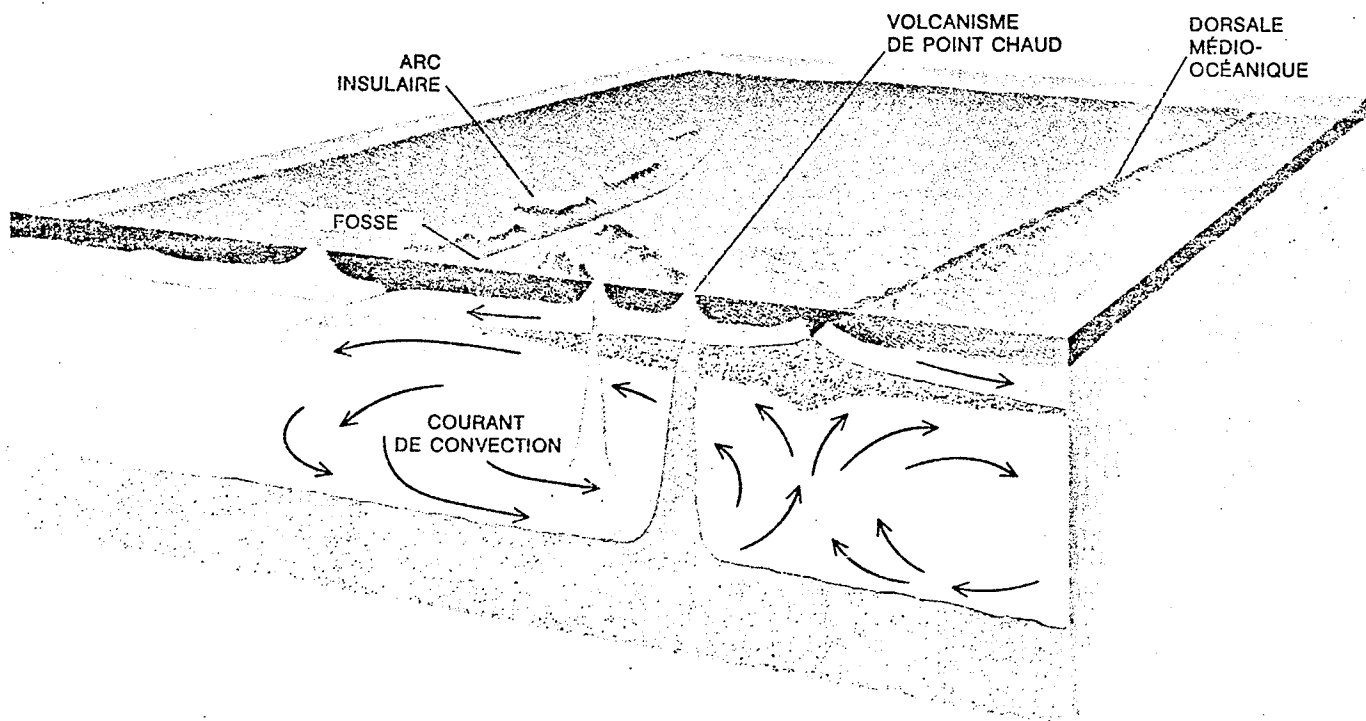
\*\*\*C) Essayez de construire un modèle avec lequel vous pouvez simuler l'expansion des fonds océaniques à l'axe d'une dorsale, le glissement des plaques le long d'une faille transformante et la subduction d'une plaque.

### Le moteur tectonique

Plusieurs hypothèses ont été proposées au cours des dernières décennies pour tenter d'expliquer le déplacement des plaques rigides. En dépit du fait que les géologues ont clarifiés comment ce phénomène se déroule, ils n'ont pas encore réussi à en expliquer le pourquoi. Une hypothèse suggère que le déplacement des plaques est dû à des *courants de convection* dans le manteau terrestre.

La lithosphère, couche froide et rigide, comprend la croûte terrestre et la partie supérieure du manteau. Cette lithosphère glisse sur l'asthénosphère, couche plus chaude et plus plastique, qui fait partie du manteau terrestre. Selon cette hypothèse, les matériaux réchauffés, le magma, montent à la dorsale et se déplacent horizontalement vers la zone de subduction, transportant simultanément la lithosphère. Une fois refroidis, ces matériaux redescendent formant ainsi une circulation mantélique. L'illustration suivante démontre de phénomène.

ILLUSTRATION 80:



Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

Il existe une autre hypothèse semblable à cette dernière, mais elle se distingue en proposant que la convection mantélique est réalisée à l'intérieur de cellules. La "circulation à grande échelle" désigne une cellule de convection qui s'étend le long d'une plaque entière. L'illustration ci-dessous démontre cette circulation à grande échelle.

Tiré de "Les mouvements de corrections dans le manteau terrestre" par David McKenzie et Frank Richter, *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

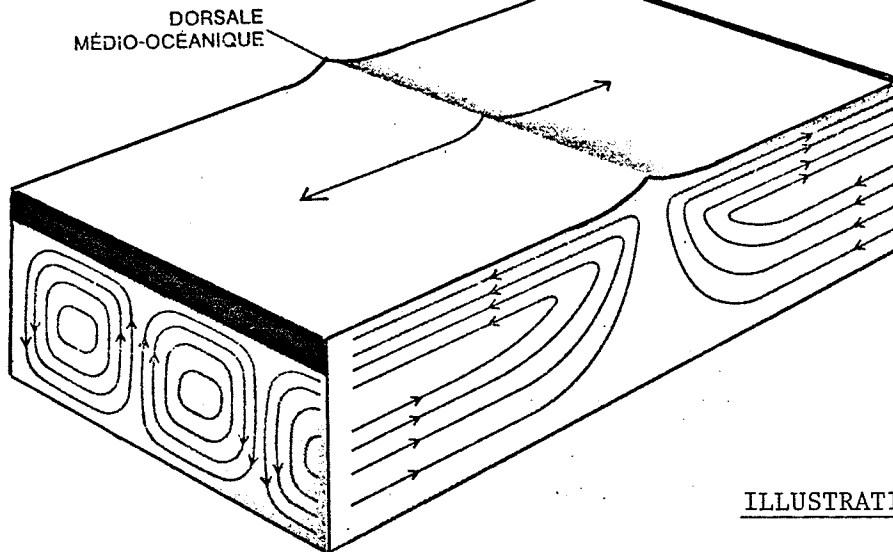
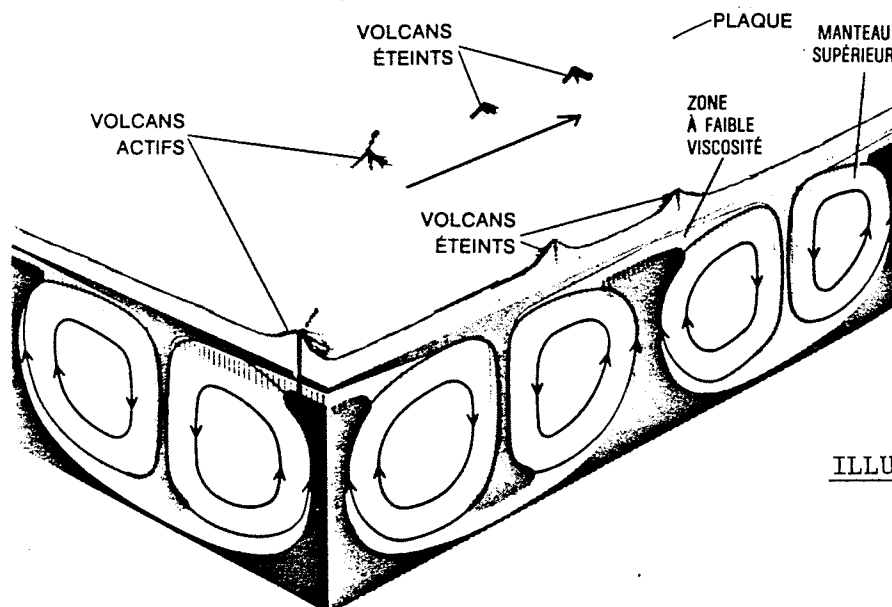


ILLUSTRATION 81

D'autres géologues ont ajouté à ce modèle en suggérant que ce mouvement convectif à grande échelle est accompagné de plus petites cellules convectives, superposées à la circulation générale. Cette notion expliquerait la présence de volcans à l'intérieur d'une plaque. L'illustration suivante montre cette circulation à petite échelle. Il est à noter que la convection à grande échelle est omise de cette illustration afin de la simplifier.



Tiré de *La dérive des continents, la tectonique des plaques*. Avec l'aimable autorisation de la Bibliothèque Pour la Science, Diffusion Belin, © 1980.

ILLUSTRATION 82

D'autres modèles ont été proposés afin d'élucider le mécanisme responsable du déplacement des plaques. Mais aucun modèle n'a réussi jusqu'à présent à expliquer de façon satisfaisante, les diverses observations recueillies par de nombreux géologues. Ce moteur tectonique se révélera un jour mais, en attendant, les scientifiques continuent à étudier la terre avec les moyens disponibles.

### Problèmes à résoudre

Comme avec n'importe quelle théorie, il existe encore des parties à intégrer dans l'ensemble de la théorie de la tectonique des plaques. Plusieurs questions demeurent toujours sans réponses adéquates. Néanmoins, comme vous l'avez déjà constaté, la théorie de la tectonique des plaques explique assez bien la dérive des continents, d'une part, et de nombreuses notions relatives à l'océanographie et à la sismologie d'autre part. Cette théorie a donné une certaine harmonie aux sciences de la terre, permettant une bonne synthèse de multiples observations dans un schéma global.

# VOCABULAIRE (Mots nouveaux)

162

croûte	onde de fond
manteau	onde de surface
noyau	onde longue
athénosphère	épicentre
lithosphère	magnitude
granite	amplitude
basalte	sismographe
Moho	sismogramme
péridotite	échelle Richter
surface de discontinuité	intensité
isostasie	échelle modifiée de Mercalli
onde de compression	super-continent
vitesse de propagation	strie
onde sismique	dépôt glaciaire
foyer	géochronologue
primaires	orogénèse
onde de cisaillement	ceinture orogénique
secondaire	craton

tillite	tectonique des plaques
volcan	zone de subduction
tremblement de terre	constructive
fosse profonde	axe dorsale
arc insulaire	fossés d'effondrement
profil topographique	convergence
sondage sonore	courant de convection
réfraction sismique	cellule de convection
marge continentale	
bassin océanique	
dorsale océanique/médio-océanique	
plateau	
talus	
pente	
plaine abyssale	
mont de mer	
guyot	
faille transformante	
inversion du champ magnétique	



# EVALUEZ VOS CONNAISSANCES 164

## A. VRAI OU FAUX

Indiquez devant chacune des affirmations suivantes si elle est vraie ou fautive. Si elle est fautive, écrivez l'affirmation juste.

- 1 - La terre continuera probablement à se transformer.
- 2 - La terre est plus grosse sur son axe polaire que sur son axe équatorial.
- 3 - Les ondes longues (L) sont responsables en grande partie de la nature destructive des tremblements de terre.
- 4 - L'épicentre d'un tremblement de terre se situe à la surface de la terre directement au-dessus de son foyer profond.
- 5 - Richter est connu pour avoir inventé le sismographe.
- 6 - Une destruction totale se produit au 7<sup>e</sup> échelon de l'échelle modifiée de Mercalli.
- 7 - L'orogénèse se rapporte aux phénomènes entraînant la dérive des continents.
- 8 - Les fosses océaniques situées le long de l'océan Pacifique se rencontrent combinées aux cratons.
- 9 - Le profil topographique d'une région nous donne un indice de son relief.
- 10 - Les dorsales océaniques ressemblent à des chaînes d'îles d'origine volcanique.

- 11 - Selon la théorie de la tectonique des plaques, la croûte terrestre se forme continuellement dans l'océan.
  
- 12 - L'expansion des fonds océaniques se rattache à la formation et au déplacement d'une nouvelle croûte océanique des dorsales médio-océaniques.
  
- 13 - L'Amérique du Nord finira par plonger dans l'océan Pacifique.
  
- 14 - L'emplacement des séismes de différentes profondeurs peut servir de preuve à la subduction d'une plaque.
  
- 15 - L'asthénosphère est la couche froide et rigide soutenant la croûte terrestre.

## B. CHOIX MULTIPLE

Choisissez la réponse qui convient le mieux à chaque question.

- 1 - La croûte terrestre est plus épaisse sous les
 

a) océans	c) montagnes
b) continents	d) plaines
  
- 2 - La partie de la terre la plus éloignée de la surface est
 

a) la croûte	c) le noyau interne
b) le manteau	d) le noyau externe
  
- 3 - La lithosphère inclut
 

a) la croûte et le Moho	c) le manteau et le Moho
b) le manteau et la croûte	d) l'asthénosphère
  
- 4 - La croûte océanique se distingue de la croûte continentale parce qu'elle est composée de
 

a) basalte	c) fer
b) granite	d) péridotite
  
- 5 - Les ondes sismiques qui se propagent comme une corde agitée sont les ondes de
 

a) compression	c) fond
b) cisaillement	d) surface
  
- 6 - Un tremblement de terre de 7 sur l'échelle Richter sera de combien de fois plus fort qu'un autre de magnitude 3?
 

a) 10	c) 1 000
b) 100	d) 10 000
  
- 7 - Les montagnes Rocheuses seraient considérées
 

a) des cratons	c) un habitat optimal pour <u>Glossopteris</u>
b) une ceinture orogénique	d) un dépôt d'origine glaciaire

- 8 - Les fosses océaniques comme la fosse des Mariannes peuvent atteindre une profondeur d'environ
- a) 1 000 mètres
  - b) 10 000 mètres
  - c) 100 000 mètres
- 9 - La vitesse du son dans l'eau de mer est d'environ
- a) 14,6 mètres/seconde
  - b) 1460 mètres/seconde
  - c) 146 mètres/seconde
  - d) 14 600 mètres/seconde
- 10 - La descente rapide entre le plateau continental et les fonds océaniques est
- a) le talus
  - b) la pente
  - c) la crête
  - d) la fosse
- 11 - Laquelle des fosses océaniques suivantes est la plus profonde?
- a) des Mariannes
  - b) des Kouriles
  - c) des Philippines
  - d) de Porto Rico
  - e) des Aléoutiennes
- 12 - L'océan Atlantique est divisé en deux parties par une zone de tremblements de terre
- a) superficiels
  - b) intermédiaires
  - c) profonds
- 13 - L'enregistrement de l'inversion du champ magnétique terrestre dans le plancher océanique est une preuve appuyant
- a) la dérive des continents
  - b) l'expansion des fonds océaniques
  - c) la tectonique des plaques
  - d) les trois notions ci-dessus
- 14 - Une fracture où deux plaques qui glissent en sens contraire est
- a) une zone de subduction
  - b) un axe dorsale
  - c) une faille transformante
- 15 - Le mouvement des plaques peut former diverses structures géologiques telles que des
- a) fossés d'effondrement
  - b) rifts
  - c) mers
  - d) toutes les structures ci-dessus

## C. COMPLETEZ LES PHRASES SUIVANTES

- 1 - L'épaisseur moyenne de la croûte terrestre sous les \_\_\_\_\_  
est de l'ordre de 5 à 10 kilomètres.
- 2 - La couche supérieure du manteau terrestre s'appelle le (1a, 1')  
\_\_\_\_\_.
- 3 - Les mouvements verticaux entre les zones majeures de la croûte terrestre  
sont expliqués par le (1a, 1') \_\_\_\_\_.
- 4 - Le point d'origine souterrain des ondes sismiques est le (1a, 1')  
\_\_\_\_\_.
- 5 - La magnitude d'un tremblement de terre varie avec le (1a, 1')  
\_\_\_\_\_ maximale des ondes sismiques.
- 6 - Les pertes humaines et les dégâts matériels causés par un tremblement  
de terre sont mesurés par le (1a, 1') \_\_\_\_\_.
- 7 - La théorie que les continents actuels proviennent d'un seul super-con-  
tinent fut émise en 1912 par \_\_\_\_\_.
- 8 - Une fougère fossile, \_\_\_\_\_, découverte sur différents  
continents est une preuve importante appuyant la théorie de la dérive  
des continents.

- 9 - Un (une) \_\_\_\_\_ est un géologue spécialisé dans la datation radioactive.
- 10 - Le produit d'une orogénèse au début de l'existence terrestre est typiquement appelé un (une) \_\_\_\_\_.
- 11 - Les \_\_\_\_\_ sont des montagnes isolées d'origine volcanique ayant le sommet plat et qui sont situées dans les plaines abyssales.
- 12 - Les \_\_\_\_\_ ressemblent à une longue chaîne de montagnes encerclant la planète.
- 13 - La tectonique des plaques préconise que le (la, l') \_\_\_\_\_ de la terre est composée de plaques rigides flottant sur une couche de fluide visqueux.
- 14 - La région où la croûte disparaît dans le manteau de la terre est le (la, l') \_\_\_\_\_.
- 15 - Le (la) \_\_\_\_\_ est une faille transformante bien connue séparant la plaque Nord-Américaine de la plaque Pacifique.

## D. QUESTIONS

- 1 - Qu'est-ce qu'un modèle scientifique? En quoi ces modèles sont-ils utiles?
- 2 - Imaginez que l'on puisse prévoir un tremblement de terre. Comment pourrait-on minimiser les pertes humaines dans une région urbaine en étant prévenu 24 heures à l'avance?
- 3 - Comparez les ondes sismiques P et les ondes sismiques S par rapport au type de déplacement, à la forme de matière à travers laquelle elles se propagent, et à la vitesse de propagation.
- 4 - Comment l'existence d'une époque glaciaire en même temps sur trois continents différents appuie-t-elle la théorie de la dérive des continents?
- 5 - Décrivez sur quoi s'appuie la théorie de la dérive des continents.
- 6 - Comment le géologue peut-il interpréter la direction du déplacement d'un ancien glacier?
- 7 - Comment le fait de déchirer simultanément plusieurs pages de papier journal peut-il être utilisé pour montrer la force et la faiblesse de la notion de complémentarité évidente entre les rives continentales, dans l'appui de la dérive des continents?
- 8 - Comment la dérive des continents explique-t-elle l'emplacement à travers le monde des dépôts de glace, de charbon, de grès, de sel et de gypse?
- 9 - Pourquoi la partie située le long de l'océan Pacifique est-elle surnommée la "ceinture de feu"?
- 10 - Comment l'exemple d'une pomme ratatinée explique-t-il la répartition des volcans dans la "ceinture de feu"?
- 11 - Le sondage sonore utilise la vitesse de propagation des ondes pour déterminer la profondeur des mers. En se basant sur un principe semblable, les astronomes peuvent employer le LASER afin de mesurer précisément la distance des planètes à la terre. Expliquez comment.

- 12 - Comment la réfraction sismique est-elle semblable au sondage sonore?
- 13 - Comparez le relief de l'océan Pacifique avec celui de l'océan Atlantique.
- 14 - Comment la compression et la distension expliquent-elles la plupart des phénomènes géologiques?
- 15 - Comment les géologues expliquent-ils le déplacement des plaques?



B I B L I O G R A P H I E

- Allard, Patrick et Jean-Christophe Sabroux. "Un an après l'explosion du Mont Saint-Helens." *La recherche*, juin 1981.
- Allègre, Claude. *La dérive des continents: la tectonique des plaques*, Bibliothèque Pour la Science. Paris: diffusion Belin, 1979.
- Brice, James C. et Harold L. Levin. *Laboratory Studies in Earth History*. 2d. ed. Dubuque: Wm. C. Brown, 1977.
- Brun-Cottan, F., et al. *Sciences naturelles 3e: Biologie humaine. Géologie*, Cours Debrune. Paris: Librairie Classique Eugène Belin, 1980.
- \_\_\_\_\_. *Sciences naturelles 4e: Géologie. Biologie humaine*, Cours Debrune. Paris: Librairie Classique Eugène Belin, 1979.
- Coble, C.R., et al. *Earth Science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
- Decker, Robert and B. Decker. "Les éruptions du Mont Saint-Helens." *Pour la Science*, mai 1981, pp. 14-29.
- de Launière, Claude. "Quand la terre craque." *Québec Science*, août 1980, pp. 22-29.
- Energie, Mines et Ressources Canada. *En observant l'intérieur de la terre*, Ottawa: Ministère des Approvisionnement et Services Canada, 1979.
- \_\_\_\_\_. *La terre: astre vivant*, Ottawa: Ministère des Approvisionnement et Services Canada, 1980.
- Escalier, J. *Biologie humaine, géologie 3e*. Paris: Fernand Nathan, 1980.
- Gagnon, S. "La paléontologie, ça intéresse "qui"?" *Spectre*, décembre 1980, pp.24-30.
- Gordon, Anthony. "Geology of Manitoba: People, Land and Resources of a Province." Regina: University of Saskatchewan, 1980. (Mimeographed.)

- Hamblin, W.K. and J.D. Howard. *Exercises in Physical Geology*. 5th ed. Minneapolis: Burgess Publishing, 1980.
- Hervé, Jean-Claude. *Biologie Géologie 1re S*. Paris: Hatier, 1982.
- Intermediate Science Curriculum Study. *Crusty Problems, Probing the Natural World/Level III*. Morristown: Silver Burdett, 1972.
- Janes, J.R. *Geology and the New Global Tectonics*. Toronto: Macmillan Company of Canada, 1976.
- Juteau, Thierry. "La naissance de la croûte océanique." *La recherche*, 11:117:1374-1383, 1980.
- Le Pichon, Xavier. "La subduction: quand la terre s'enfonce sous la terre." *La recherche*, 11:109:272-281, 1980.
- "Les tremblements de terre les plus meurtriers de ce siècle." *Le courrier*, Unesco. mai 1976. pp. 6-7, 29.
- Manitoba Department of Mines and Natural Resources. *Manitoba Underground*. Winnipeg, 1967.
- Mattauer, Maurice. "La formation des chaînes de montagnes." *Pour la science*, août 1981, pp. 40-55.
- Matthews, W.H. III, et al. *Investigating the Earth*. 3rd ed. Boston: Houghton Mifflin Company, 1978.
- Ordway, Richard J. *Earth Science*. 2nd ed. New York: D. Van Nostrand Company, 1972.
- Phillips, Ken. "Looking at Rocks." *Conservation Comment*, July, 1976, pp. 1-12.
- Smythe, J.M., et al. *Géographie physique*, Toronto: Macmillan of Canada, 1979.
- Spall, Henry. "Earthquakes and plate tectonics." *Impact of science on society*, 32:1:25-28, 1982.

L'ECOLOGIE BOREALE

## Remerciements

Le Bureau de l'Education française du Ministère de l'Education de la Province du Manitoba exprime sa plus vive reconnaissance aux maisons d'édition qui ont autorisé l'emploi de matériel tiré de leurs ouvrages.

Merci également à Lucille Dufresne et Jeannette Perrin pour la qualité de leur travail, leur patience et leur constante disponibilité.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION . . . . .	178
Les grandes formations écologiques . . . . .	178
Les biomes nord-américains . . . . .	178
Activité 1: tracé d'un climatogramme . . . . .	180
Activité 2: étude du rayonnement solaire au moyen d'un modèle . . . . .	182
L'ÉCOLOGIE BOREALE . . . . .	186
L'optique de l'écologie boréale . . . . .	186
La toundra et la taïga . . . . .	187
VOCABULAIRE . . . . .	189
EVALUEZ VOS CONNAISSANCES . . . . .	190
LA NEIGE . . . . .	193
Activité 3: simulation de la formation des cristaux de neige . . . . .	200
Activité 4: synthèse artificielle de cristaux de neige . . . . .	200
Activité 5: analyse de neige précipitée . . . . .	202
Activité 6: conservation des cristaux de neige . . . . .	204
Activité 7: étude de la formation du givre . . . . .	205
LE VIEILLISSEMENT DE LA NEIGE . . . . .	206
Les avalanches . . . . .	210
Activité 8: un modèle d'avalanche . . . . .	212
LES PROPRIÉTÉS DE LA NEIGE . . . . .	215
Activité 9: analyse de la couverture nivale . . . . .	217
Activité 10: la fonte des neiges . . . . .	223
Activité 11: la pénétration de la neige et de la glace par la lumière . . . . .	226
LES DIVERSES APPARENCES DE LA NEIGE . . . . .	228
Activité 12: étude systématique du <i>qali</i> : . . . . .	232
Le siqoq ou la neige exposée au vent . . . . .	235
Activité 13: le déplacement des particules par saltation . . . . .	236
Activité 14: étude des congères . . . . .	237
Activité 15: la contamination de la neige . . . . .	241
LA COMMUNAUTÉ BIOTIQUE . . . . .	244
La migration . . . . .	244
L'hibernation . . . . .	247
Activité 16: comportement de la drosophile par rapport à la température . . . . .	249
Activité 17: l'hibernation et le métabolisme . . . . .	250
Activité 18: étude du pelage en tant qu'isolant . . . . .	251
Activité 19: où les invertébrés passent-ils l'hiver? . . . . .	252
Activité 20: emploi d'une trappe à chute . . . . .	255

LE COMPORTEMENT DES ANIMAUX FACE A LA NEIGE . . . . .	258
Les chioneuphores . . . . .	258
Les chionophiles . . . . .	266
ETUDE D'UNE COMMUNAUTE BIOTIQUE . . . . .	271
Activité 21: analyse du poil mammifère . . . . .	272
Les pistes dans la neige . . . . .	276
Activité 22: élaboration d'une fiche d'information . . . . .	279
Activité 23: recensement des lièvres et des lapins . . . . .	280
Les chaînes alimentaires de l'Arctique . . . . .	283
Activité 24: la préparation d'un réseau alimentaire . . . . .	283
La périodicité . . . . .	284
CONCLUSION . . . . .	287
VOCABULAIRE (Mots nouveaux) . . . . .	288
EVALUEZ VOS CONNAISSANCES . . . . .	290
ANNEXE . . . . .	296
Annexe A: construction d'un appareil servant à mesurer la dureté de la neige . . . . .	296
Annexe B: construction d'un appareil servant à étudier la métamor- phose . . . . .	299
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	301

# INTRODUCTION

## Les grandes formations écologiques

Toutes les communautés terrestres correspondent à de grandes formations végétales naturelles appelées biomes. Chaque biome est composé d'un ensemble distinctif de plantes typiques d'une communauté climax, c'est-à-dire d'une communauté bien adaptée aux conditions précises du milieu. Dans chaque biome prédomine une végétation uniforme: lichens, conifères, graminées, herbes, ou arbres décidues, etc.

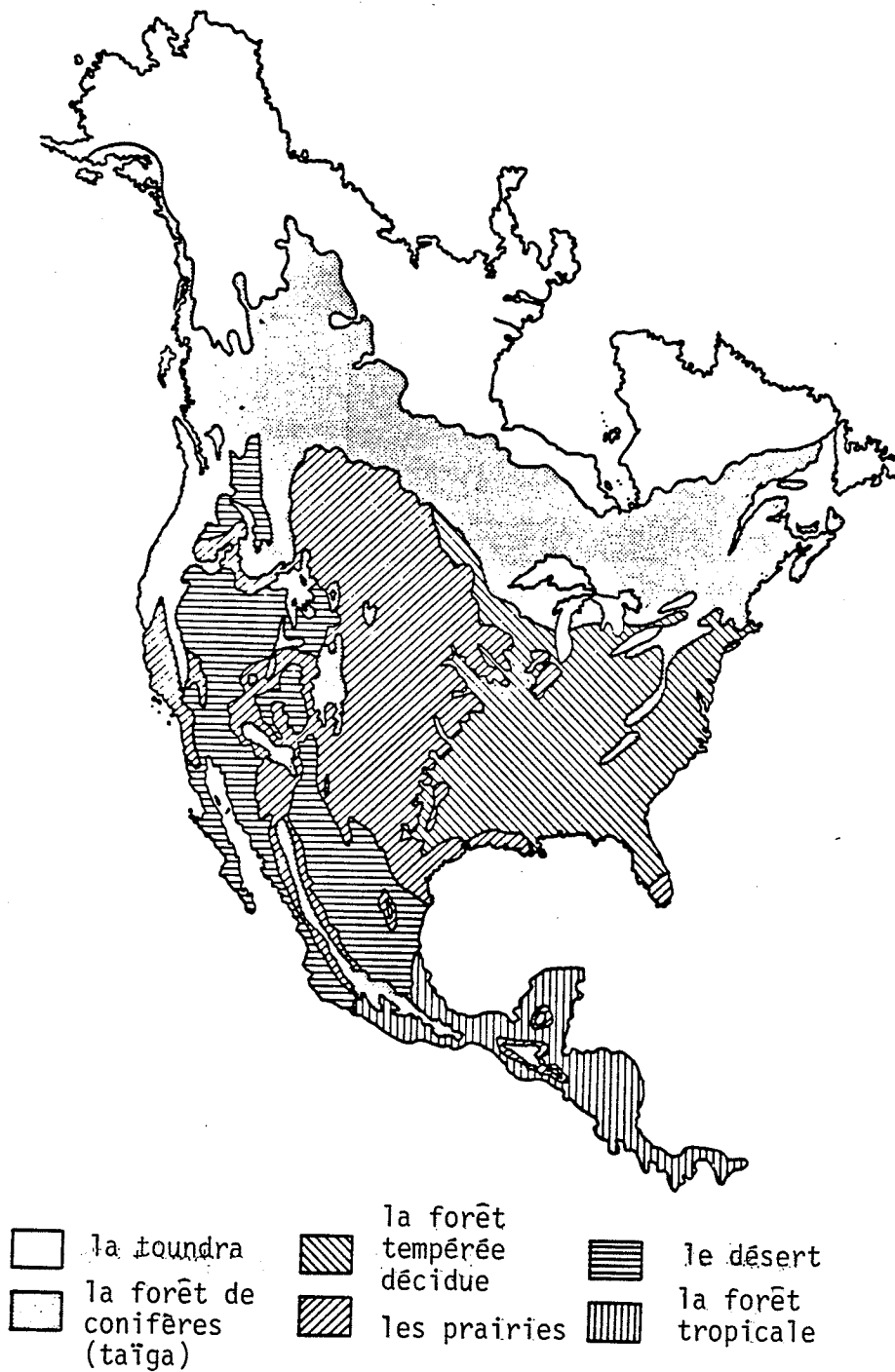
Le terme écosystème, qui vous est sans doute familier, désigne un système fonctionnel comprenant l'ensemble des êtres vivants ou communauté biotique, et le milieu physique défini par des conditions dites abiotiques telles que le rayonnement solaire, la nature du sol, les précipitations, la température et le relief. Une interaction continue des divers éléments biotiques et abiotiques se produit à l'intérieur de l'écosystème.

La notion d'écosystème s'applique aussi bien au milieu aquatique qu'au milieu terrestre. En outre, elle peut désigner un milieu précis et bien délimité, comme le marais d'Oak Hammock au Manitoba, ou un milieu très vaste, comme l'Océan Pacifique. La notion d'écosystème permet une certaine souplesse puisqu'elle désigne n'importe quelle entité homogène composée d'une communauté biotique située dans un environnement donné. Elle s'applique indifféremment à un lac, à une rivière, à un étang, à un champ, et même à la totalité des écosystèmes du globe, c'est-à-dire la biosphère. Un écosystème est en réalité une subdivision de la biosphère qui se caractérise par une certaine autonomie et une individualité structurale et fonctionnelle.

## Les biomes nord-américains

Chaque type de biome est déterminé par les facteurs abiotiques de l'environnement, c'est-à-dire des éléments indépendants des êtres vivants tels que les indices climatiques ou la nature du sol. Les indices climatiques les plus importants sont le rayonnement solaire, la température et les précipitations. L'interaction de ces divers facteurs délimite les différents types de biomes. La carte suivante indique la répartition des biomes nord-américains.

Figure 1: Les biomes de l'Amérique du Nord



Tirée de *Field Biology and Ecology*, par Benton and Werner;  
 © McGraw-Hill, 1974. Avec l'aimable autorisation de McGraw-Hill  
 Book Company.



\*\*\*Essayez d'expliquer pourquoi la limite septentrionale de la zone des conifères est presque parallèle à la frontière du continent, y compris à celle de la baie d'Hudson.

ACTIVITÉ 1: Tracé d'un climatogramme

Un climatogramme est un graphique qui représente le climat d'une région. Le climatogramme regroupe les indices climatiques de température et de précipitations en un seul schéma. Ce genre de représentation souligne très bien les variations climatiques entre les différents types de biomes. Le tableau suivant contient les données climatiques de quelques stations situées aux quatre types de biomes nord-américains. La moyenne des températures et des précipitations est indiquée pour tous les mois d'une année.

Tableau 1: Données climatiques caractérisant 4 biomes nord-américains

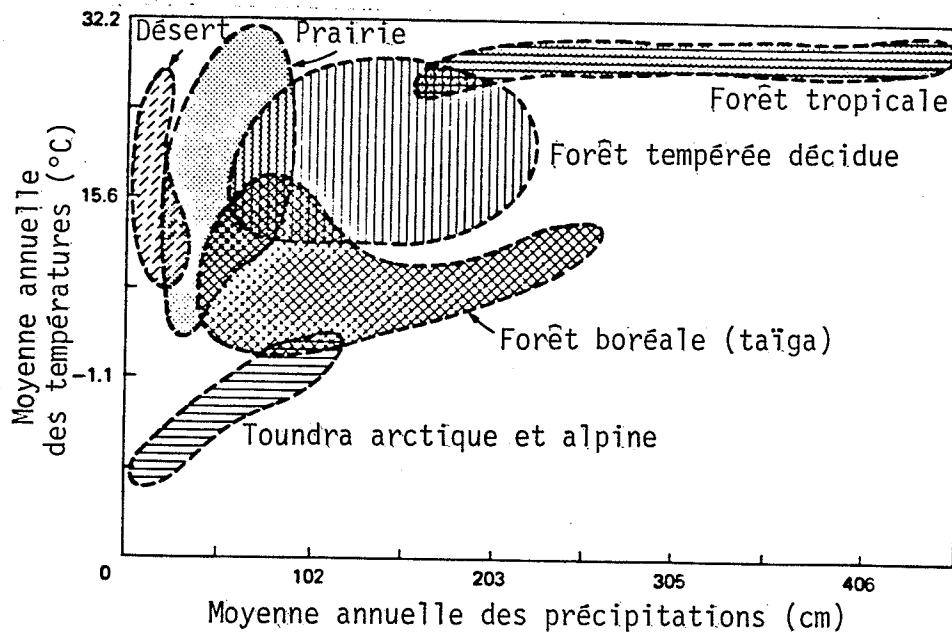
		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
toundra (71°23'N)	température (°C)	-25	-27	-26	-22	-7	0	3	2	-1	-6	-17	-23
	précipitation (mm)	4	5	3	2	3	7	18	25	18	12	5	3
forêt boréale ou taïga (53°50'N)	température (°C)	-24	-22	-14	-6	4	10	16	14	7	3	-10	-18
	précipitation (mm)	27	27	18	26	50	63	98	100	75	54	52	28
désert (32°45'N)	température (°C)	11	14	18	22	26	29	32	32	30	23	16	12
	précipitation (mm)	11	10	8	2	6	2	10	18	2	10	5	7
forêt tropicale (24°35'N)	température (°C)	22	20	23	24	27	29	28	29	28	25	24	23
	précipitation (mm)	19	50	51	100	87	93	125	100	165	154	78	40

Tracez le climatogramme de la manière suivante:

- Placez les températures en ordonnées (axe Y) et les précipitations en abscisses (axe X). L'échelle des températures variera entre -30°C et +35°C. L'échelle des précipitations passera de 0 à 175 mm.
  - Reliez par une ligne les indices climatiques mensuels de la station située dans la toundra. Ce tracé représente le climatogramme de ce biome.
  - Sur le même graphique, tracez les climatogrammes des biomes de la forêt boréale, du désert et de la forêt tropicale.
1. Du point de vue de la température, à quel autre biome ressemble la toundra?
  2. Du point de vue des précipitations, à quel autre biome ressemble la toundra?
  3. Quel biome manifeste le plus grand écart de températures? de précipitations?
  4. Quel biome fait apparaître l'écart le plus resserré sur le plan des températures? des précipitations?

La figure suivante illustre les climatogrammes des six principaux types de biomes nord-américains.

Figure 2: Les climatogrammes de six biomes nord-américains



Tirée de *Field Biology and Ecology*, par Benton and Werner; McGraw-Hill, © 1974. Avec l'aimable autorisation de McGraw-Hill Book Company.

Vous constaterez que les climatogrammes des différents biomes se recouvrent partiellement. En effet, la transition entre deux biomes adjacents est généralement progressive. Par exemple, la zone de transition entre la toundra et la forêt boréale se reconnaît à la présence occasionnelle d'un arbre ou d'un groupe d'arbres entouré par la toundra. Cette zone de transition est appelée écotone. Elle peut s'étendre sur une superficie assez considérable et elle est très importante pour certaines espèces animales. Les caribous, par exemple, l'occupent pendant une grande partie de l'hiver.

Les indices climatiques caractérisant les différents biomes sont intimement liés à un autre facteur: le rayonnement solaire. C'est le rayonnement solaire qui détermine le régime climatique d'une région. L'intensité et la durée du rayonnement solaire jouent un rôle important dans la répartition des biomes.

L'intensité du rayonnement solaire dépend évidemment de la position du soleil par rapport à la surface de la terre. Selon les spécialistes de la climatologie, qui est l'étude des climats, ce rapport est le principal facteur des variations saisonnières. Au nord, les saisons sont très différenciées. Les plantes qui poussent dans les régions septentrionales doivent donc tolérer les variations extrêmes qui accompagnent les changements de saison.

## ACTIVITÉ 2: Étude du rayonnement solaire au moyen d'un modèle

### Partie A:

- Fixez une lampe de poche directement au-dessus d'une feuille blanche.
  - Tracez le cercle illuminé.
  - En conservant la même distance, inclinez la lampe de poche par rapport au paier, selon un angle de  $25^\circ$ .
  - Tracez le cercle illuminé.
1. Quelle est la différence entre les deux surfaces éclairées?
  2. Comment varie la surface éclairée en fonction de l'intensité de la lumière?
  3. Compte tenu de ce modèle, comment expliquez-vous les différentes saisons?

### Partie B:

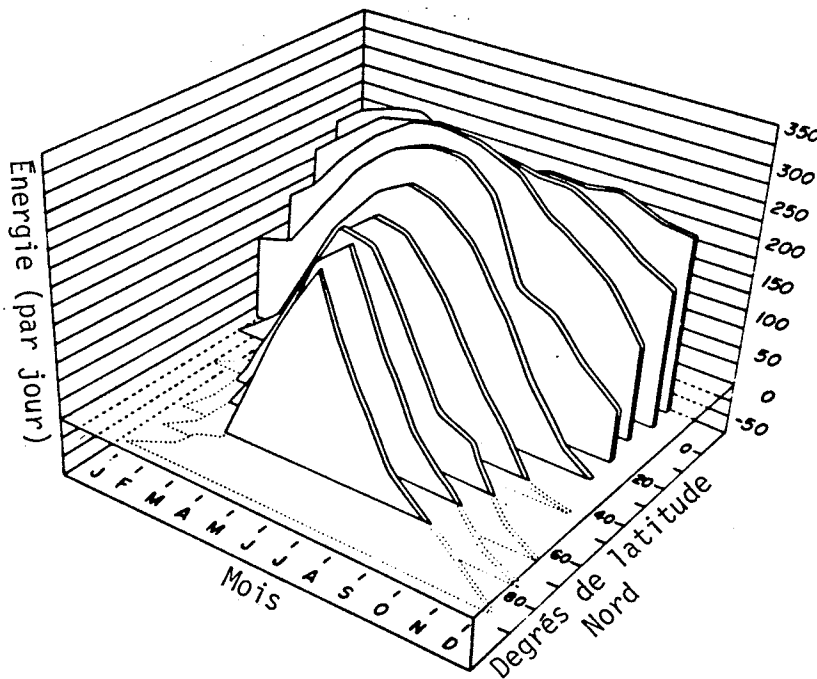
La température ambiante d'une région dépend du rapport entre la position du soleil et la surface de la terre. Cependant, la nature de la surface peut modifier considérablement l'échange total du rayonnement. À la surface terrestre, le rayonnement solaire peut être absorbé par le sol et le réchauffer. Par contre, il peut être réfléchi dans l'atmosphère sans même réchauffer la surface terrestre. Le bilan du rayonnement, c'est-à-dire la différence entre le rayonnement incident, qui arrive à la surface, et le rayonnement réfléchi, dépend de la surface considérée. Un corps noir, par exemple, absorberait la quasi-totalité du rayonnement solaire qui en toucherait la surface. Ce corps posséderait donc un albédo nul puisqu'il ne réfléchirait pas le rayonnement. Par contre, une surface qui réfléchit davantage le rayonnement a un albédo plus élevé.

- Placez une lampe (projecteur à diapositives) selon un angle de  $45^\circ$  au-dessus d'une surface plane comme celle d'une table.
- Placez des feuilles de papier noir sur la surface et, à l'aide d'un photomètre, mesurez l'intensité de la lumière réfléchie. Notez-en la valeur.
- Placez des feuilles de papier blanc sur la surface et mesurez l'intensité de la lumière réfléchie. Notez-la.
- Répétez l'expérience avec de la neige récente, de la neige ancienne, de la glace, des branches de conifère. Notez les valeurs pour chacun des cas.

4. Quelles surfaces ont un faible albédo? Quelles surfaces ont un albédo élevé?
5. En quoi l'albédo est-il lié aux variations de température d'une région donnée?
- \*\*\*6. Des chercheurs suédois ont montré que les forêts de conifères du nord de la Suède ont un albédo de 10 à 13%, et que les forêts denses ont un albédo plus élevé (12 à 13%) que les forêts clairsemées ou moins denses (10 à 11%). Comment pouvez-vous modifier le modèle précédent pour étudier en laboratoire le rapport entre la densité d'une forêt de conifères et son albédo (H. Odin et K. Perttu, «Mesure du rayonnement aux limites de la forêt dans la Suède septentrionale», *Écologie des régions subarctiques*, Unesco, 1970).

La figure suivante est un graphique en trois dimensions qui compare le bilan radiatif des échanges continuels d'énergie entre la surface de la terre et l'atmosphère pendant une année en fonction de la latitude.

Figure 3: Bilan radiatif annuel sous différentes latitudes



Tirée de *Boreal Ecology*, par W. O. Pruitt; *Studies in Biology Series*, 1978. Avec l'aimable autorisation de Edward Arnold Publishers Ltd.

7. De façon générale, quelle est la différence entre le bilan radiatif annuel au Pôle Nord (90° de latitude) et à l'équateur (0° de latitude)?

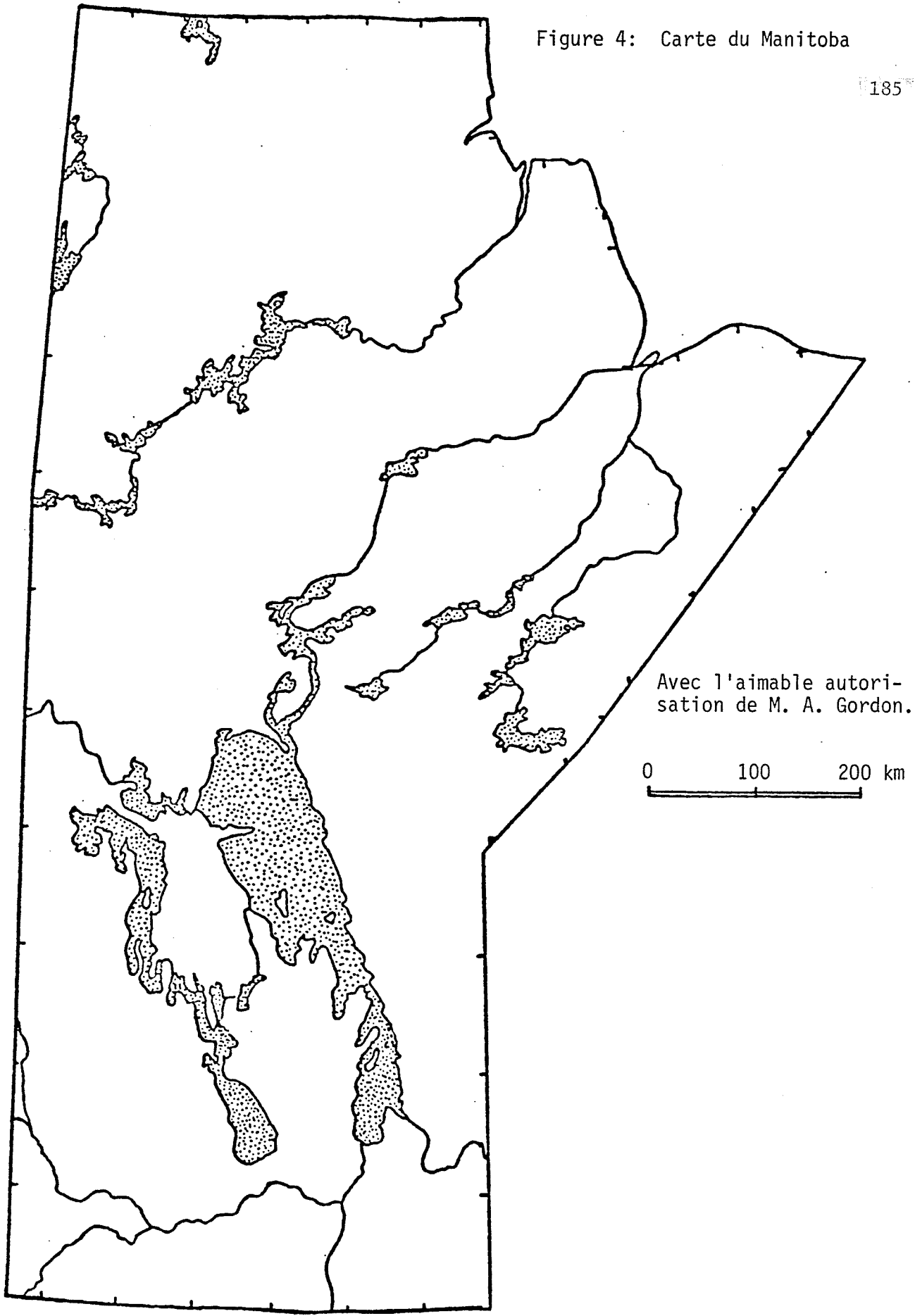
8. Vous constaterez que le bilan radiatif est négatif sous certaines latitudes pendant une partie de l'année. Pourquoi?
9. Quelle latitude se caractérise par un bilan radiatif dont la variation annuelle est la plus forte? la moins forte?
10. Pendant quel mois le bilan radiatif est-il sensiblement le même quelle que soit la latitude? Pendant quel mois le bilan radiatif varie-t-il le plus d'une latitude à une autre?

Les biomes n'ont pas de frontières fixes. Celles-ci se modifient continuellement en fonction des conditions climatiques. Si le climat d'une région change graduellement, les frontières du biome se déplacent en conséquence. Les limites des biomes ont donc un caractère temporaire. Le passage d'un biome à un autre est à peine perceptible, mais la différence n'en est pas moins réelle.

PROJET: Les biomes du Manitoba

- Tournez la page et vous trouverez la carte du Manitoba.
- À l'aide de couleurs différentes, représentez les biomes suivants: la toundra, la forêt de conifères, la prairie et la forêt décidue.
- Construisez un tableau résumant les facteurs abiotiques qui caractérisent chaque biome.

Figure 4: Carte du Manitoba



Avec l'aimable autorisation de M. A. Gordon.

0 100 200 km

# L'ÉCOLOGIE BOREALE

L'écologie est la science qui étudie les rapports des êtres vivants entre eux-mêmes et avec leur milieu. Les textes sur l'écologie concernent presque toujours les biomes tempérés - prairies, forêts décidues, désert et forêts tropicales. Même lorsqu'un auteur décrit des biomes tels que la toundra ou la forêt de conifères, il s'en tient généralement aux interactions que l'on constate pendant les saisons plus tempérées ou bien il n'aborde que superficiellement les interactions qui se produisent en plein hiver. Mais comment les communautés biotiques s'adaptent-elles pour survivre dans un environnement dominé par le froid et la neige?

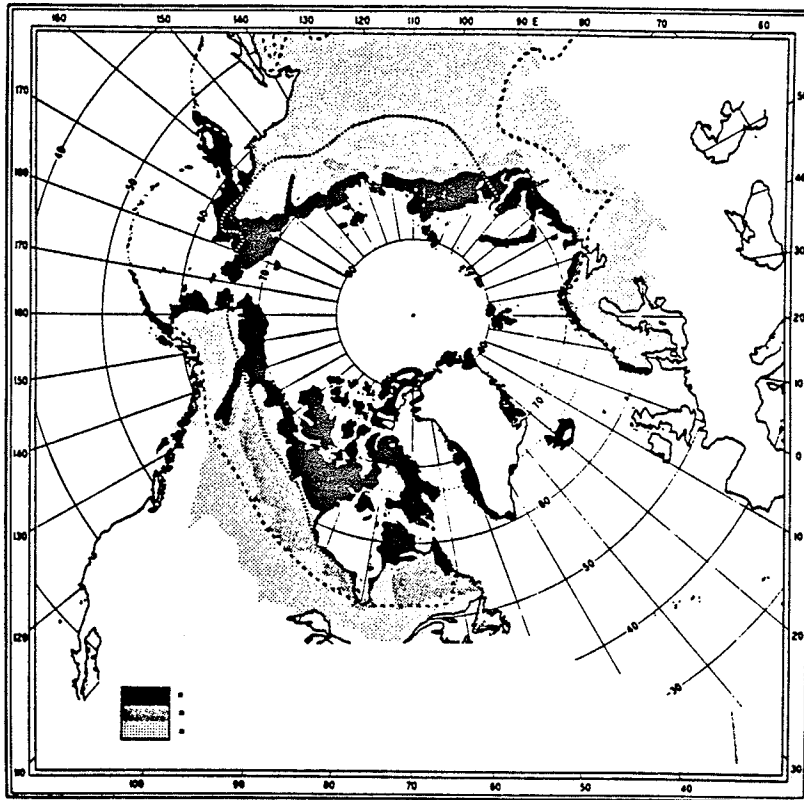
Ce module étudie l'écologie vue dans le contexte de l'hiver canadien. D'une part, l'étude portera sur les biomes typiquement boréaux, c'est-à-dire ceux du Nord, tels que la toundra et la forêt de conifères ou la taïga. D'autre part, l'étude s'attachera aux milieux où la couverture de neige exerce une influence profonde sur les êtres vivants pendant la saison d'hiver.

Cette étude est pertinente à l'époque actuelle et le deviendra davantage pour plusieurs saisons. Il est évident que l'hiver occupe une place importante dans la vie canadienne. On le connaît pourtant très mal. À la recherche de nouvelles sources d'énergie, l'homme se tourne de plus en plus vers le Nord. Les écosystèmes boréaux sont très fragiles et il faudra donc bien les connaître pour éviter de les perturber.

## L'optique de l'écologie boréale

L'image que nous donnent les cartes du Canada ne correspond pas tout à fait à la réalité. On n'a certainement pas l'impression que le Canada est avant tout un milieu septentrional, c'est-à-dire une région nordique. La carte suivante montre le Canada ainsi que d'autres régions septentrionales vues du Pôle Nord. Vous constaterez ainsi que le Canada est caractérisé par des biomes typiquement boréaux, tels que la toundra et la taïga, séparés par une zone de transition, la toundra forestière.

Figure 5: Projection polaire du Canada



Tirée de *Boreal Ecology*, par W.-O. Pruitt; *Studies in Biology Series*, 1978. Avec l'aimable autorisation de Edward Arnold Publishers Ltd.

## La toundra et la taïga

Le mot toundra est d'origine finlandaise. Ce mot évoque l'idée d'un terrain sans arbres. La toundra se situe principalement dans la zone arctique. Toutefois, cette notion elle-même se prête à des interprétations diverses selon le point de vue que l'on adopte. Les géophysiciens et les astronomes définissent la zone arctique comme la région sur laquelle le soleil ne se lève pas un seul jour de l'année. Les climatologues, de leur côté, définissent la zone arctique comme une région dont la température moyenne ne dépasse pas 10°C pendant le mois le plus chaud. Les écologistes admettent que la zone arctique s'étend sur toutes les régions situées au nord de la limite forestière absolue, c'est-à-dire la ligne des arbres.

La zone arctique est caractérisée par un bilan radiatif négatif pendant au moins six mois de l'année, c'est-à-dire qu'elle perd dans l'espace plus d'énergie qu'elle n'en reçoit



du soleil. En outre, la zone arctique est caractérisée par un grand vent, peu de précipitations sous forme de neige et la présence du pergélisol. Ce pergélisol est un sol perpétuellement gelé. La toundra se situe dans cette région inhospitalière. Au nord de la toundra, le désert polaire constitué principalement de roche et de gravier est çà et là parsemé d'îlots de végétation: lichens et fleurs arctiques.

La région subarctique couvre la zone qui s'étend de l'Arctique jusqu'à la forêt boréale de conifères. La toundra forestière est donc située dans cette zone de transition. La toundra forestière est caractérisée par la présence d'arbrisseaux isolés que la toundra entoure vers le nord jusqu'aux peuplements d'arbres ou forêts-parcs répartis ici et là en venant du sud. En plus, la présence du pergélisol discontinu est l'un des traits caractéristiques du Subarctique.

La toundra forestière est un milieu beaucoup moins violent que la toundra. Les vents sont moins forts. Bien que plus épaisse, la couverture de neige est moins résistante, ce qui permet aux animaux comme le caribou de trouver à se nourrir. Au printemps, la fonte de cette neige permet l'apparition d'une couverture végétale abondante. En plus, la température ambiante est un peu plus agréable. Les variations extrêmes de température, qui caractérisent la toundra, s'atténuent dans la toundra forestière. Dans le sud de cette zone de transition, les conifères deviennent de plus en plus denses.

La zone de transition se transforme progressivement en une forêt de conifères presque continue. Cette forêt de conifères ou forêt boréale est appelée taïga, mot russe désignant une épaisse forêt marécageuse de Sibérie. Comparée à la toundra, la forêt dense de la taïga réfléchit moins de rayonnement solaire. La taïga se réchauffe donc beaucoup plus rapidement au printemps. En effet, la taïga peut connaître une cinquantaine de jours sans gelée de plus que la toundra qui n'est pourtant séparée d'elle que d'une centaine de kilomètres.

# VOCABULAIRE (Mots nouveaux)

biome

climax

écosystème

communauté biotique

biosphère

abiotique

biotique

communauté

climatique

climatogramme

écotone

climatologie

bilan du rayonnement solaire (bilan radiatif)

albédo

nordique

écologie

facteur écologique

boréal(e)

septentrional(e)

toundra

taïga

arctique

subarctique

toundra forestière

# EVALUEZ VOS CONNAISSANCES

A. *Vrai ou faux.* Indiquez devant chacune des affirmations suivantes si elle est vraie ou fausse. Si elle est fausse, écrivez l'affirmation juste.

1. Un marais est un exemple typique de biome.
2. Un objet noir qui ne réfléchit pas de rayonnement solaire a un albédo élevé.
3. Un écosystème comprend deux éléments: la communauté biotique et le milieu abiotique.
4. La biosphère désigne l'ensemble des êtres vivants de notre planète.
5. Température, précipitations et rayonnement solaire sont des facteurs abiotiques.
6. La toundra et le désert ne comportent aucun trait commun.
7. La toundra peut être considérée comme une écotone.
8. Le bilan radiatif de l'Arctique est presque constant pendant l'année.
9. La taïga et la forêt décidue sont des biomes boréaux.
10. La définition de l'Arctique est acceptée par tous les scientifiques.

B. *Choix multiples.* Choisissez la réponse qui convient le mieux à chaque question.

1. L'ensemble des écosystèmes de notre planète est
  - a) le biome.
  - b) la biosphère.
  - c) le système planétaire.
  - d) le climat.
2. Une communauté biotique comprend
  - a) les indices climatiques tels que le rayonnement solaire, la température et les précipitations.
  - b) les facteurs abiotiques tels que la nature du sol et la qualité de l'eau.
  - c) les êtres vivants y compris les plantes et les animaux.
  - d) les indices climatiques et les facteurs abiotiques d'une région.

3. Lequel des éléments suivants ne peut pas être considéré comme un biome?
- le désert
  - la toundra
  - la forêt décidue
  - le lac Winnipeg
  - la taïga
4. Laquelle des paires de biomes énumérées ci-dessous ne comporte aucun trait commun?
- le désert et la toundra
  - la forêt décidue et la forêt boréale
  - la toundra et la forêt tropicale
  - la prairie et la toundra
5. Parmi les phrases suivantes, indiquez celle qui définit le mieux un modèle scientifique.
- Ce qui sert d'objet d'imitation.
  - Objet dont l'artiste reproduit l'image.
  - Objet possédant certaines qualités qui en font le représentant-type d'une catégorie.
  - Représentation simplifiée d'un processus ou d'un système.

C. Complétez les phrases suivantes.

- Une communauté bien adaptée aux conditions précises d'un milieu est un (une) \_\_\_\_\_.
- Une zone de transition entre deux biomes ou entre deux écosystèmes adjacents est un (une) \_\_\_\_\_.
- L'ensemble des êtres vivants d'une région est un (une) \_\_\_\_\_.
- L'écotone entre la toundra et la taïga est le (la) \_\_\_\_\_.
- Des deux biomes boréaux, la toundra et la taïga, celui qui reçoit le moins de précipitations sous forme de neige est la \_\_\_\_\_.

D. Questions.

- En quoi les concepts d'écosystème et de biome se distinguent-ils?
- Certains chercheurs estiment que nous nous dirigeons vers une nouvelle période glaciaire. Quels en seront les effets sur la répartition des biomes nord-américains?
- Pourquoi une écotone sera-t-elle particulièrement riche en plantes et animaux divers?

4. Pourquoi le rayonnement solaire est-il considéré comme le facteur climatique primordial?
5. Le taux de croissance des conifères diminue lorsqu'on va du sud vers le nord. À quels facteurs faut-il attribuer ce phénomène? Décrivez comment vous pourriez cerner ces facteurs.
6. Que veut dire un écologiste lorsqu'il parle des interactions dans un écosystème?
7. Quelles sont les interactions possibles entre la communauté biotique et le milieu abiotique?
8. En quoi la connaissance de l'écologie peut-elle nous être utile?

# LA NEIGE

La neige est une composante de l'environnement canadien qui non seulement est importante en tant que facteur écologique mais qui a aussi de fortes répercussions sur les activités humaines. Les risques que les aventuriers et les skieurs affrontent en montagne pendant l'hiver sont bien connus. On estime que jusqu'à un million d'avalanches se déclenchent annuellement sur notre planète. La plupart se manifestent dans des régions non peuplées, cependant des pertes humaines et des dégâts matériels importants peuvent en résulter lorsqu'elles surviennent en milieu habité.

La neige exerce une influence considérable sur l'économie d'une région. On peut la considérer comme une vaste réserve d'eau. Cette réserve libérée au printemps par la fonte des neiges peut alimenter les turbines hydro-électriques et favoriser les récoltes agricoles. Cependant le bilan n'est pas entièrement positif. Les fortes chutes de neige risquent d'interrompre les transports et les communications. Une fonte rapide de la neige accumulée au printemps peut entraîner de graves inondations.

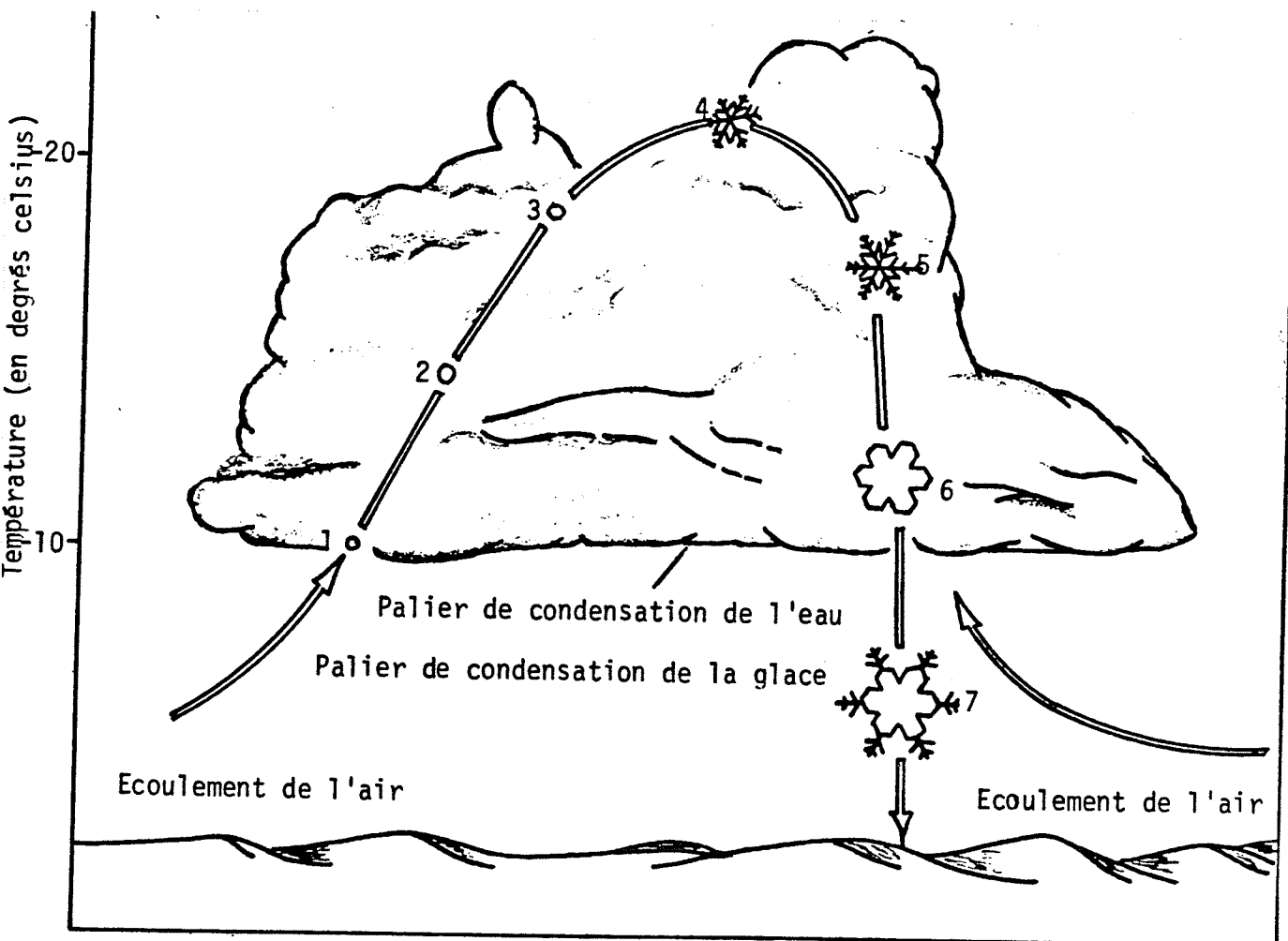
La neige préoccupe particulièrement les écologistes qui cherchent à comprendre les rapports entre les êtres vivants et le milieu hivernal. Il est impossible de saisir la complexité des interactions au sein de biomes tels que la toundra et la taïga sans savoir ce qu'est la neige ni quelles en sont les propriétés et les caractéristiques.

Il faut premièrement distinguer deux formes de neige. La neige précipitée, c'est la neige qui tombe depuis sa formation dans l'atmosphère jusqu'à sa chute au sol. La neige déposée est la neige qui recouvre le sol.

La neige précipitée prend naissance dans les nuages. Elle est composée de cristaux de glace. Sa formation assez complexe est encore mal connue. Néanmoins, on peut considérer de façon générale les processus les plus importants de sa formation. L'air chaud et humide à basse altitude s'élève, se refroidissant au cours de son ascension. Au fur et à mesure que l'air se refroidit, il devient de plus en plus saturé de vapeur d'eau. Cependant, lorsque la température est au-dessous du point de congélation, la vapeur d'eau ne se cristallise pas nécessairement. Elle peut se condenser, formant ainsi des gouttes d'eau en surfusion, c'est-à-dire de l'eau qui reste liquide au-dessous du point de congélation. La cristallisation de cette eau exige généralement la présence de particules solides. Ces substances étrangères ou impuretés se composent de poussières et même de

cristaux de sel marin. Ces particules, qui jouent le rôle de germe de cristallisation, provoquent plus facilement la transformation sous forme de neige.

Figure 6: Croissance d'un cristal de neige à l'intérieur d'un nuage formé par convection (de l'air chaud et humide s'élève à travers une couche d'air froid et sec). Une gouttelette d'eau se condense (1) en bas du nuage, au palier de condensation de l'eau. Prise dans un mouvement d'air ascendant, elle grossit (2) et finalement gèle en cristal de glace (3). Les molécules de vapeur d'eau du nuage, en s'accrochant au réseau de glace du cristal, donnent naissance aux branches de l'étoile que nous connaissons bien (4). Puis le cristal tombe (5), commence à givrer (6) ou entre en collision avec les gouttelettes d'eau les plus grosses. Sa chute se poursuit au-dessous du nuage et il continue à grossir (7) jusqu'à ce que, dans sa chute vers le sol, il ait dépassé le palier de condensation de la glace. La croissance d'un cristal de neige peut suivre les cours les plus divers. Les températures que nous donnons ici sont purement indicatives et peuvent varier selon les nuages.

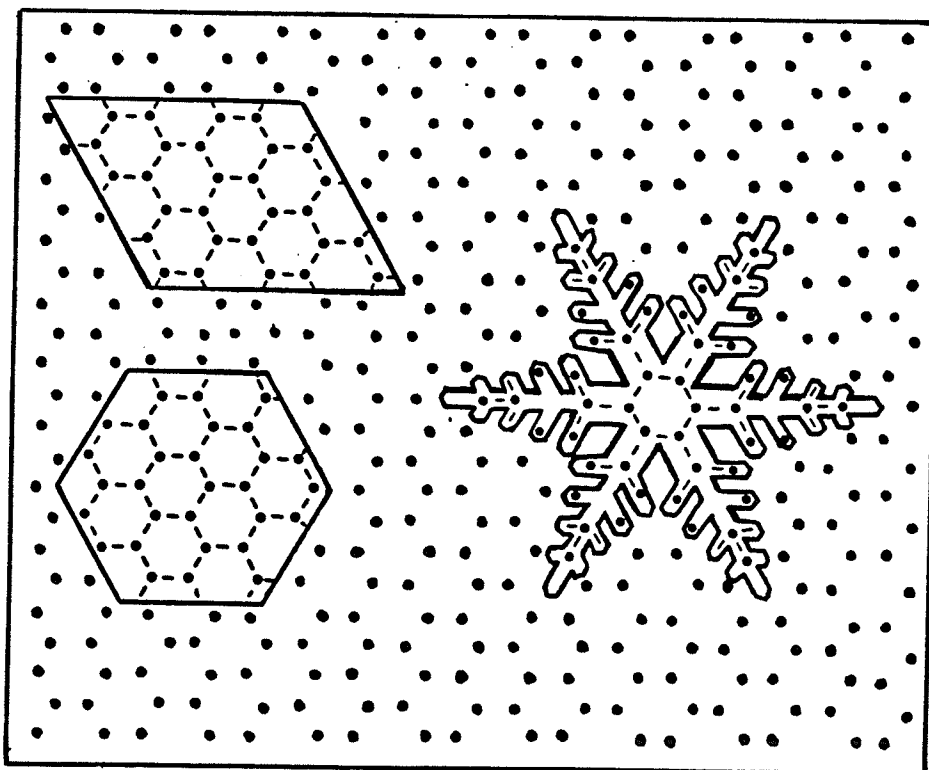


Tirée de *Les phénomènes naturels*, Bibliothèque pour la Science.  
Avec l'aimable autorisation de la Librairie Eugène Belin.

Après sa formation, le cristal de neige grossit. Sa croissance continue jusqu'à ce qu'il atteigne une certaine grosseur et qu'il tombe. Lors de leur descente, les cristaux de neige traversent différentes couches dont ils subissent les effets successifs. Selon le milieu rencontré, ils peuvent donc grossir davantage, cesser de grossir, se givrer (c'est-à-dire se couvrir de givre), fondre complètement, être brusquement agités par le vent, se fondre avec d'autres cristaux ou même remonter jusqu'à une altitude relativement élevée. En effet, les cristaux de neige qui parviennent à terre ont pu suivre les cours les plus divers pendant leur descente.

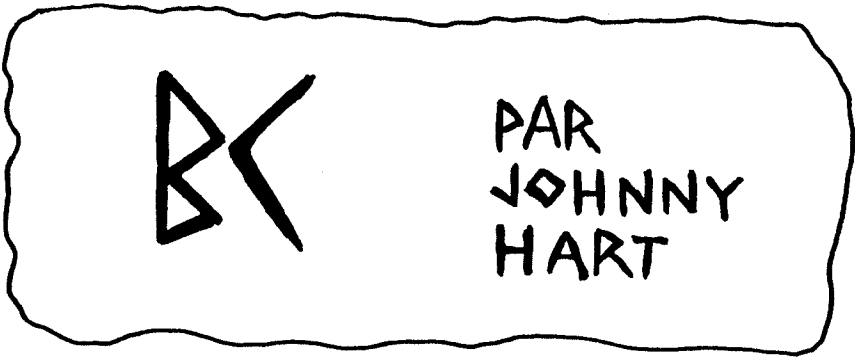
En dépit de cette diversité, tous les cristaux de neige possèdent au moins un trait commun. Chaque cristal se présente sous la forme d'un hexagone, c'est-à-dire qu'il comporte six faces. Cette forme familière s'explique par la disposition des molécules d'eau dans la glace.

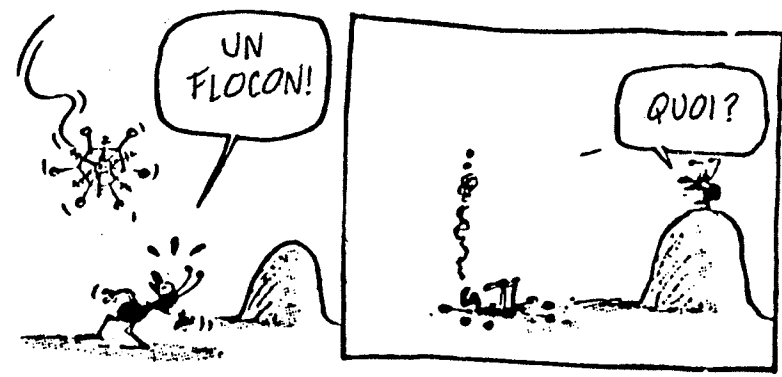
Figure 7: Les faces d'un cristal de neige (formes blanches) ne sont pas orientées n'importe comment par rapport au réseau des molécules d'eau (en pointillé) qui composent le cristal. Certaines faces du cristal croissent plus vite que d'autres et donnent naissance à des formes cristallines dont la symétrie hexagonale macroscopique reflète la symétrie interne de l'organisation des molécules d'eau.



Tirée de *Les phénomènes naturels*, Bibliothèque pour la Science.  
Avec l'aimable autorisation de la Librairie Eugène Belin.



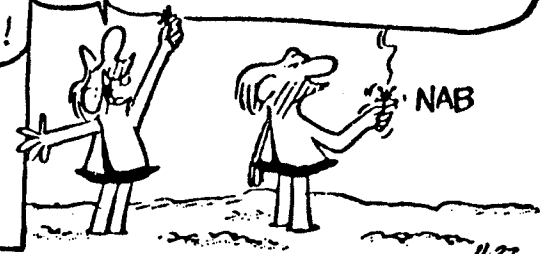

**PAR  
JOHNNY  
HART**



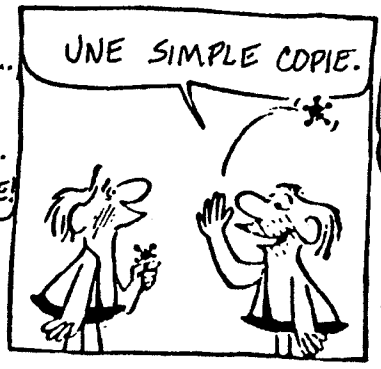
SAIS-TU QUE TOUS LES FLOCONS ONT LA FORME D'UN HEXAGONE ET QU'EN PLUS Y'EN A PAS DEUX PAREILS?



L'EXCEPTION QUI CONFIRME LA RÈGLE!



...IMPOSSIBLE... J'EN REVIENS PAS... ATTENDS...  
 AHA! C'EST PAS DU TOUT PAREIL TU VOIS!...  
 LE NOYAU EST EN CARBONE!














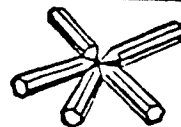


























JE SUIS \*SANGLOTS\* LE VICTIME D'UN COM-  
 PLOT!... D'UN FORMIDABLE  
 COMLOT DU PENTAGONE  
 HORRIBLE, DÉGOUTANT!

PLEURE PAS...  
 LES HEXAGONES  
 VONT SE METTRE  
 À FONDRE.

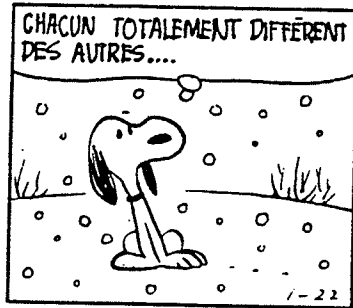


Malgré cette forme hexagonale commune, les cristaux de neige peuvent se présenter sous une apparence différente. Le tableau suivant montre les principaux types de cristaux de neige et de glace selon une classification internationale.

Figure 8: La classification internationale de la neige et de la glace

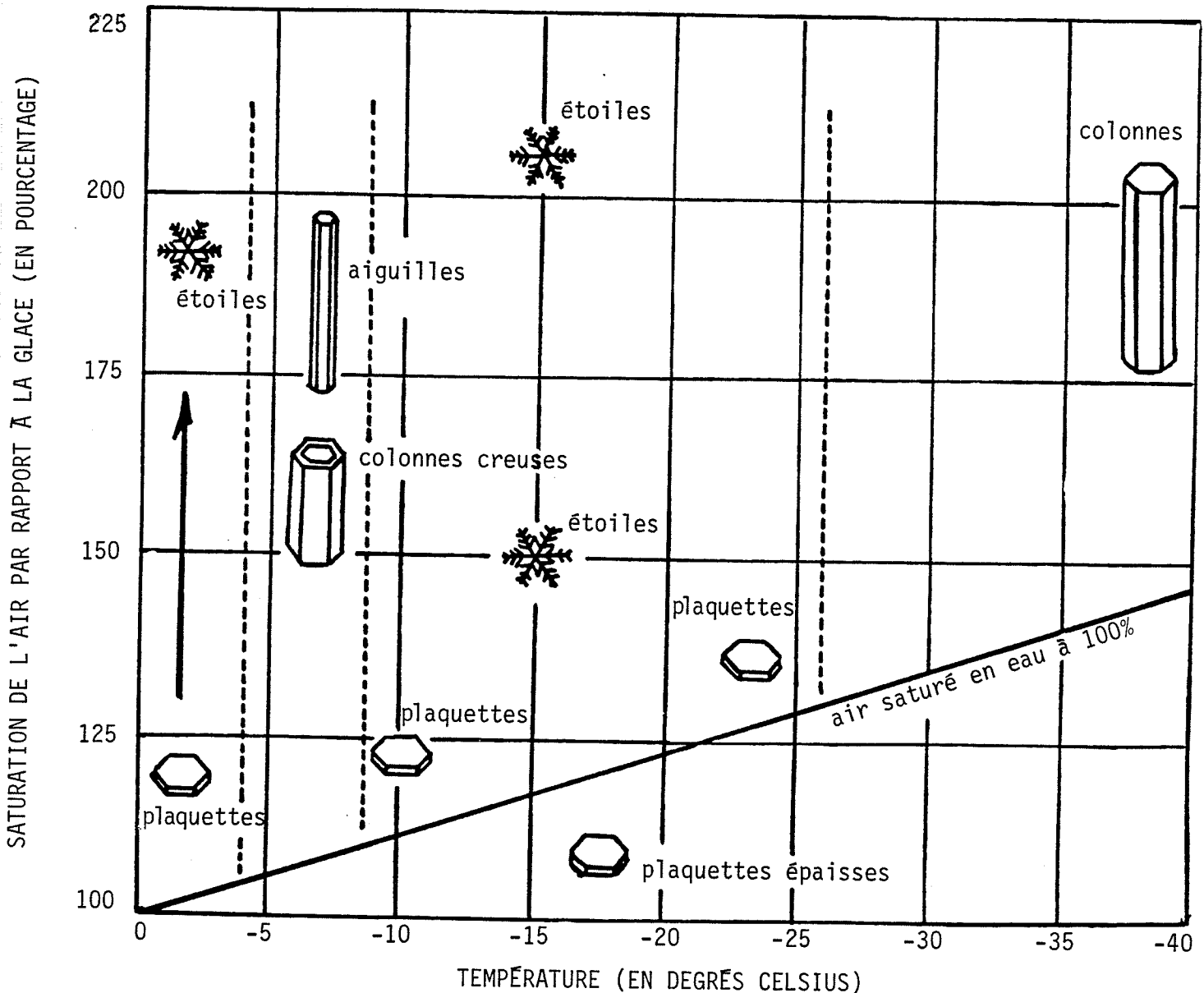
Symbole		Précipitation solide		
	plaques hexagonales			
	cristaux étoilés			
	colonnes hexagonales			
	aiguilles			
	dentrites multidimensionnelles			
	colonnes chapeautées			
	cristaux irréguliers			
	sphères rugueuses			
	grésil			
	grêlons			

Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.



L'apparence que prennent les cristaux de neige dépend des conditions atmosphériques lors de leur formation. Les conditions de température et d'humidité semblent être les facteurs qui influent le plus sur leur apparence. Le graphique ci-dessous montre comment l'aspect d'un cristal de neige est lié à ces deux facteurs.

Figure 9: Effet de la température et de l'humidité sur l'apparence d'un cristal de neige



Tirée de *Les phénomènes naturels*, Bibliothèque pour la Science.  
Avec l'aimable autorisation de la Librairie Eugène Belin.

1. Donnez un exemple tiré du graphique pour illustrer l'effet de l'humidité sur la formation d'un cristal.
2. Donnez un exemple tiré du graphique pour illustrer l'effet de la température sur la formation d'un cristal.

\*ACTIVITÉ 3: Simulation de la formation des cristaux de neige

La cristallisation est un phénomène qui se manifeste dans plusieurs milieux naturels. Par exemple, les roches ignées se composent de différents minéraux dont plusieurs ont un caractère cristallin. En outre, de nombreuses substances chimiques possèdent cette même caractéristique. Il est donc possible d'étudier la cristallisation d'une substance chimique en laboratoire pour en déduire le mode de formation des cristaux de neige.

- Dans un bēcher, mēlangez 45 grammes de chlorure de sodium à 100 millilitres d'eau.
  - Portez l'eau à ébullition et continuez à chauffer pendant une minute.
  - Dès que cette solution s'est refroidie, versez-y 25 millilitres d'une solution aqueuse d'ammoniaque («Household ammonia») et remuez lentement.
  - Versez ce liquide dans un bēcher d'un litre contenant quelques briquettes de barbecue.
  - Observez quotidiennement l'aspect des briquettes pendant une semaine. Décrivez les changements qui se produisent.
1. Décrivez les cristaux qui se forment sur les briquettes?
  2. En quoi cette démonstration simule-t-elle la cristallisation de la neige?

\*\*ACTIVITÉ 4: Synthèse artificielle de cristaux de neige

La formation des cristaux de neige peut être reproduite en laboratoire. En effet, des chercheurs ont réussi à synthétiser dans les conditions strictes du laboratoire les principaux types de cristaux formés naturellement.

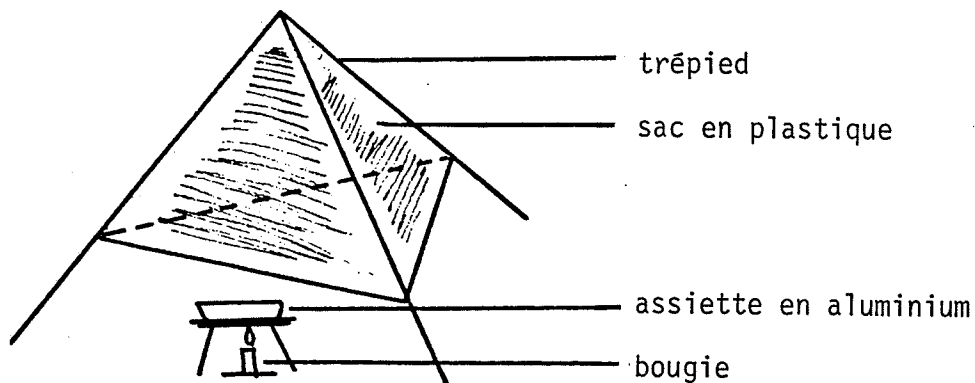
- Montez à l'extérieur l'appareil illustré ci-dessous lorsque la température ambiante est inférieure au point de congélation.

---

\* Traduit et adapté de *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

\*\*Traduit et adapté de *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

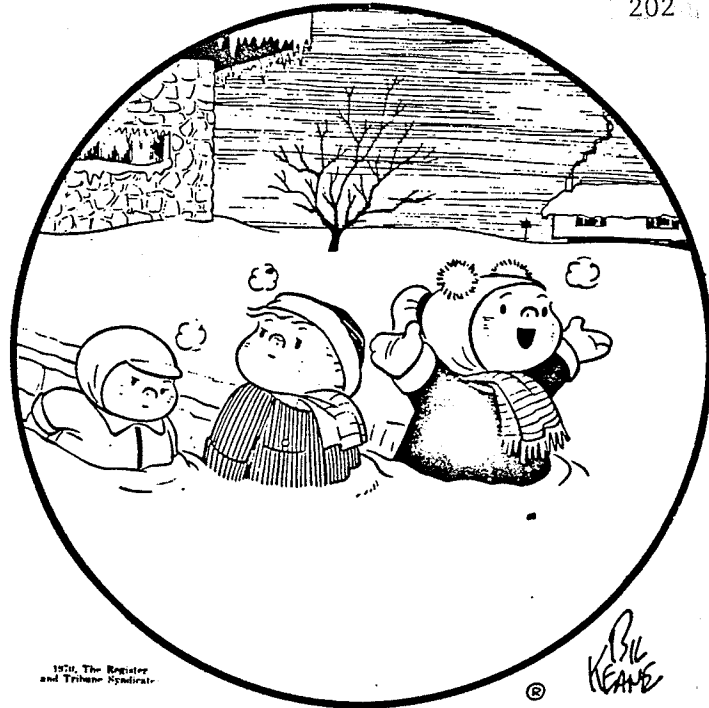
Figure 10: Appareil pour la synthèse artificielle de la neige



Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

- Mesurez la température ambiante et notez-la.
  - Placez des particules solides, comme des poussières fines, à l'intérieur d'un sac en plastique. Déterminez et notez la masse du sac contenant les particules. Suspendez-le au trépied.
  - Placez une assiette d'aluminium contenant environ 150 grammes de neige sur un support que vous glisserez sous le trépied.
  - Agitez le sac pour créer une suspension de particules solides et faites évaporer la neige de l'assiette.
  - Une ou deux heures après l'évaporation complète de la neige, mesurez de nouveau la masse du sac en plastique. Comparez-la avec la masse du sac avant l'expérience. Mesurez et notez la quantité de neige synthétisée.
  - Observez et mesurez la grosseur des cristaux de neige qui se sont formés. Renouvelez l'expérience lorsqu'il fait plus froid.
1. À quoi ressemble la neige produite artificiellement dans les centres de ski alpin?
  2. Quel est le rapport entre la température et la quantité ainsi que les types de cristaux formés?
  3. Pourquoi faut-il employer des particules solides? En quoi sont-elles nécessaires à la synthèse?
  4. Quels sont les changements physiques qui interviennent dans cette expérience?

Avec l'aimable autorisation de  
The Register & Tribune Syndicate,  
Inc.



« Qui croirait que tout cela a débuté par un seul petit flocon! »

#### \*ACTIVITÉ 5: Analyse de neige précipitée

Les cristaux de neige formés dans les nuages subissent les effets de chaque couche atmosphérique qu'ils traversent dans leur chute. Leur apparence définitive dépend donc des conditions auxquelles ils ont été soumis, notamment la température, l'humidité et le vent. Ces interactions déterminent le caractère de la neige précipitée. La chute de neige pourrait se caractériser par des cristaux qui tomberaient isolément les uns des autres. Ces cristaux auraient probablement l'apparence typique. Les cristaux pourraient aussi s'agréger en gros flocons. Par ailleurs, la chute de neige pourrait se composer de cristaux qui auraient été tellement agités par le vent qu'on ne pourrait pas en distinguer les formes. En analysant les flocons de neige, il est donc possible de déduire, d'une part, les conditions qui ont donné naissance aux cristaux et, de l'autre, les conditions subies lors de leur descente.

- Découpez un carré de tissu sombre de 20 centimètres de côté. Fixez-le sur un carton. Placez-le dans un congélateur pour le refroidir.
- Lors d'une chute de neige, sortez-le dehors pour effectuer l'analyse.

---

\* Traduit et adapté de *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.



- Placez l'appareil à plat dans un endroit où il ne sera pas dérangé. Déterminez combien de flocons tombent sur l'appareil pendant un temps donné. Notez vos observations. Calculez combien de flocons tombent en une minute sur une superficie d'un mètre carré.
  - Examinez les flocons à la loupe. Essayez de distinguer la forme des cristaux qui les composent. Sont-ils tous identiques? Y a-t-il plusieurs types de cristaux? À l'aide du système établi par la Commission internationale de la neige et de la glace, classez le(s) type(s) de cristaux présents dans votre échantillon. Estimez la grosseur de quelques cristaux.
  - À l'aide d'une assiette Petri quadrillée, mesurez la grosseur de quelques flocons de neige (le diamètre pourra servir de mesure). Sont-ils tous identiques? Quel est l'écart enregistré dans vos mesures?
  - Mesurez et notez les conditions atmosphériques telles que la température ambiante, l'humidité et la vitesse horaire du vent au moment de l'analyse (vous pouvez demander ces renseignements au Service météorologique régional).
1. Comparez vos résultats à ceux des autres élèves. Est-ce que la précipitation enregistrée est semblable pour tous les élèves?
  2. En quoi les cristaux de neige d'un même type diffèrent-ils les uns des autres?



3. Essayez de décrire les conditions atmosphériques entourant la naissance et la chute des cristaux de neige.

\*\*\*Reprenez l'analyse pour chaque chute de neige. Notez le taux de précipitation, le(s) type(s) de cristaux, la grosseur des cristaux et des flocons et les conditions atmosphériques. Organisez vos données dans un tableau. Essayez de répondre aux questions suivantes:

4. Quels sont les facteurs qui influencent la forme des cristaux de neige? la grosseur des cristaux de neige?
5. Peut-on établir une correspondance entre les conditions atmosphériques et l'aspect des flocons de neige?
6. Y a-t-il une forme cristalline propre à chaque chute de neige?

#### ACTIVITÉ 6: Conservation des cristaux de neige

Il est parfois impossible d'analyser les cristaux de neige en plein air. Une solution consiste à recueillir des cristaux et à les conserver pour les analyser ultérieurement en laboratoire.

- Assurez-vous que tout le matériel dont vous avez besoin pour cette expérience est à une température inférieure au point de congélation de l'eau. Il vous faut des lamelles de verre, des feuilles de carton recouvertes de tissu foncé, des cure-dents et un agent de conservation.
- Lors d'une chute de neige, effectuez les démarches suivantes à l'extérieur.
- Placez une lamelle sur un carton recouvert de tissu foncé (ne réchauffez pas la lamelle avec vos doigts).
- Si vous employez un pulvérisateur à laque transparente pour conserver les cristaux, pulvérisez rapidement la lamelle d'une couche égale de laque. Pour obtenir un bon résultat, il faut tenir le pulvérisateur à une distance suffisante de la lamelle pour que la laque soit presque sèche lorsqu'elle arrive au contact des cristaux. Si vous employez une solution comme agent de conservation, placez-en quelques gouttes sur la lamelle à l'aide d'un compte-gouttes.
- Laissez tomber quelques cristaux de neige sur la lamelle préparée ou, si vous préférez, recueillez les cristaux sur l'étoffe et ne prélevez que les spécimens parfaits avec la pointe d'un cure-dent humecté de laque.
- Placez les lamelles ainsi exposées dans une boîte en plastique ou recouvrez-les d'un béccher. Laissez-les dehors pendant quelques heures afin que les cristaux puissent y laisser leur empreinte.

- Dès que l'agent de conservation est sec, on peut examiner l'empreinte au microscope en laboratoire. Classez les cristaux selon leur forme.
- Déterminez le diamètre des empreintes de cristaux.

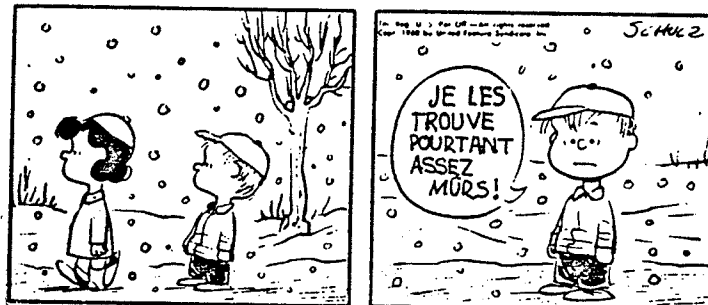
1. En quoi les cristaux du même type se distinguent-ils?

#### ACTIVITÉ 7: Étude de la formation du givre

Le givre est une forme cristalline de l'eau dont on connaît mal le mode de formation. Comment ce phénomène se produit-il? Quel est le rôle des conditions atmosphériques dans sa formation? L'activité suivante pourrait servir de modèle à d'autres expériences sur ce phénomène.

- À l'aide d'une bouilloire, exposez le côté inférieur d'une série de plaques de verre à l'action d'une quantité variable de vapeur d'eau.
  - Placez ces plaques séparément sur des supports dans un congélateur. Mesurez la température du congélateur.
  - Au bout de quelques heures, sortez les lamelles du congélateur et observez les différences.
1. Est-ce que des cristaux sont visibles sur les plaques? Si oui, décrivez-le(s).
  2. Quel est l'effet des différents régimes de vapeur d'eau sur la formation du givre?
    - Dessinez une des plaques. Grattez le givre et renouvelez l'expérience avec la même plaque. Assurez-vous que le même côté de la plaque est exposé à la vapeur d'eau.
    - Une fois que le givre s'est reformé sur cette plaque, comparez-en l'apparence avec le dessin de la première expérience.
  3. Qu'est-ce qui différencie l'aspect du givre sur une plaque donnée d'une expérience à l'autre? Expliquez ce phénomène.
  4. Comment pourriez-vous empêcher la formation du givre sur ces plaques de verre?
  5. Quelle est l'action de la température (maintenue au-dessous du point de congélation) sur la formation du givre?

# LE VIEILLISSEMENT DE LA NEIGE



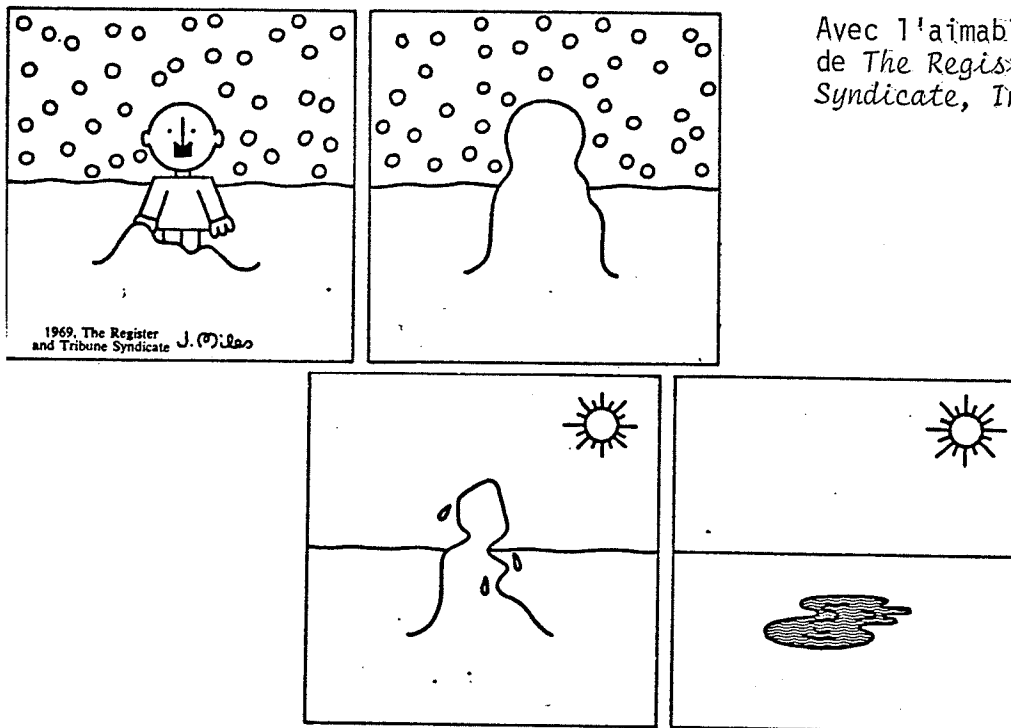
© 1960 United Feature Syndicate, Inc.

Comme toute autre chose, les cristaux de neige subissent les effets du vieillissement. Les cristaux ne sont pas des corps stables. Ils se transforment donc progressivement sous l'action de la chaleur, de la pression et même du vent. L'ensemble des phénomènes qui donnent lieu à cette transformation est appelé métamorphose, terme emprunté à la biologie et qui désigne un changement radical de forme ou d'aspect.

Une couverture de neige composée de cristaux étoilés est très légère. Cette couverture résulte de la formation d'un réseau complexe et fragile qui relie les branches délicates des cristaux étoilés. La perturbation de cette neige par le vent peut briser les branches délicates des cristaux. En conséquence, les fragments de ces cristaux forment une masse amorphe beaucoup plus compacte.

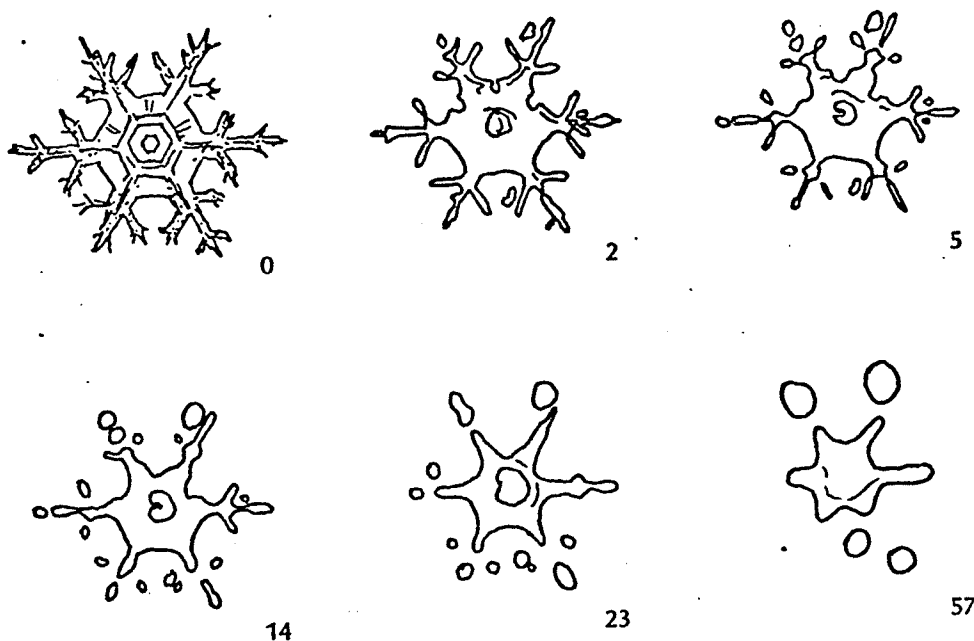
La chaleur est un autre facteur important qui entraîne la métamorphose du manteau nival, c'est-à-dire de la couverture de neige. La transformation sous l'action de la chaleur peut se dérouler à l'intérieur de la couverture nivale même lorsque la différence de température entre une couche de neige et une autre est imperceptible.

Avec l'aimable autorisation  
de *The Register & Tribune  
Syndicate, Inc.*



Lorsque la couverture de neige se caractérise par une température à peu près uniforme, les cristaux les plus complexes prennent graduellement une forme sphérique. C'est la métamorphose d'isothermie. Cette transformation est rapide lorsque la température est proche du point de congélation. Par contre, les changements sont presque négligeables à une température de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Cette transformation est aussi appelée métamorphose destructive puisque les formes cristallines sont détruites. La figure suivante illustre l'effet de ce processus sur un cristal étoilé.

Figure 11: Métamorphose destructive d'un cristal de neige  
(Les numéros indiquent le nombre de jours.)

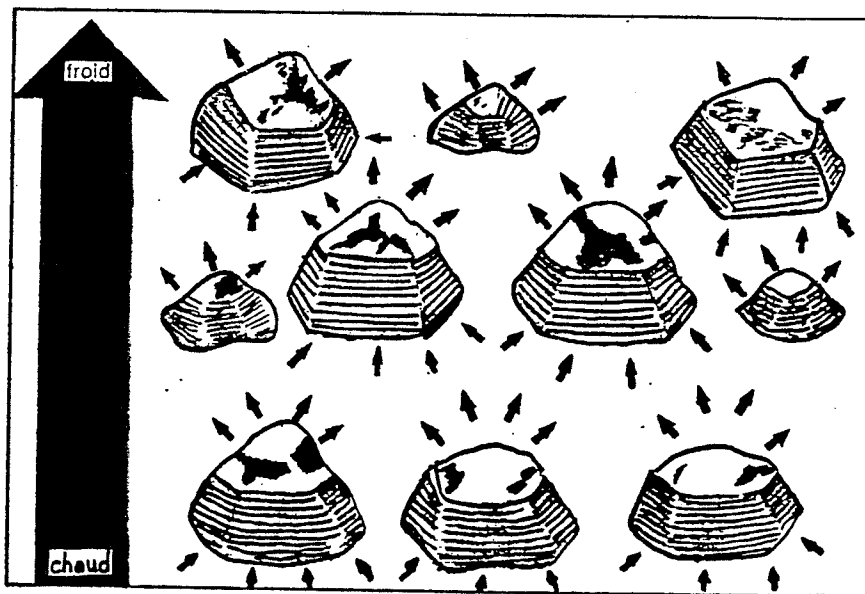


Avec l'aimable autorisation de University of Washington Press.

Le manteau de neige peut être considéré comme un mélange d'air et de glace. Puisque l'air est un excellent isolant thermique, la couverture nivale empêche que la chaleur de la terre se communique à l'atmosphère. La couche de neige située près du sol a donc une température plus élevée que celle qui lui est superposée. On peut enregistrer un gradient de température en raison de la superposition des différentes couches nivales. Cela peut entraîner un autre type de métamorphose, la métamorphose de gradient.

Puisque la couche inférieure a une température plus élevée, l'eau se sublime (ou passe directement de l'état solide à l'état gazeux) à partir des cristaux qui la composent pour ensuite se condenser sur les cristaux de la couche supérieure, qui est plus froide. Ce phénomène peut donc entraîner la formation de cristaux beaucoup plus gros dans les couches supérieures aux dépens des cristaux composant les couches inférieures. Cette cristallisation étant très active, on peut considérer qu'il s'agit d'une métamorphose constructive. Les cristaux qui en résultent ont la forme de colonnes ou de gobelets. Ce sont de gros cristaux creux en forme de pyramide.

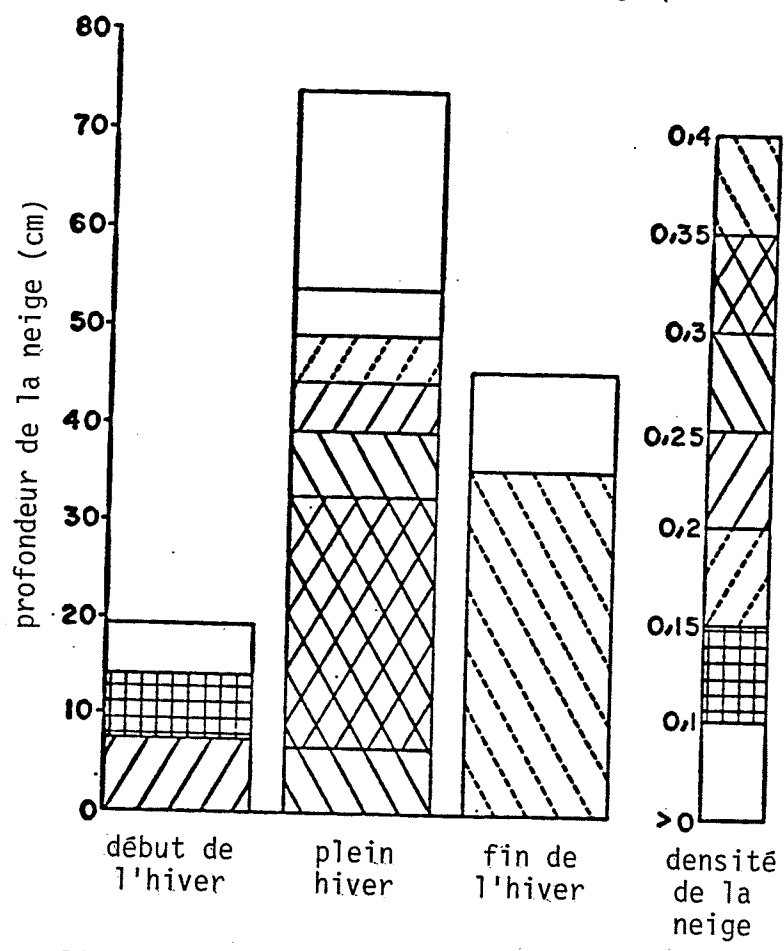
Figure 12: Métamorphose de gradient. La partie supérieure de chaque grain ou cristal se sublime et se condense sous la couche supérieure, produisant ces gros cristaux creux en forme de pyramide.



Tirée de «Le déclenchement des avalanches» par Dominique Marbouty, mai 1981, *La recherche*. Avec l'aimable autorisation de l'éditeur.

Puisque la couche de neige située près du sol a subi les effets de ce phénomène plus longtemps que les autres couches, on y retrouve un réseau fragile de gobelets soudés les uns aux autres. Cette formation délicate de glace est appelée «pukak» par les Inuits et «neige pourrie» ou «givre de profondeur» par les chercheurs. Elle est très importante pour la survie des petits mammifères qui passent l'hiver sous le tapis de neige. Ces petits mammifères défoncent la structure fragile de la glace pour trouver de la nourriture près du sol où les conditions de température sont moins rigoureuses.

Figure 13: Variations de densité de la neige pendant l'hiver



Avec l'aimable autorisation de I. Bayly, Carleton University.

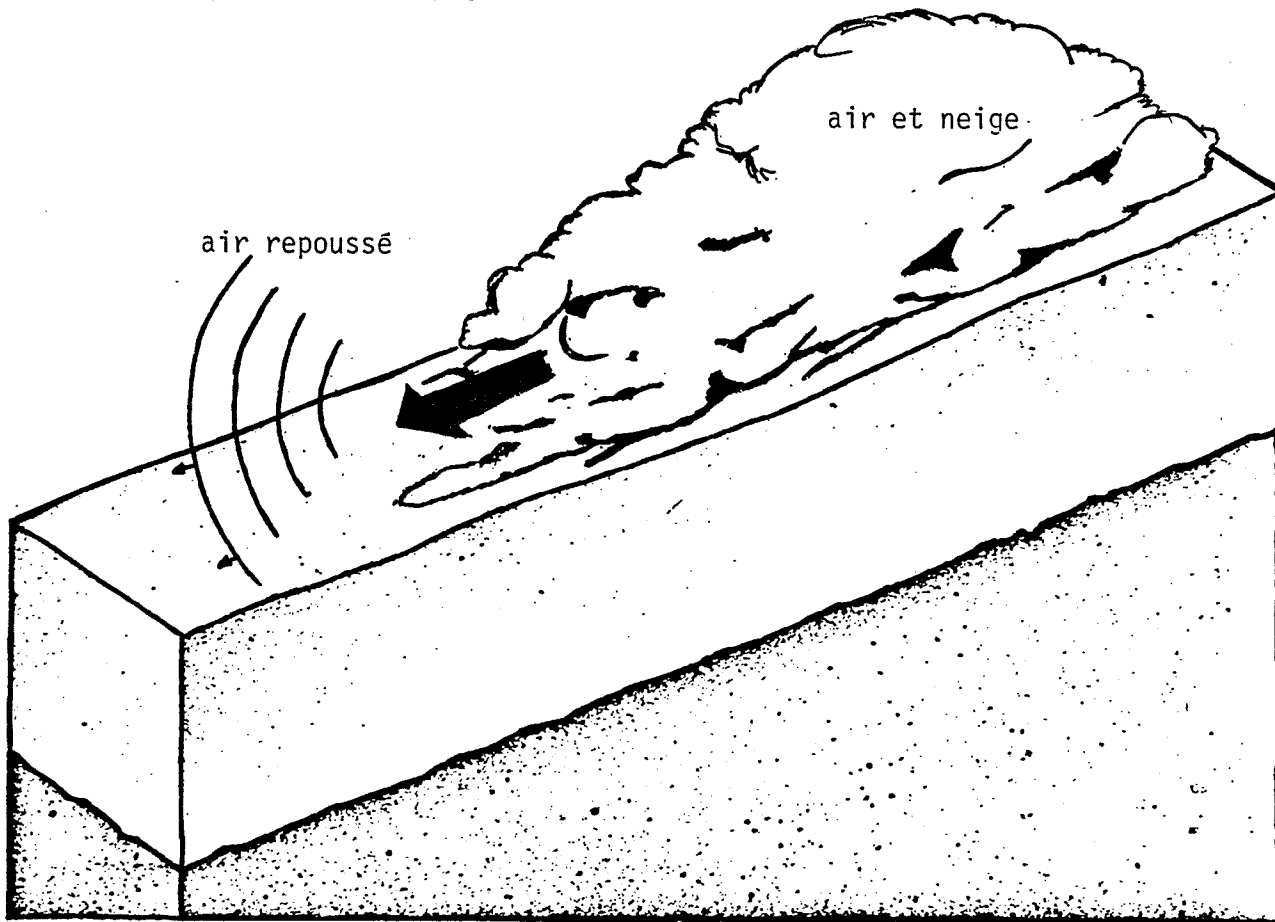
\*\*\*La figure précédente montre comment, en un lieu donné, la densité de la neige varie en fonction de l'enneigement pendant l'hiver. Que nous indique ce graphique du point de vue du rapport entre la métamorphose et la densité de la neige?

La métamorphose de la neige nous aide aussi à expliquer le déclenchement des avalanches dans les montagnes. La prévision de ce risque exige une bonne connaissance de la neige, de son évolution et de sa métamorphose au cours de la saison, entre le moment où elle tombe et celui où elle fond.

## Les avalanches

Trois sortes d'avalanches bien différentes se succèdent au cours de la saison. Les avalanches de poudreuse se produisent quand la neige est récente, légère et sèche. Ce sont les plus fréquentes et aussi les plus dangereuses quand des quantités de neige supérieures à la normale se sont accumulées sur des pentes très raides. Elles surviennent pendant la chute ou peu de temps après. Elles sont spectaculaires lorsqu'elles mettent en mouvement une grande masse de neige poudreuse récente pouvant atteindre une vitesse de 300 km/h.

Figure 14: L'avalanche de poudreuse (neige récente, légère et sèche) est parfois aussi spectaculaire que dangereuse lorsque la masse de neige est importante. Quand la vitesse est suffisante, la neige et l'air se mélangent et constituent un «gaz lourd» qui s'écoule le long de la pente et peut atteindre jusqu'à 200 ou 300 km/h. La vitesse est telle que l'air repoussé par l'avalanche propage une sorte d'onde de choc.

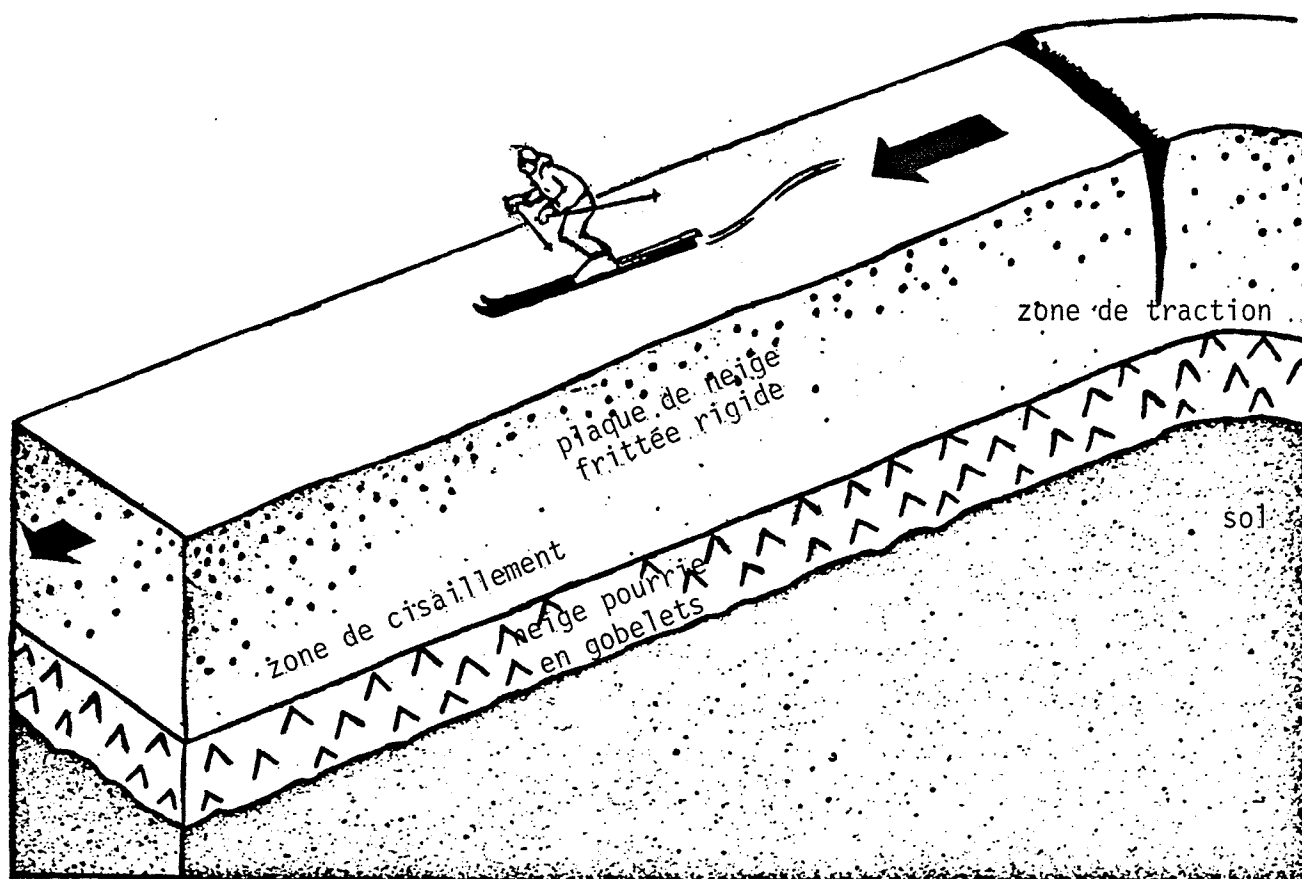


Tirée de «Le déclenchement des avalanches» par Dominique Marbouty, mai 1981, *La recherche*. Avec l'aimable autorisation de l'éditeur.

Un bon nombre des avalanches de poudreuse ne se déclenchent pas au moment de la chute mais dans les jours suivants. La métamorphose d'isothermie explique ce retard. Au moment où ils se déposent, les cristaux sont bien formés. Les pointes des cristaux de neige fraîche assurent la cohésion de la masse de neige, même sur des pentes très raides. Mais au fur et à mesure que la neige se métamorphose, les cristaux deviennent plus lisses et arrondis, et finissent par se désintégrer. Le déclenchement de ce type d'avalanche dépend donc étroitement de la température pendant et après la chute de neige.

Les avalanches de plaques s'expliquent également par la métamorphose de la neige. À mesure que les grains s'arrondissent, des liens fragiles se forment et les soudent. Cette cohésion ou frittage fait que la neige située sur la pente constitue une plaque rigide. À mesure que cette transformation se poursuit, une sous-couche fragile de neige en forme de gobelets, ou givre de profondeur, se forme près du sol. La plaque rigide est alors mal arrimée à la pente et n'est retenue qu'au sommet de la pente. Il suffit qu'un skieur ajoute son poids à celui de cette plaque rigide pour déclencher l'avalanche.

Figure 15: Dans le cas typique d'une avalanche de plaques, le skieur vient ajouter son poids à celui d'une plaque de neige frittée très mal ancrée au sol.

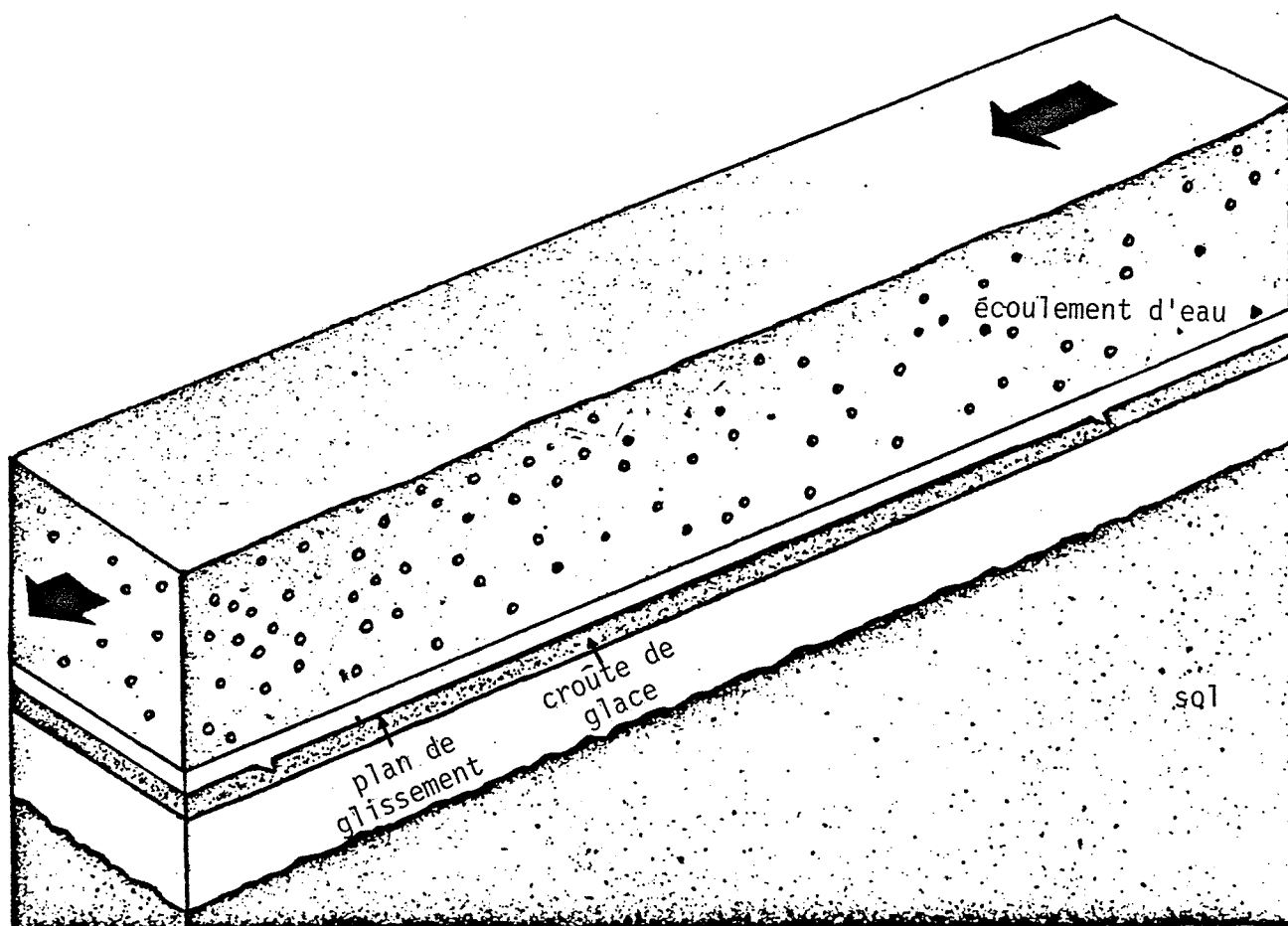


Tirée de «Le déclenchement des avalanches» par Dominique Marbouty, mai 1981, *La recherche*. Avec l'aimable autorisation de l'éditeur.



Le troisième type d'avalanche est causé par la fonte des neiges au printemps. Le cycle de gel-dégel durant cette période produit des plans de glissement. Les avalanches de fonte peuvent mettre en mouvement des masses énormes de neige si la fusion atteint toute l'épaisseur du manteau. On peut donc les éviter en ne sortant en montagne que pendant la période de regel qui survient plus tard en soirée.

Figure 16: L'avalanche de fonte se déclenche souvent en fin de journée quand la masse de neige a emmagasiné un maximum d'énergie solaire.



Tirée de «Le déclenchement des avalanches» par Dominique Marbouty, mai 1981, *La recherche*. Avec l'aimable autorisation de l'éditeur.

#### ACTIVITÉ 8: Un modèle d'avalanche

Les chercheurs qui ont étudié scientifiquement les avalanches ont utilisé des modèles assez simples pour simuler ce phénomène. Une masse de neige placée sur un plan incliné peut nous servir de modèle pour cette étude.

A) L'inclinaison de la pente est un facteur important dans le déclenchement d'une avalanche. Effectuez l'expérience suivante après une chute de neige légère et poudreuse.

- Empilez 5 cm de neige sur une planche d'au moins 50 cm de long.
- Avec l'aide d'un rapporteur déterminez l'angle critique de la pente, c'est-à-dire l'angle du plan incliné à partir duquel la neige commence à s'écrouler. Notez vos observations.
- Faites l'expérience plusieurs fois afin de déterminer si l'épaisseur de la neige empilée a un effet sur le déclenchement d'avalanche.

1. Est-ce que l'épaisseur de la neige modifie l'angle critique de la pente? Expliquez.

- Déterminez la densité de cette neige poudreuse. La densité se mesure de la façon suivante. Emplissez un cylindre gradué de neige en faisant attention de ne pas la tasser. Essayez d'obtenir un volume exact de 100 mL de neige. Rappelez cet échantillon de neige au laboratoire et mesurez la masse. Pour obtenir la densité, il suffit de diviser la masse de neige (mesurée en grammes) par son volume (en millilitres). Notez-la.

$$\text{densité} = \frac{\text{masse de la neige et du cylindre gradué (g)} - \text{masse du cylindre gradué (g)}}{\text{volume de neige (mL)}}$$

B) La température et la densité de la neige sont deux autres facteurs importants dans le déclenchement d'une avalanche. Effectuez l'expérience suivante au laboratoire.

- Empilez 5 cm de neige poudreuse sur le plan incliné.
- Enfoncez un thermomètre à l'intérieur de la couche de neige. Notez la température.
- Inclinez le plan en lui donnant une pente inférieure à l'angle critique. Notez l'angle de cette pente.
- Au moment où la neige s'écroule, mesurez la température de la neige et déterminez sa densité.

2. Quel est l'effet de l'échauffement de la neige sur le déclenchement de l'avalanche?

3. Quel rapport existe-t-il entre la fonte et la densité de la neige?

\*\*\*4. Essayez de déterminer s'il existe un rapport entre la densité de la neige et l'angle critique de la pente dans le déclenchement d'une avalanche.

\*\*\*5. Le modèle employé pour cette expérience est très simple. En réalité, on sait que plusieurs couches de neige aux propriétés différentes se superposent rapidement au même endroit et surtout qu'une même neige évolue dans le temps. Planifiez une expérience qui simulera cette interaction complexe. Par exemple, il y a risque d'avalanche quand la neige repose sur une mauvaise sous-couche. Quel sera l'effet d'une sous-couche de glace, plan de glissement excellent, sur le déclenchement d'une avalanche de neige? Si vous soumettez de la neige à un cycle de dégel et de regel, l'angle critique de la pente variera-t-il? Si vous donnez à la pente un angle inférieur à l'angle critique et que la neige a été soumise à un cycle de dégel et de regel, que se produira-t-il si l'on augmente progressivement la masse placée sur la plaque?

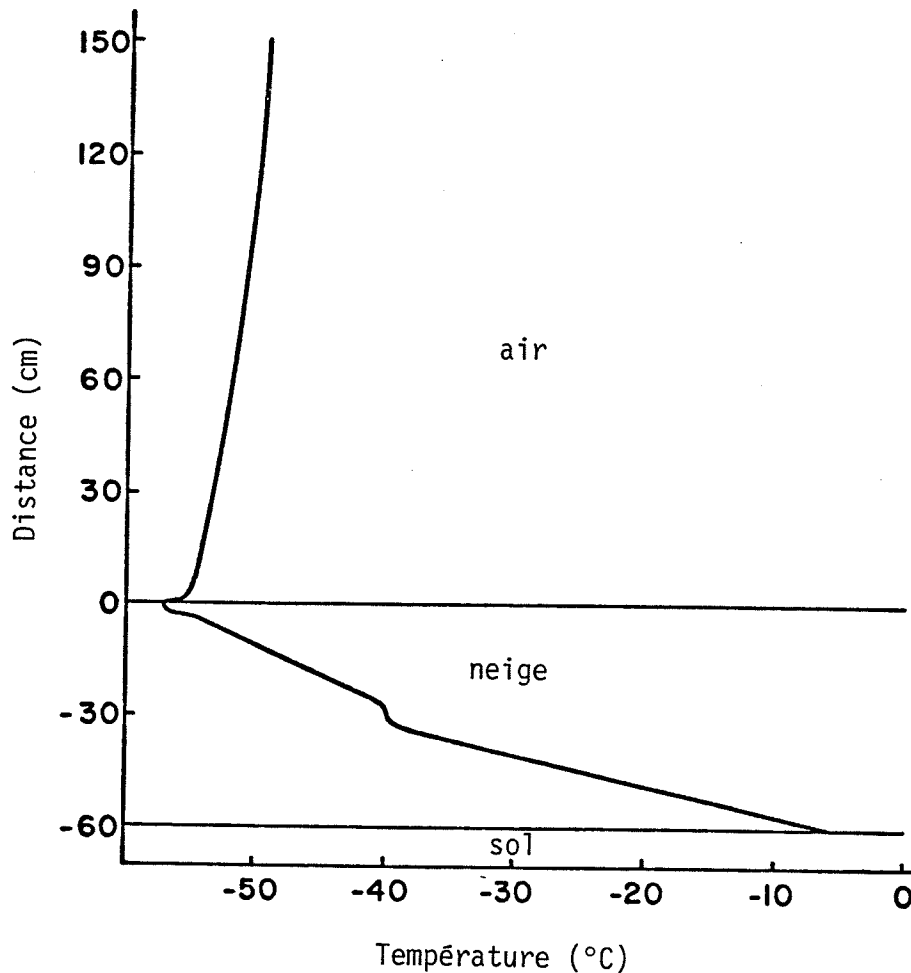
## LES PROPRIETES DE LA NEIGE

Il est évident que les propriétés de la couverture de neige se modifient au fur et à mesure que la neige vieillit. Dès la chute de neige, la métamorphose exerce des changements continuels. Quelles sont les propriétés de la neige? Comment peut-on les décrire? Quelle en sont les répercussions sur la vie des êtres vivants? La couverture de neige a un rôle écologique de très grande importance. Son étude nous explique souvent pourquoi une espèce d'animal est absente d'un tel milieu. L'emplacement d'une espèce végétale dans un endroit précis dépend aussi de la nature de la couverture de neige.

L'épaisseur ou la profondeur de la couverture de neige est un facteur écologique important. Par exemple, l'orignal et le loup évitent les milieux caractérisés par une couverture de neige épaisse. D'autres animaux, comme le lynx et le lièvre d'Amérique, surnommé lièvre à raquettes, ne sont généralement pas gênés par la profondeur du tapis nival.

La neige est un mélange d'air et de glace. Puisque l'air est un excellent isolant thermique, la neige protège la terre qui en est recouverte. La couverture hivernale empêche donc la chaleur dégagée par notre planète de se libérer, de sorte que les petits mammifères continuent à vivre à la surface du sol, même si la température ambiante est très basse. En mesurant la température de la neige à différentes profondeurs, on peut en constater la valeur isolante. Le graphique ci-dessous montre les températures à travers une couverture de neige.

Figure 17: Gradient de température à travers une couche de neige jusqu'au sol



Avec l'aimable autorisation de I. Bayly, Carleton University.

\*Que nous indique ce graphique?

\*Calculez la moyenne des écarts de température par centimètre de neige pour la courbe du graphique.

La densité nous indique le rapport qui existe entre la masse d'un certain volume d'un corps homogène tel que la neige et celle d'un même volume d'eau. Ce rapport est égal à la masse volumique du corps homogène. La densité d'un échantillon de neige nous donne la proportion d'air et de cristaux de glace qui forment le mélange. Une neige légère et poudreuse a une densité d'environ 0,14 (masse volumique de 0,14 g/cm<sup>3</sup>). À l'autre extrême la glace a une densité de presque 1. La densité est intimement liée à sa métamorphose. En fait, toutes les perturbations physiques et humaines modifient cette propriété de la neige. La vie d'un animal en dépend étroitement. Par exemple, la répartition des caribous est fonction de la couverture de neige. En hiver, ils sont concentrés dans les régions

de la taïga où la neige est légère et peu profonde. Cela leur permet de trouver facilement de la nourriture. Ils évitent à tout prix la toundra où la neige est extrêmement compacte ou tassée bien qu'elle soit plus mince.

La dureté de la couche de neige est liée à cette propriété. La dureté de la neige nous donne un indice de la cohésion des cristaux ou particules de neige, c'est-à-dire de la force qui les tient ensemble. Cette propriété peut évoluer très rapidement en fonction de la température et de l'intensité du soleil. Dans la toundra, l'effet du vent sur la neige entraîne parfois la formation d'une couverture assez rigide pour supporter la masse d'un homme et même d'un caribou. Sur la toundra, la dureté de la neige peut atteindre une valeur de  $1000 \text{ g/cm}^2$ . En comparaison, la dureté d'une neige légère et abritée par une forêt de conifères sera de l'ordre de  $20 \text{ g/cm}^2$ . On constate que la vie des animaux dépend étroitement des propriétés de la neige. Le chapitre suivant indiquera comment étudier ces propriétés.

#### ACTIVITÉ 9: Analyse de la couverture nivale

Préparez le matériel décrit dans ce qui suit pour étudier la couverture nivale dans trois types d'habitat ou milieu.

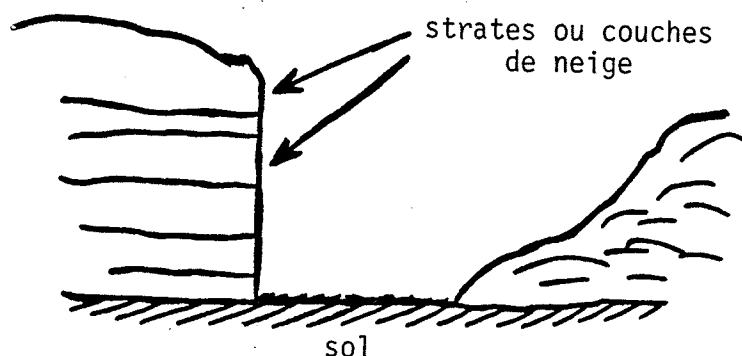
L'endroit où se déroulera l'étude sera considéré comme un poste d'analyse nivale. Situez les postes d'analyse dans des milieux différents: terrain ouvert, terrain abrité dans les bois et terrain situé dans un milieu quasi-fermé. Assurez-vous que les postes d'analyse sont situés dans des endroits qui n'ont subi aucune perturbation (motoneige ou activités humaines).

À chaque poste d'analyse, effectuez les démarches suivantes:

##### A) Hauteur des couches nivales

- Avec une pelle, préparez une coupe dans la neige afin d'exposer les différentes couches ou strates. La figure ci-contre montre une coupe transversale à un poste d'analyse hypothétique.





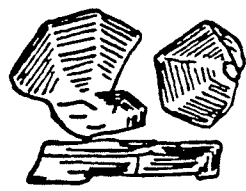
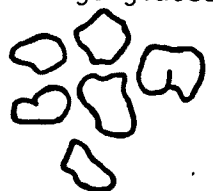
Figure 18: Une coupe transversale dans la neige



Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

- Utilisez une règle métrique et mesurez la profondeur totale de la couverture nivale. Notez-la sur la «fiche de données nivales».
- Identifiez les différents strates de neige que la coupe fait apparaître. Mesurez la hauteur de chacune et notez vos observations sur la fiche.
- Avec une loupe étudiez quelques cristaux ou quelques grains caractéristiques de chaque couche. Déterminez la forme des cristaux ou des grains et leur taille. Classez les cristaux ou les grains selon le schéma ci-dessous. Notez vos observations sur la fiche.

Figure 19: Classification de la neige déposée (d'après la classification proposée par Sommerfeld et LaChapelle (1969))

I. Pas de métamorphose en évidence (neige récente)	II. Métamorphose d'isothermie	III. Métamorphose de gradient
TYPE DE CRISTAUX	II-A-1. La forme des cristaux originels est facilement reconnaissable.	III-A-1. Cristaux anguleux, non striés.
I-A. Vent négligeable, cristaux bien formés. (employez la classification internationale pour les cristaux de neige)		
I-B. Déplacée par le vent, cristaux brisés.	II-A-2. La forme des cristaux originels est difficilement reconnaissable.	II-A-2. Petits cristaux striés incomplètement formés.
		
	II-B.1. Les cristaux sont brisés, leur forme n'est plus reconnaissable; vieille neige de grains fins.	III-A-3. Givre de profondeur, cristaux bien striés.
	II-B.2. Grains arrondis de neige glacée.	
		

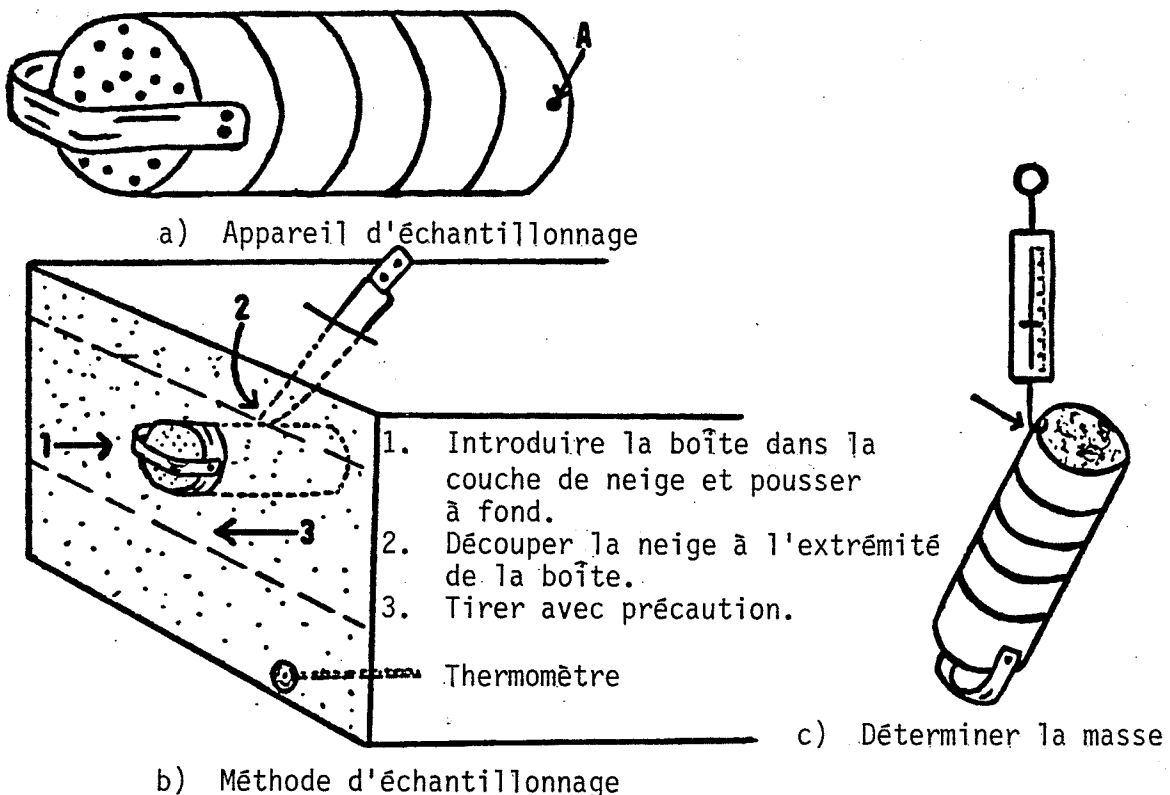
## B) Analyse thermique des couches nivales

- À l'aide d'un thermomètre renforcé («armor-plated»), déterminez la température de chaque strate en enfonçant le thermomètre à une profondeur minimum de 40 cm. Assurez-vous que la température mesurée est celle de la neige et non pas celle de l'air. Notez vos observations sur la fiche.
- Déterminez la température ambiante juste au-dessus de la surface de neige puis successivement à une hauteur d'un mètre et de deux mètres au-dessus de la couverture nivale. Assurez-vous que le thermomètre est à l'abri du vent.

## C) Densité des strates

- Puisque la densité dépend de la masse et du volume de la substance étudiée, il faut construire un dispositif d'échantillonnage. La figure suivante montre comment préparer et employer ce dispositif en utilisant une boîte métallique d'au moins 600 mL de volume.

Figure 20: Comment calculer la densité d'un échantillon de neige



Avec l'aimable autorisation de A. Tretiak.

## D) Dureté des couches nivales

- La dureté de la neige est mesurée à l'aide de l'appareil décrit en annexe A. Il suffit d'appuyer sur le disque de cet



appareil lorsqu'il est posé contre la neige. La mesure indiquée lorsque la surface de neige s'effondre nous donne l'indice de sa dureté.

- Mesurez la dureté de chaque couche nivale et celle de la surface de la neige. Notez vos résultats sur la fiche.
- 1. Quel est le rapport entre la profondeur d'une couche de neige et les mesures que vous avez effectuées?
- 2. Pourquoi la couverture de neige se compose-t-elle de couches différentes?
- 3. Si on recueille de la neige au moment où elle tombe et qu'on la place dans un congélateur, est-ce que la métamorphose des cristaux s'effectuera?
- 4. Quelle est la différence entre deux cristaux de neige appartenant à deux couches superposées?
- 5. En quoi la confection d'une boule de neige est-elle reliée au processus de la métamorphose?
- 6. Un «quinzhee» est une maison de neige construite de la façon suivante. Toute la neige est dégagée jusqu'au sol dans un endroit précis. Elle est ensuite replacée en un tas au même endroit. Au bout d'un minimum d'une heure, on creuse une chambre à l'intérieur du tas de neige. Pourquoi faut-il attendre un certain temps avant de creuser la neige?
- 7. Quelle est la couche de neige dont l'indice d'isolation est le plus élevé? Pourquoi?
- \*\*\*8. Est-ce que de la crème glacée entreposée dans un congélateur subit la métamorphose? Faites une expérience pour déterminer l'effet des variations de température sur sa métamorphose.



DENSITÉ

Densité de chaque strate: supérieure \_\_\_\_\_  
intermédiaire \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_   
\_\_\_\_\_   
inférieure \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

DURETÉ

Dureté de chaque strate: supérieure \_\_\_\_\_ g/cm<sup>2</sup>  
intermédiaire \_\_\_\_\_ g/cm<sup>2</sup>  
\_\_\_\_\_ g/cm<sup>2</sup>  
\_\_\_\_\_ g/cm<sup>2</sup>  
inférieure \_\_\_\_\_ g/cm<sup>2</sup>

FORME ET GROSSEUR

Forme des cristaux ou des grains et taille  
strate supérieure \_\_\_\_\_  
intermédiaire \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_   
\_\_\_\_\_   
inférieure \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

AUTRES OBSERVATIONS

Il n'est pas absolument nécessaire de sortir de la salle de classe pour effectuer une étude poussée concernant les propriétés de la neige. Certaines activités peuvent se dérouler en laboratoire.

### ACTIVITÉ 10: La fonte des neiges

Au cours de cette activité, nous étudierons séparément les expériences relatives à l'effet du tassement, de l'addition du sel et de la couleur sur la fusion d'un échantillon de neige.

#### Partie A: L'effet du tassement

Est-ce que le tassement de la neige produit soit de façon naturelle, soit par l'intervention des hommes, influence le taux de fusion?

- Apportez un seau de neige au laboratoire en évitant de trop tasser cette dernière.
  - Placez 100 mL de neige dans deux béchers de 400 mL.
  - Dans un des béchers, tassez la neige pour la rendre aussi compacte que possible. Notez l'heure précise à laquelle vous commencez cette expérience.
  - Comparez le temps nécessaire à la fonte complète de la neige dans les deux béchers, l'un contenant de la neige tassée et l'autre contenant de la neige non tassée. Écrivez vos observations.
1. Comparez vos résultats à ceux des autres élèves. Si des différences apparaissent, essayez d'expliquer pourquoi.
  2. Comment le tassement de la neige influence-t-il le taux de fusion?
  3. Au printemps, est-ce que les pistes de motoneige auront tendance à fondre plus ou moins rapidement que d'autres endroits dans la même région? Est-ce que les pistes de ski de fond fondront plus ou moins vite que les pistes de motoneige? Expliquez pourquoi.
  4. Comment pourriez-vous vérifier s'il existe un rapport entre le tassement et le taux de fusion pour tous les différents degrés de tassement?

#### Partie B: L'effet de l'addition du sel

Quel est l'effet du sel sur la fonte de la neige?

- Placez 50 mL de neige (préférentiellement à une température inférieure à  $-20^{\circ}\text{C}$ ) dans deux béchers de 100 mL.
- Insérez un thermomètre dans chaque échantillon de neige et relevez la température.

- Ajoutez 3 grammes de chlorure de sodium à un des béchers et continuez à relever la température de chaque échantillon toutes les 30 secondes. Faites un tableau et notez vos observations.
- Continuez à mesurer la température de la neige jusqu'à la fonte complète.
- 5. Construisez un graphique comparant la température et le temps. Tracez les deux courbes sur le même graphique.
- 6. Quel est l'effet de l'addition du sel sur la fonte de la neige?
- 7. Est-ce que le sel augmente ou diminue le point de fusion de la neige?
- \*\*\*8. Est-ce que tous les sels auraient le même effet sur la fusion? Répétez l'expérience en remplaçant le sel utilisé auparavant par du chlorure de calcium. Votre professeur pourrait vous suggérer l'emploi d'autres sels.
- 9. À quelle température ambiante est-ce inefficace de répandre du sel sur les autoroutes pour faire fondre la neige?
- \*\*\*10. Quel est l'effet de l'augmentation de la concentration de sel dans le mélange sur le taux de fusion de la neige? Répétez l'expérience en variant la quantité de sel ajoutée (ex. deux, cinq et dix grammes, etc). Existe-t-il un rapport précis entre la quantité de sel ajoutée et le taux de fusion de la neige?

#### Partie C: La courbe thermique

Comment la température varie-t-elle d'un endroit à l'autre pendant la fonte d'un échantillon de neige?

- Remplissez de neige une tasse de mousse de styrène («styro-foam»).
- Insérez un thermomètre (a) juste en-dessous de la surface de la neige, (b) un autre au centre et (c) un dernier au fond du contenant.
- Mesurez la température à chaque endroit toutes les 30 secondes. Continuez jusqu'à ce que la neige s'effondre exposant le thermomètre supérieur. Faites un tableau et classez vos données.
- Construisez un graphique comparant la température et le temps. Tracez la courbe relative à chaque thermomètre sur le même graphique.
- 11. Comment la courbe thermique de l'échantillon change-t-elle pendant la fonte?

12. Est-ce que cet exemple reflète vraiment ce qui se produira dans la couverture de neige pendant sa fonte au printemps? Quelle modification pouvez-vous y apporter afin de le rendre plus vrai?
- \*\*\*13. Si on emploie une tasse de carton ciré au lieu d'une tasse en mousse de styrène, est-ce que la courbe sera semblable à celle que vous avez obtenue?

Partie D: L'effet de la couleur

Quel est l'effet de la couleur de la neige sur le taux de fusion?

- Remplissez plusieurs bâteaux d'une quantité égale de neige.
  - Ajoutez un colorant différent (pigments ou poudres «Tempra») à chacun des bâteaux puis placez ces derniers près d'une fenêtre.
  - Notez le temps nécessaire à la fonte complète de chaque échantillon de neige.
14. Quelle(s) couleur(s) ont un effet important sur la fonte des neiges? Quelle(s) couleur(s) ont un effet négligeable?
15. Est-ce que les résultats seront les mêmes si l'expérience se déroule pendant une journée nuageuse?
- \*\*\*16. Plaçons des tuiles de différentes couleurs dehors sur de la neige au cours d'une journée ensoleillée. Quel est le résultat? Si les tuiles étaient recouvertes d'une couche de neige de 5 cm par exemple, est-ce que la neige fondrait plus rapidement à l'emplacement exact des tuiles?
- \*\*\*17. Dans les mêmes conditions, quel type de neige fondrait plus rapidement: de la neige fraîche ou de la vieille neige?
18. Est-ce que de la neige fraîche fondrait plus rapidement sur une autoroute en asphalte ou sur une autoroute en béton?
19. On sait que, même de nos jours, beaucoup d'industries envoient encore dans l'atmosphère de nombreuses particules résiduelles et beaucoup de poussières. Ces substances étrangères peuvent être transportées très loin avant de se déposer. Supposons qu'une quantité significative de ces particules poussiéreuses atteigne les régions polaires de la planète. Quels en seront les effets à court terme? à long terme?

\*ACTIVITÉ 11: La pénétration de la neige et de la glace par la lumière

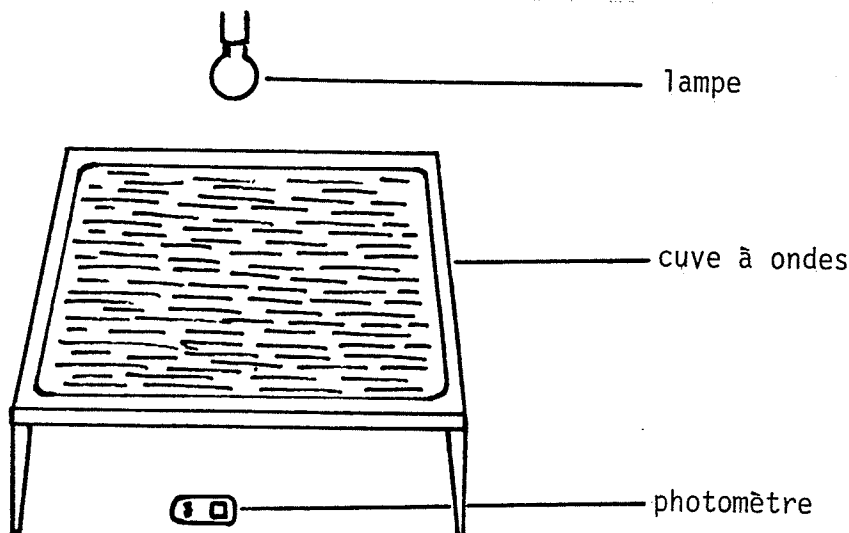
La neige est-elle un corps transparent, translucide ou opaque? Jusqu'à quel point est-elle perméable à la lumière? Est-ce que les petits mammifères qui vivent sous la neige habitent un endroit sombre ou éclairé?

Pendant l'hiver, les écosystèmes aquatiques sont recouverts d'une épaisse couche de neige et de glace. Est-ce que les algues et les autres plantes aquatiques reçoivent assez de lumière pour effectuer la photosynthèse? On sait que, lorsque la neige est très abondante, l'oxygène dissous dans l'eau peut diminuer au point où certaines espèces meurent. À l'extrême, ce manque d'oxygène peut entraîner une sévère perte d'êtres vivants dans le milieu aquatique.

Est-ce que ce manque d'oxygène est dû au fait que la lumière ne puisse pas pénétrer la couche de neige et de glace? S'il y a moins de lumière, la photosynthèse des algues est réduite et donc l'oxygène dissous diminuera en conséquence. L'expérience suivante va vous donner un aperçu de ce problème.

- Suspendez une lampe, à une distance fixe, au-dessus d'une cuve à ondes (un plateau horizontal à fond transparent).
- Avec l'aide d'un photomètre, mesurez l'intensité de la lumière en-dessous de la cuve.

Figure 21: Une cuve à ondes



\*Traduit et adapté de *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

- Placez une plaque de glace dans la cuve à ondes afin d'intercepter la lumière. Mesurez de nouveau l'intensité. Faites un tableau et notez-y l'intensité de la lumière et l'épaisseur de la plaque de glace.
  - Variez l'épaisseur de la plaque de glace. Mesurez l'intensité photométrique par rapport à l'épaisseur.
  - Faites l'expérience de nouveau en employant de la neige légère au lieu de la glace.
  - Répétez l'expérience en employant de la neige bien tassée.
  - Reconstituez les conditions que l'on retrouve sur les lacs en plaçant différentes épaisseurs de neige sur différentes épaisseurs de glace. Mesurez l'intensité photométrique par rapport à ces deux facteurs.
1. Jusqu'à quel point la neige ou la glace affecte-t-elle la pénétration de la lumière?
  2. De la neige ou de la glace, laquelle est la plus imperméable à la lumière?
  3. Est-ce que la conduite des motoneiges sur les rivières et lacs aura un effet sur la pénétration de la lumière?
- \*\*\*4. L'on retrouve, dans la nature, différentes sortes de glace. La glace d'eau douce est différente de celle de la mer. Même la glace d'eau douce peut varier en fonction des conditions qui accompagnent sa formation. Le type de glace formé dans un endroit précis, varie suivant la turbulence de l'eau et les conditions atmosphériques lors de sa formation. Un type de glace d'eau douce, tel que la «glace noire», peut se former dans un étang lorsqu'il gèle. Cette glace est en général composée de cristaux en forme de colonne orientée verticalement. Par contre, si le gel est accompagné d'une chute de neige, cette neige déposée à la surface se mélange à l'eau, formant ainsi une mince couche de «glace blanche». Cette glace blanche présente un aspect granuleux. Comparez la perméabilité à la lumière de ces deux types de glace.
- \*\*\*5. Supposons qu'une sévère chute de neige suive la formation d'une mince couche de glace sur une rivière. Quel sera l'effet de ce dépôt de neige sur la croissance de la couche de glace?
- \*\*\*6. Quel est l'effet de la température de l'eau utilisée sur l'apparence des cubes de glace formés dans un congélateur?



# LES DIVERSES APPARENCES DE LA NEIGE

L'apparence de la couverture de neige varie d'un endroit à l'autre suivant les caractéristiques de l'environnement. Au cours des sections précédentes, vous avez appris à connaître les propriétés de la neige, vous savez maintenant qu'elle se transforme et évolue avec le temps. L'apparence de la couverture de neige peut refléter ces qualités internes.

Dans la langue française, comme dans la plupart des autres langues, nous avons beaucoup de difficulté à décrire précisément l'apparence de la couverture de neige. La survie de nos ancêtres ne dépendait pas étroitement de leurs connaissances de la neige et donc leur langue de communication n'a pas incorporé de termes à son sujet. Par contre, les autochtones du grand nord tel que les Inuits subissent intimement les effets du régime hivernal. Ils leur étaient absolument nécessaire de savoir communiquer des renseignements précis concernant l'apparence et les conditions de la neige.

Les Inuits de la vallée Kobuk, en Alaska, ont développé un vaste et riche vocabulaire pour décrire la neige. Voici la terminologie qui a trait à la neige et qu'ils ont développée.

Tableau 2\*: La terminologie de la neige des Inuits de la vallée Kobuk

## TERMINOLOGIE DE LA NEIGE

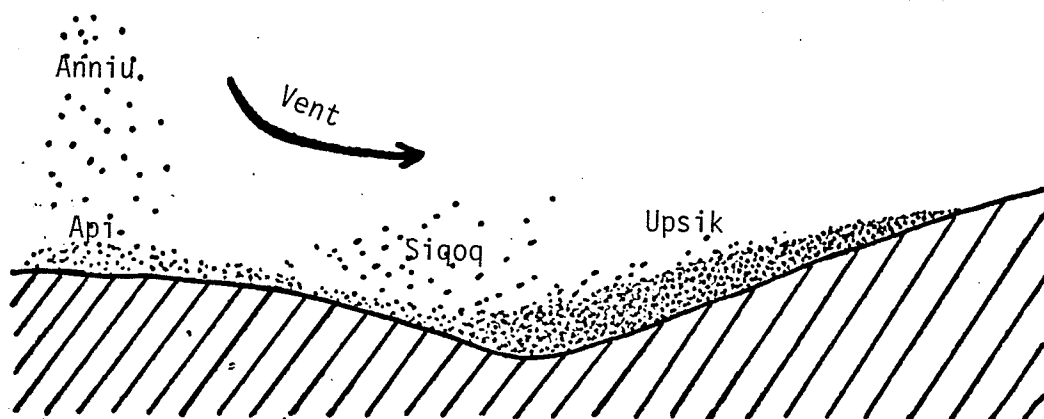
FRANCAIS	Inuit de la vallée Kobuk (Alaska)
une chute de neige	annui
la neige qui s'amasse sur les conifères	qali
la neige déposée par terre	api
le givre de profondeur	pukak
la neige qui a été entassée par le vent	upsik

\* Basé sur l'article "Some Ecological Aspects of Snow" par W.O. Pruitt, Jr., dans *Ecology of the Subarctic Regions* (Ecology and Conservation Series, UNESCO), Paris, 1970, p. 92.

la neige déplacée par le vent	sigoq
la neige tûlée (la croûte ou la couche supérieure durcie par le cycle du gel et du dégel dû à l'action du soleil)	sigoqtoaq
une congère de neige	kimoaqruk
la surface libre entre une congère et l'obstacle qui a précipité sa formation	anymanya
le creux en forme de bassin entourant un conifère	qamanik

L'illustration ci-dessous montre de façon schématique la signification de certains termes dans ce vocabulaire.

Figure 22: Quelques formes de neige typique de la toundra



Avec l'aimable autorisation d'Alex Tretiak.

Le terme anniu décrit la neige en tant que précipitation. Api s'emploie lorsque l'on se réfère à la neige déposée par terre. La neige transportée par les rafales et les vents vifs est appelée sigoq qui se traduit par «fumée blanche».

Cette action turbulente du vent peut briser les cristaux délicats, les entassant davantage. Puisque une des caractéristiques principales de la toundra est le vent violent, on remarque souvent que la couverture entière de neige a été complètement transformée en une masse dure et compacte. Cette neige compacte est appelée upsik. Elle est si dure qu'elle peut supporter le poids d'un loup, d'un homme, d'un caribou et même d'un tracteur polaire. On ne devrait pas être surpris de voir que les autochtones emploient une scie pour découper les blocs utilisés dans la construction de l'igloo, leur maison de neige.

Les différentes conditions de neige identifiées par les Inuits sont importantes en tant que facteur écologique dans la vie des animaux et des plantes. Les congères de neige ou kimoaqruk, par exemple, peuvent favoriser la croissance végétale sur la toundra. Puisque la neige est effectivement une réserve d'eau, sa fonte crée des conditions favorables à certaines espèces de plantes dans ce milieu désertique. Par contre, si l'accumulation de neige est excessive, le prolongement de la fonte au printemps peut retarder la période de croissance jusqu'à la fin de l'été. Dans un cas extrême, cette situation pourrait nuire au point que rien ne pousserait! Une surface libre, c'est-à-dire un endroit avec peu de neige accumulée, est généralement associée avec une congère.

Cet endroit, l'anymanya, est connu par les autochtones comme étant un bon endroit pour tendre un piège ou placer une trappe. Puisque la neige est peu profonde, les animaux viennent manger la végétation exposée. Des chercheurs finlandais ont démontré que l'anymanya est très important dans la vie de la perdrix et du lièvre.

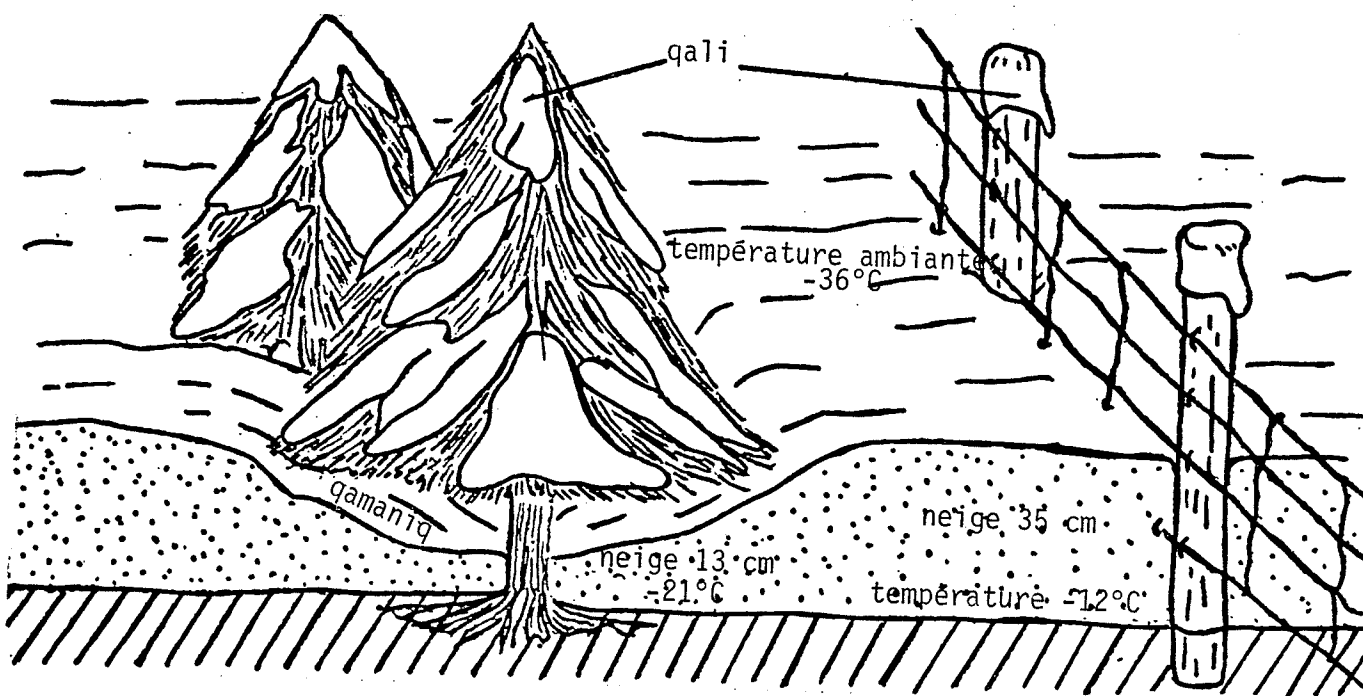
L'intensité du soleil devient de plus en plus forte au printemps car les jours allongent. Le soleil agit sur la neige entraînant la fonte de la couche supérieure. Pendant les nuits froides, celle-ci gèle de nouveau. Ce cycle de gel-dégel forme une croûte dure de neige tôle, le sigoqtoaq. Par ailleurs, si les conditions météorologiques changent radicalement amenant un refroidissement général, le sigoqtoaq ne se dégèle pas pendant la journée. On sait que les caribous interrompent leur migration pendant cette période de refroidissement. Une fois que ce régime de froid intense est passé et que le soleil a réchauffé la couverture de neige, dégelant le sigoqtoaq, la migration des caribous reprend. Est-ce possible que les caribous interrompent leur migration parce qu'ils souffrent trop à chaque pas qui perce le sigoqtoaq?

Le mot pukak décrit le givre de profondeur qui se forme dans la couche inférieure de la couverture de neige sous l'action de la métamorphose. Avec le temps, cette neige pourrie peut devenir une caverne de très grande étendue supportée par des treillis de glace fragiles et protégés des conditions climatiques rigoureuses qui règnent à l'extérieur. Le pukak permet donc aux petits mammifères de la taïga tels que les campagnols, les musaraignes et les lemmings de se nourrir de la végétation au sol. Ces petits mammifères qui résistent ainsi l'hiver, assurent la survie des carnivores qui en dépendent tels que le lynx, le renard et le hibou.

Le creux en forme de bassin entourant la partie inférieure d'un conifère est appelé qamanik. Cette zone de neige peu épaisse est fréquentée par des oiseaux cherchant leur nourriture. Par contre, les petits mammifères actifs sous la neige l'évitent à tout prix car sa température leur est

moins favorable. L'illustration ci-dessous montre la différence de température qui peut exister entre le qamaniq et un autre endroit beaucoup plus enneigé. En dépit des conditions climatiques rigoureuses, la température de la neige près de l'arbre est plus élevée, toutefois elle n'est pas aussi douce que celle relevée un peu plus loin. À l'abri du vent, la neige tombe paisiblement dans la forêt tranquille. La neige s'amasse donc sur les branches des conifères, ce qui fait qu'un qamaniq se développe à l'abri de l'arbre. La neige qui s'amasse sur les arbres est appelée qali.

Figure 23: Qali et Qamaniq



Avec l'aimable autorisation d'Alex Tretiak.

Les conditions nécessaires à la formation de qali sont les suivantes: peu de vent, très peu de rayonnement solaire et une température ambiante constante en-dessous du point de congélation. Le qali est très important en tant que facteur écologique. Le poids de cette neige peut courber les arbres, les bouleaux et les peupliers par exemple, permettant ainsi au lièvre de manger les bourgeons tendres. Si ces arbres courbés deviennent enneigés, la caverne ainsi formée pourrait servir de refuge aux animaux. Le qali influence l'activité des animaux de façon assez systématique. La martre, l'écureuil roux et la mésange à tête noire sont tous influencés par la présence ou l'absence de qali. Par exemple un chercheur a remarqué que les mésanges quittaient la vallée tranquille de conifères lorsque les arbres étaient recouverts de qali pour aller séjourner à une altitude plus élevée, là où le vent nettoyait les bouleaux et les peupliers de façon régulière. Dès que les conifères dans la vallée se libéraient du qali, les oiseaux y retournaient.

Le qali joue un rôle très important en tant qu'agent de succession végétale dans la taïga. Le terme «succession» signifie le remplacement dans le temps d'une communauté de plantes par une autre. Les communautés végétales se succèdent par stades ou étapes de développement jusqu'à ce que le «climax» s'établisse, c'est-à-dire qu'une communauté bien adaptée aux conditions précises du site s'installe.

Le poids du qali peut casser les épinettes, plantes «climax» de la taïga. Dès que, dans un endroit donné, un bon nombre de conifères sont cassés par ce mécanisme, plus le rayonnement solaire pénètre la forêt. Les épinettes qui bordent la clairière ainsi formée ont tendance à croître davantage du côté ensoleillé. Si les branches de l'épinette sont plus onguées d'un côté, il est probable que le qali les cassera car le poids de la neige déséquilibre l'arbre d'avantage. Dès que la clairière a atteint sa superficie définitive, le vent dont l'action n'est plus freinée par le brise-vent qu'est la forêt, ballaie les épinettes empêchant ainsi l'accumulation de la neige sur leurs branches. La clairière permet aussi une plus grande diffusion du rayonnement solaire jusqu'au sol. L'illumination supérieure permet donc à d'autres plantes herbacées de remplacer les mousses. Avec le temps, les saules, les aulnes, les bouleaux et les peupliers s'installent dans la clairière. L'accumulation des feuilles décomposées crée des conditions favorables à la croissance des épinettes, ce qui n'est pas le cas dans le tapis de mousse de la forêt de conifères. Les épinettes réapparaissent et le cycle de rajeunissement de la forêt de conifères recommence. Le qali est donc un facteur écologique de grande importance dans la taïga.

Le qali affecté également la vie de l'homme. Sa formation sur les fils électriques entraîne leur rupture. En Alaska, où des conditions sont particulièrement idéales à sa formation, les hélicoptères survolent les fils à basse altitude afin de les dégager du qali.

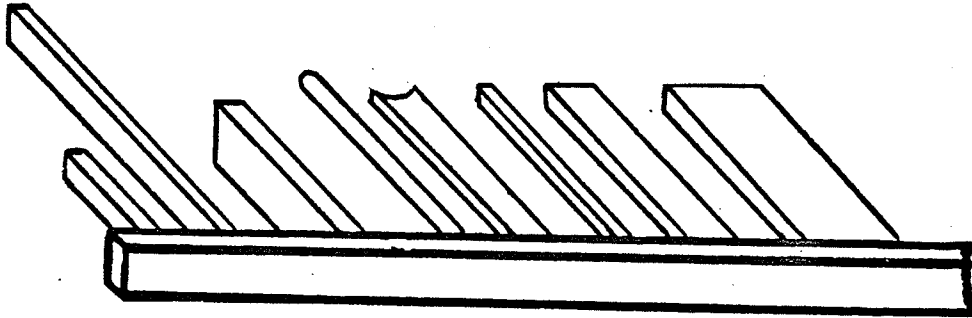
#### ACTIVITÉ 12: Étude systématique du qali

Il est possible de suivre systématiquement l'accumulation du qali en utilisant un qalimètre, un appareil spécialement construit pour l'étude de l'accumulation du qali. Nous vous proposons ici deux façons différentes de procéder pour étudier l'accumulation du qali.

\*Recherche A:

- L'illustration suivante montre un appareil destiné à étudier les effets de la forme, de l'épaisseur, de la largeur et de la superficie sur l'accumulation du qali.

Figure 24: Appareil destiné à l'étude de l'accumulation du qali



Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

- Des morceaux de bois de différentes épaisseurs, formes et longueurs sont fixés horizontalement à un support.
  - Placez l'appareil dehors à l'abri du vent et observez le régulièrement pendant une période de temps.
  - Mesurez l'accumulation de neige après chaque chute.
1. Est-ce que l'accumulation de neige est reliée à la largeur du morceau de bois? à son épaisseur?
  2. Est-ce que le rayonnement solaire influence l'accumulation de neige sur l'appareil?
  3. Comment pourriez-vous mesurer la masse de neige accumulée? Quel sera l'effet de cette masse sur les arbres?
  4. Est-ce que le type de cristaux de neige influence l'accumulation de qali?
  5. Existe-t-il un rapport entre les conditions météorologiques et l'accumulation de qali?
  6. Pourquoi les branches des arbres à feuilles caduques amassent-elles de la neige pendant l'hiver?

---

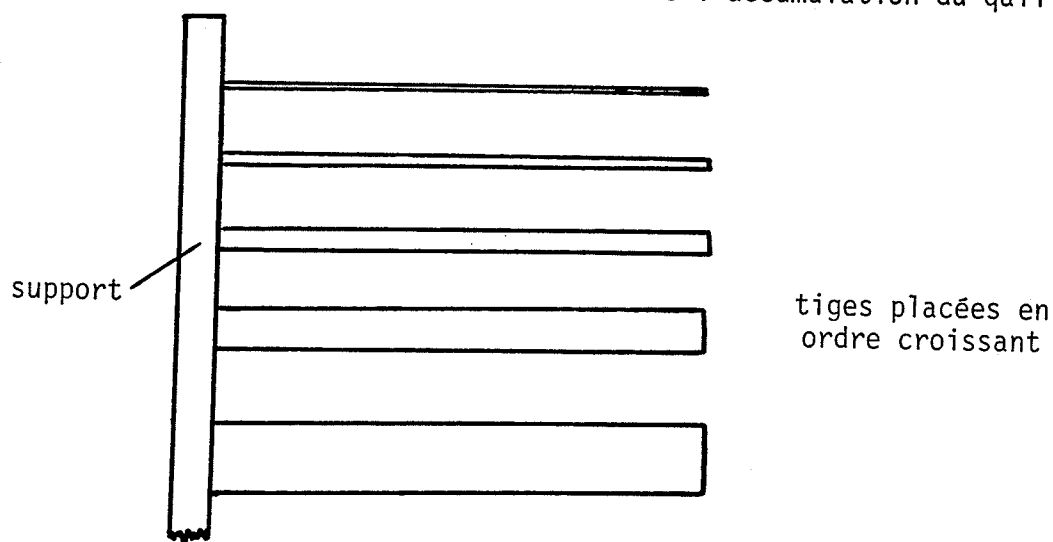
\*Traduit et adapté de *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

Il est possible de suivre systématiquement et de façon continue le phénomène du qali pendant toute la durée de l'hiver. Dans le modèle proposé ci-dessous, seulement le diamètre du morceau de bois varie.

- Munissez-vous de tiges cylindriques de bois («dowels») dont les diamètres vont du plus petit au plus grand.
- Fixez horizontalement les tiges placées en ordre croissant et à un intervalle de 10 cm chacune.

L'illustration ci-dessous montre l'appareil vu d'en haut.

Figure 25: Appareil destiné à l'étude de l'accumulation du qali



- Numérotez les tiges du plus gros au plus petit.
  - Commencez l'étude dès la première neige et continuez pendant toute la durée de l'hiver.
  - Chaque jour, mesurez la hauteur de neige accumulée sur chaque tige. Notez quotidiennement les conditions météorologiques, la température ambiante, le vent, la nébulosité, l'intensité ainsi que la durée du rayonnement solaire.
  - Faites un graphique et résumez-y vos observations.
7. Existe-t-il un rapport entre vos observations avec le qali-mètre et la présence de qali sur les conifères?
  8. Existe-t-il un seuil relatif à la vitesse du vent nécessaire pour enlever la neige sur les tiges (c'est-à-dire la vitesse de vent minimale requise pour effectuer le dégagement)?

9. Existe-t-il un rapport entre le seuil de la vitesse du vent et le nombre de jours pendant lesquels la neige reste sur la tige?
10. Existe-t-il un rapport entre le rayonnement solaire et la disparition de qali sur les arbres?

## Le siqoq ou la neige exposée au vent

Il est évident que le vent modèle la couverture de neige. Dans les régions polaires, le vent est le principal agent de façonnement du relief de la toundra. Les sillons et les congères que l'on observe chaque hiver sont formés par cette action éolienne. Mais comment les grains de neige sont-ils déplacés par le vent? Quels sont les mécanismes précis qui permettent ce transport?

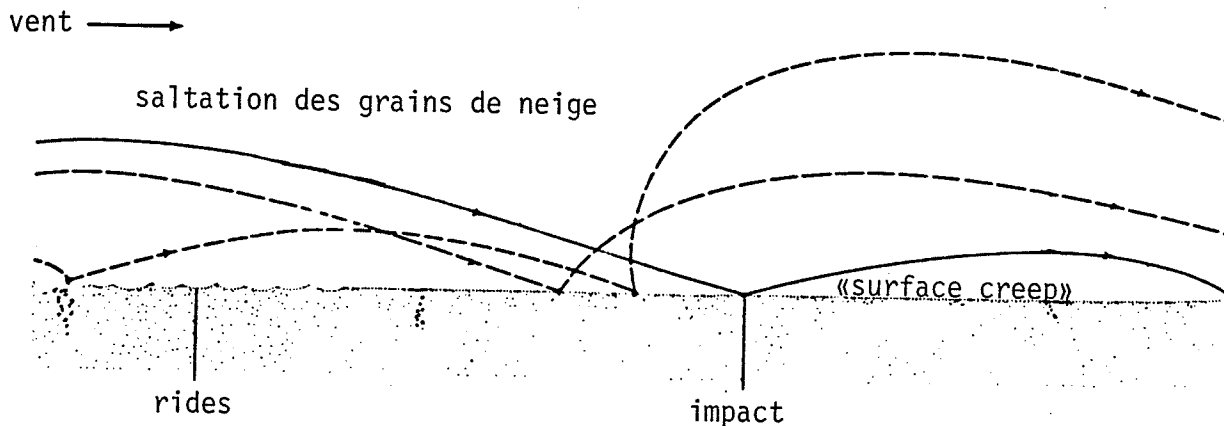
On sait déjà que les «seuils de reprise», la vitesse du vent à partir de laquelle une neige donnée commence à être déplacée, varient de 3 mètres/seconde pour une neige fraîche à 30 mètres/seconde pour une neige plus vieille.

Lorsque le vent est fort, les particules sèches de neige peuvent être arrachées à la surface, restant en suspension dans l'air. Cette action par laquelle le vent soulève et transporte des particules est appelée déflation. Par contre, lorsque le vent est moins violent les grains de neige sont déplacés par la saltation, autrement dit par bonds effectués à proximité de la surface.

Les légères particules fines sont plus facilement transportées par la saltation. Étant donné qu'il existe un rapport entre la grosseur optimale des particules et la vitesse du vent, les grosses particules de neige ne sont généralement pas déplacées par ce processus. Par contre, le rebondissement continu des petits grains de neige peut déclencher un autre phénomène. Chaque fois que les grains rebondissent, ils entrent en collision avec d'autres grains à la surface. L'impact peut provoquer le déplacement de grains beaucoup plus gros, jusqu'à 200 fois leur masse, sur une courte distance. Ce transport lent de grosses particules est appelé «surface creep». L'illustration à la page suivante montre les phénomènes de saltation et de «surface creep».



Figure 26: Le déplacement de la neige par saltation et par «surface creep»



### ACTIVITÉ 13: Le déplacement des particules par saltation

- Brisez une plaque de polystyrène en plusieurs morceaux de différente taille (de 0,5 cm à 5 cm). Donnez aux morceaux la forme de sphère.
  - Mesurez le diamètre et la masse de chaque sphère et notez-les.
  - Colorez les sphères afin de les rendre plus visibles sur la neige.
  - Il faut aller dehors lorsqu'il y a un vent fort pour effectuer l'expérience suivante. Dès que vous rentrez, renseignez-vous auprès des Services météorologiques afin de savoir qu'elle était la vitesse exacte du vent pendant la durée de l'expérience.
  - Placez la plus petite sphère sur la surface de la neige. Mesurez la distance parcourue par la sphère au cours de plusieurs bonds. Faites plusieurs essais afin de déterminer la distance moyenne.
  - Répétez l'opération avec les autres sphères. Faites un tableau et classez vos données.
  - Construisez un graphique comparant la distance parcourue par rapport à la masse de la sphère.
1. Quel est le rapport entre la masse de la sphère et la distance parcourue?
  2. Comment la vitesse du vent affectera-t-elle la distance parcourue?
  3. Les sphères de polystyrène servaient de modèle afin de simuler l'action du vent sur des grains de neige. Comparez ce modèle à la réalité, c'est-à-dire au déplacement des grains de neige?

- \*\*\*4. Au cours de l'expérience, on a simulé le processus de saltation. Comment pourriez-vous simuler le déplacement de grains de neige par «surface creep»?

#### ACTIVITÉ 14: Étude des congères

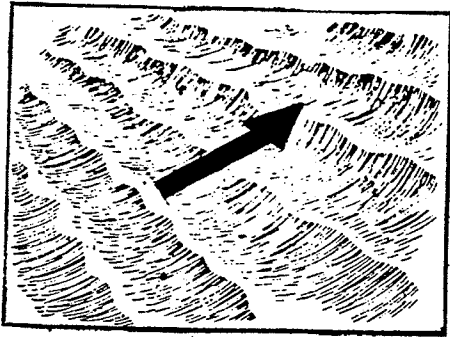
Les congères sont généralement formées par la diminution de la vitesse d'un vent transportant de la neige. Si le vent rencontre un obstacle, une zone de turbulence se crée sous le vent. Sa vitesse est donc réduite et la neige commence à s'entasser. De même, en sortant d'un couloir situé entre deux bâtiments, le vent ralentit déposant sa charge de neige. L'emplacement d'une congère de neige ainsi que l'étude de sa forme peut nous donner un indice sur sa formation.

##### Partie A: Profil d'une congère

- Le long d'une ligne perpendiculaire à la congère, mesurez la profondeur de la neige, à intervalles réguliers.
  - Notez les obstacles évidents aux abords de la congère (bâtiment, clôture, etc.) et mesurez la distance séparant ces derniers.
  - Construisez un graphique comparant la profondeur de la neige par rapport à la distance le long de la ligne.
1. Quelle est la forme de la congère (a-t-elle une forme symétrique)? Comparez vos résultats à ceux des autres élèves.
  2. En utilisant votre graphique et un rapporteur, calculez l'angle de la pente de chaque côté de la congère. Comparez vos résultats à ceux des autres élèves. Quel côté de la congère était le plus probablement exposé au vent?
  3. Comment la congère étudiée s'est-elle formée (direction de vent, obstacle, etc.)? Essayez d'expliquer sa formation.
- \*\*\*4. La formation d'une congère peut être comparée à celle d'une dune de sable. Les schémas suivants montrent les principaux types de dune.

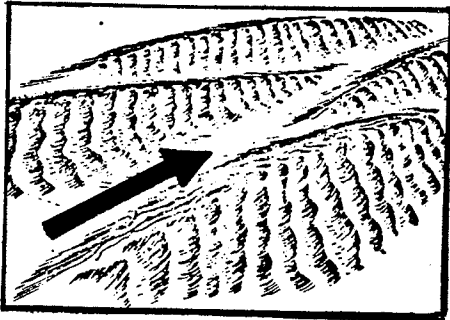
Figure 27: Les divers aspects des formations de sable

(a) Les dunes transversales



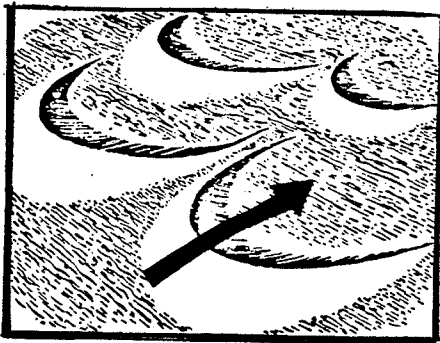
Les dunes transversales sont l'oeuvre des vents modérés (flèches) qui entraînent les grains de sable fin, ne laissant derrière eux que des crêtes faites de particules plus grosses.

(b) Les dunes longitudinales



Les dunes longitudinales sont dues à des vents violents (flèche) qui entraînent aussi bien le sable gros que le sable fin, creusant ainsi de longs sillons.

(c) Les dunes barkhanes



Les barkhanes se produisent aux endroits où le sable est peu abondant; leur forme en croissant est due au fait que le vent passe plus facilement sur les extrémités basses des dunes qu'au-dessus de leur partie centrale, plus élevée.

Tirée de LIFE NATURE LIBRARY/*The Desert*. Illustré par Adolph E. Brotman. Avec l'aimable autorisation de Time - Life Books Inc. Publisher © 1961 Time Inc.

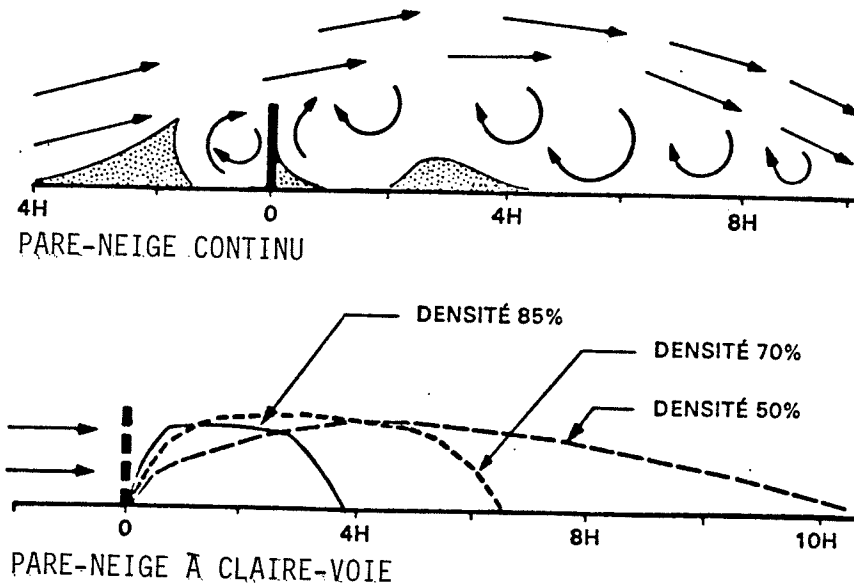
Partie B: L'amoncellement de la neige

- Faites cette expérience au moment d'une tempête ou lorsqu'il y a une chute de neige accompagnée d'un vent violent.

- Sur un terrain plat et ouvert, placez verticalement des panneaux d'aire égale (des morceaux de carton fort, de bois contre-plaqué, etc.), dans différentes positions, suivant la direction prédominante du vent (perpendiculaire, parallèle, oblique, etc). Mesurez la profondeur de la neige devant et derrière ces obstacles.
  - Dès qu'une bonne épaisseur de neige s'est déposée près des obstacles, faites le croquis du dépôt de neige autour de chaque obstacle. Mesurez la longueur, la largeur et la hauteur de chaque dépôt. Mesurez la distance entre les dépôts et les obstacles.
4. Quel est l'effet des différents obstacles sur l'amoncellement de la neige?
  5. Est-ce que de la neige s'est amoncelée devant les obstacles? Si oui, comparez la forme de ces dépôts à celle des dépôts formés derrière l'obstacle. Comparez les accumulations totales de neige.
  - \*\*\*6. Si des objets de forme différente (boîte carrée, rectangulaire, cylindrique) étaient utilisés comme obstacle, quels en seraient les effets sur la neige déposée?
  - \*\*\*7. Si l'expérience est répétée alors que la vitesse du vent est différente, comment la neige déposée serait-elle affectée?
  8. Des clôtures pare-neige sont fréquemment employées pour contrôler l'emplacement des dépôts de neige. Généralement ces clôtures ne sont pas des surfaces continues, c'est-à-dire complètement fermées. Puisque les lattes d'un pare-neige sont séparées par un espace régulier, on peut calculer leur densité, le rapport entre les parties pleines et les parties vides de la clôture. Une densité de 50% indique que la partie pleine est de la même largeur que la partie vide (ex. des lattes de 5 cm de large séparées par des espaces de 5 cm).

L'illustration suivante compare les congères de neige à proximité d'un pare-neige continu (complètement fermé) et à claire-voie (avec des vides entre les parties pleines). La distance entre le pare-neige et la congère, ainsi que sa largeur, sont exprimées en multiples de sa hauteur, autrement dit une mesure de  $4H$  représente une distance qui est 4 fois la hauteur du pare-neige. Que signifie cette illustration? Interprétez-la.

Figure 28: Congère de neige à proximité de pare-neige pleins et à claire-voie. La hauteur est  $H$ ; la longueur de l'amas de neige est exprimée en multiples de  $H$ .



Avec l'aimable autorisation du ministère de l'Agriculture du Canada.

- \*\*\*9. Faites une expérience afin de déterminer si une organisation verticale des lattes d'un pare-neige serait plus ou moins efficace qu'une organisation horizontale des lattes.
- \*\*\*10. Les rides laissées sur la neige sont dues à l'action du vent. Faites une expérience afin de déterminer le rapport entre la vitesse du vent et la distance entre deux rides consécutives. Déterminez si la hauteur des rides est liée au facteur éolien.
- \*\*\*11. Construisez un anémomètre, appareil servant à mesurer la vitesse du vent, afin de comparer celle-ci sur les deux côtés d'une congère. L'illustration ci-contre montre un anémomètre.

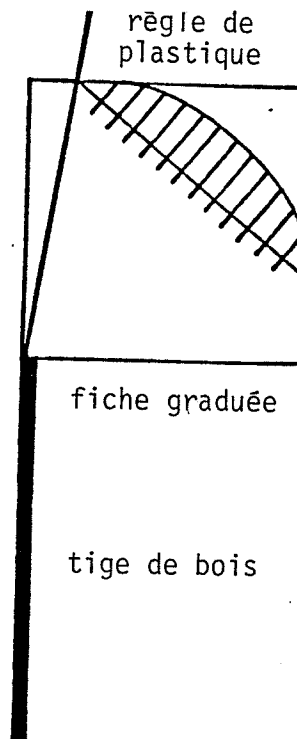


Figure 29: Un anémomètre simple

Avec l'aimable autorisation de Thomas Graika.

### ACTIVITÉ 15: La contamination de la neige

Est-ce que la neige précipitée est une substance propre? L'apparence de cette substance blanche pourrait nous faire croire qu'elle est en fait propre. Mais, cette impression est-elle justifiée?

#### Partie A:

- Lors d'une chute de neige, recueillez un échantillon de neige précipitée dans un contenant bien propre.
  - Dès que vous en avez recueilli une quantité suffisante, rappez le tout au laboratoire.
  - Mesurez la masse d'un papier filtre propre et notez-la.
  - Pliez ce papier filtre en quatre et déposez-le dans un entonnoir reposant dans un vase d'Erlenmeyer.
  - Versez l'échantillon de neige dans l'entonnoir et couvrez-le afin de le mettre à l'abri de la poussière et de minimiser l'évaporation.
  - Laissez sécher le papier filtre et mesurez de nouveau sa masse. Notez la masse de substance étrangère dans l'échantillon de neige précipitée.
  - Prélevez un échantillon d'une vieille neige déposée. Répétez l'expérience et comparez les masses des substances étrangères.
1. Comparez la contamination par les substances étrangères des deux échantillons.
  2. Pouvez-vous identifier ces substances étrangères?
  3. Comment la neige précipitée est-elle contaminée?
  4. Quel sera l'effet de cette contamination sur la fonte des neiges au printemps?
  5. D'où proviennent les substances étrangères qui contaminent la neige déposée dans votre région?
- \*\*\*6. Utilisez des plats de Pétri contenant du bouillon de culture pour comparer les microbes des différents échantillons de neige.

#### Partie B:

- Faites une analyse chimique des filtrats, c'est-à-dire des liquides filtrés.
- Mesurez l'acidité des filtrats avec des papiers-tests de pH (hydrion).

- Avec les trousse d'analyse appropriées, déterminez la concentration des nitrates et des phosphates dans les filtrats.
- Avec l'aide d'un microscope, comparez la forme des différents solides composant le filtrage.

7. Comparez les différents filtrats.
8. Quelle est la source des ces substances?
9. Y a-t-il des solides semblables dans un filtrage?

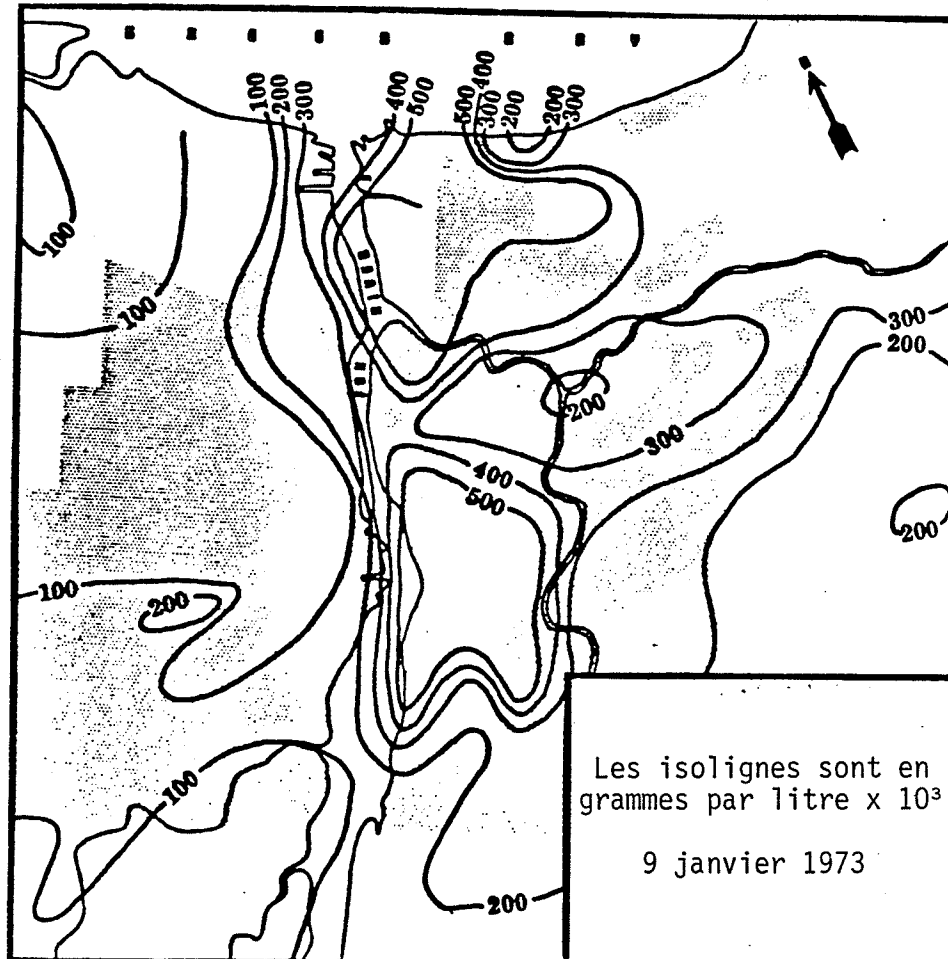
L'analyse d'une série d'échantillons de neige prélevés systématiquement peut nous indiquer la distribution et la quantité de matières solides déposées dans une région déterminée. Les données recueillies peuvent nous donner un indice sur l'emplacement des industries (ou autres) responsables des émissions de solides en suspension.

Au cours de leur chute vers la terre, les flocons de neige interceptent les solides en suspension dans l'atmosphère et les incorporent. Même après leur chute, des particules étrangères se déposent continuellement à la surface de la neige. Il est donc possible de mener une étude comparative des dépôts solides dans une région en tenant compte de ces phénomènes.

- Répartissez une région en plusieurs secteurs d'aire égale (chaque élève pourrait être responsable d'un secteur).
- Identifiez 10 stations de prélèvement réparties uniformément dans chaque secteur. Les stations devront être facile d'accès.
- À une heure désignée, les responsables prélèvent sur les lieux un échantillon de neige. Assurez-vous que la neige n'a pas été remuée. Chaque échantillon représente une couche de 2 centimètres d'épaisseur prélevée sur une superficie de 100 cm<sup>2</sup> (10 cm x 10 cm). Les échantillons peuvent être placés dans des contenants en plastique (contenants de margarine par exemple). Étiquetez les contenants afin d'identifier chaque échantillon.
- En laboratoire, mesurez le volume de la neige fondue à l'aide d'un cylindre gradué.
- Utilisez le procédé décrit dans la partie A afin de déterminer la masse des solides étrangers. Calculez l'équivalence en grammes par litre pour chaque échantillon et multipliez votre résultat par mille. Les données sont maintenant exprimées en grammes par litre x 10<sup>3</sup>.
- Sur une carte de la région, marquez à l'aide d'un point le site de chaque station dans votre secteur et indiquez la valeur déterminée des solides étrangers.

- Faites la même chose pour les données recueillies par les autres élèves de la classe.
- Tracez les isolignes, c'est-à-dire des lignes rejoignant tous les points de valeur semblable, sur la carte régionale. La carte suivante indique l'emplacement des isolignes, à la suite d'une étude effectuée à Green Bay.

Figure 30: La répartition des dépôts solides



Avec l'aimable autorisation de J. M. Moran.

10. Selon vos résultats, d'où proviennent les matières solides en suspension dans votre région? Quels sont leurs points d'origine?
11. Quel est l'effet du vent sur la répartition des matières solides en suspension? Comment vos résultats reflètent-ils ce phénomène?
- \*\*\*12. Comment pourriez-vous déterminer le taux de dépôt de la matière solide en suspension?
13. D'où proviennent les erreurs possibles que l'on peut faire au cours de cette étude?



# LA COMMUNAUTE BIOTIQUE

L'hiver canadien impose des conditions de vie extrêmement difficiles aux populations qui y habitent. Les animaux qui hivernent dans la toundra canadienne doivent subir le froid polaire. Le facteur de refroidissement des vents permanents soufflant à grande vitesse est tel qu'il met à l'épreuve les animaux polaires, d'autant plus que la toundra offre peu d'abri. Les animaux de la taïga, par contre, bénéficient d'un régime de température un peu plus doux car la forêt de conifères les abrite du vent. Cependant, les populations de la taïga doivent s'adapter à la présence de la neige. La neige modifie radicalement le jeu écologique. Les animaux, prédateurs et proies, doivent se déplacer en dépit de la couche de neige. Ce déplacement peut exiger une dépense considérable d'énergie. Pour certains, la neige recouvrant le sol cache la nourriture enfouie. Un effort spécial est donc requis pour s'alimenter.

Pour les animaux boréals, l'hiver est le principal obstacle à surmonter au cours de leur cycle de vie. Le froid glacial, les vents violents, la sécheresse et la neige permanente caractérisent l'hiver et des habitants des régions froides exigent qu'ils s'y adaptent. Certaines espèces s'y sont adaptées au cours des siècles en développant des mécanismes biologiques, d'autres s'y sont adaptées en développant des mécanismes ayant trait soit au comportement de l'individu soit à celui de la population entière. La survie d'une espèce pendant l'hiver dépend étroitement de son adaptation. Les individus mal préparés ou inadaptés périssent.

## La migration

Certaines espèces ont résolu le problème de l'hiver en s'évadant, c'est-à-dire en émigrant chaque saison vers des régions plus hospitalières. Les oiseaux forment le groupe de migrateurs le plus connu. Par contre, ils ne sont pas les seuls à émigrer.

Chez les mammifères, l'on rencontre beaucoup d'espèces migratrices. Le caribou des toundras effectue chaque automne une migration impressionnante vers son aire d'hivernage, située dans la toundra forestière. Des hardes de caribous représentant des milliers de têtes parcourent le même chemin

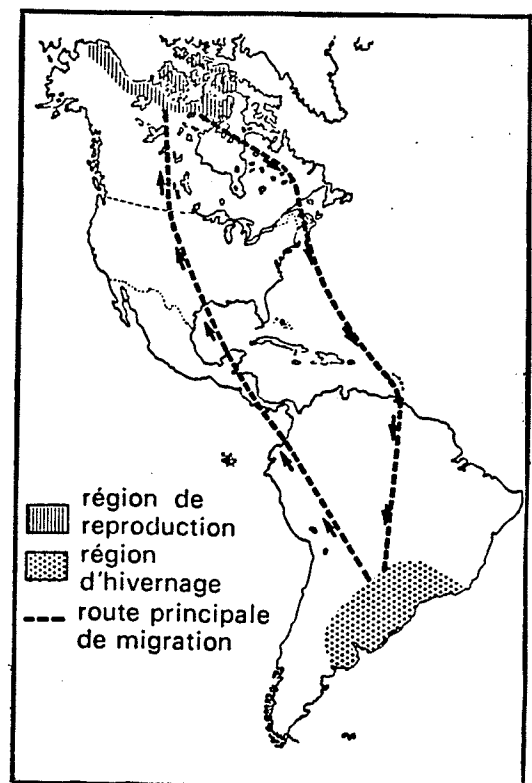
chaque année. La migration des phoques de l'Alaska amène les femelles et les jeunes mâles jusqu'aux eaux chaudes de l'océan pacifique qui longent la Californie. Ils rejoignent les mâles plus âgés au printemps suivant, le long de la côte de l'Alaska, parcourant ainsi une distance de 5 000 kilomètres. Certaines espèces canadiennes de chauves-souris, les seuls mammifères volant, se rendent au sud des États-Unis pour hiverner alors que d'autres hibernent dans des cavernes, des mines abandonnées ou des bâtiments dont l'accès leur est facile.

La classe des insectes comprend également des espèces migratrices. Le Monarque, papillon orange et noir, effectue une migration saisonnière étonnante. À la fin de l'été, ces papillons se rassemblent par milliers dans le nord du Canada et entreprennent une longue envolée jusqu'au golfe du Mexique pour y passer l'hiver. En mars, les Monarques quittent leur aire d'hivernage pour reprendre la route du Nord.

Un grand nombre d'espèces d'oiseaux sont des espèces migratrices. Par contre, il en existe certaines qui hivernent au Canada. La grande majorité des espèces d'oiseaux insectivores (les moucherolles, les tyrans et les hirondelles), d'oiseaux aquatiques (les huarts, les grèbes, les oies, les bernaches et les canards) et d'oiseaux qui se nourrissent à la surface du sol (le merle d'Amérique ou le rouge-gorge et les alouettes) effectuent une migration annuelle vers le Sud. Selon les chercheurs, plusieurs de ces espèces pourraient survivre aux hivers canadiens si elles étaient alimentées pendant cette période. Puisque le froid empêche l'activité des insectes volants, les oiseaux insectivores doivent émigrer vers les régions plus chaudes pour se nourrir. Étant donné que les lacs et les marais sont pris dans les glaces, les oiseaux aquatiques ne peuvent donc pas y demeurer.

Le pluvier doré, un oiseau de rivage, parcourt plus de 13 000 kilomètres d'une seule envolée migratoire. Cet oiseau se reproduit dans le nord du Canada pendant l'été, et à l'automne, il s'envole vers l'Amérique du Sud pour passer l'hiver. La sterne arctique détient le record de la plus longue distance parcourue pendant une migration en faisant annuellement le tour complet du globe.

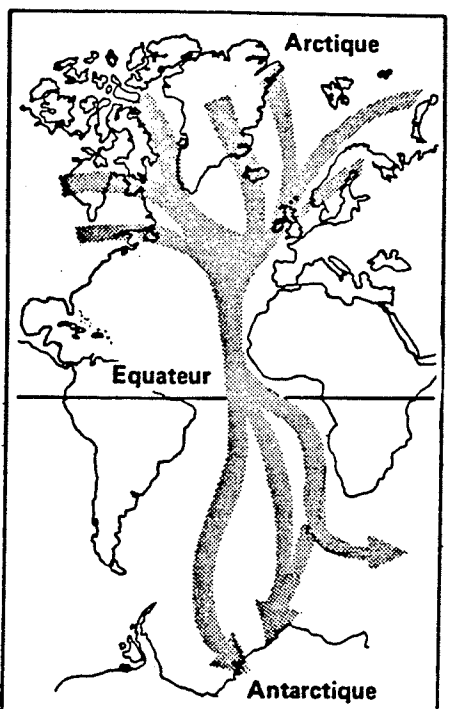
Figure 31: La route de migration du Pluvier doré



Avec l'aimable autorisation de Les Éditions HRW ltée.

Outre ces migrations d'envergure, plusieurs autres espèces canadiennes se déplacent, mais sur une distance plus limitée. Au Manitoba, une espèce de couleuvre parcourt une dizaine de kilomètres chaque automne pour se réfugier dans une caverne souterraine pendant l'hiver. Le wapiti et le cerf de Virginie émigrent vers leur aire d'hivernage traditionnelle. Le renard arctique et le harfang des neiges quittent la toundra pour se disperser plus au sud, lorsque les populations de lemmings, leur proie préférée, ont sérieusement diminuées. Si la migration offre à une espèce une aire d'hivernage beaucoup plus hospitalière, celle-ci ne se fait pas sans risque. Le loup et d'autres prédateurs suivent les hardes de caribous pendant leur trajet migratoire tuant les vieux et les infirmes. L'homme également les abat lorsqu'ils traversent les rivières et les lacs. Les oiseaux migrateurs sont aussi la proie des prédateurs et des chasseurs. En outre, lorsque le ciel est nuageux, certains oiseaux migrateurs peuvent s'écraser contre des bâtiments, des

Figure 32: La route de migration de la Sterne de l'Arctique



La sterne de l'Arctique, qui détient le record du monde pour la distance de ses migrations. Certaines sternes de l'Arctique peuvent parcourir jusqu'à 35 000 km par an et passer à peu près la moitié de leur vie entre l'endroit où elles nichent, au Groenland et dans d'autres régions de l'Arctique, et les régions glaciales en marge que l'Antarctique, riches en crustacés, où elles passent l'été dans l'hémisphère austral. Certaines choisissent un itinéraire différent, passant au-dessus du Pacifique.

tours, des pylônes et des fils électriques. Au cours des tempêtes il peut arriver que des bandes ou des volées entières d'oiseaux se perdent et périssent en pleine mer. Pendant la migration, l'oiseau peut être en contact avec de l'eau polluée, avec d'autres espèces malades, etc. Cependant, la migration et ses déboires permettent en général d'éliminer d'une espèce les plus faibles, les malades et les inadaptés. À long terme, l'espèce profite de cette période difficile.

## L'hibernation

Certaines espèces ont résolu le problème de l'hiver non pas en s'évadant de la région mais en hibernant tout simplement dans des endroits protégés du froid hivernal. Quoi qu'il en soit, la plupart des espèces qui hibernent ne sont pas typiques des régions boréales mais sont plutôt des résidents des régions tempérées. Même à l'intérieur des régions tempérées, il existe très peu d'animaux qui hibernent pour survivre pendant l'hiver.

L'hibernation est un terme qui est souvent utilisé de façon générale pour identifier n'importe quelle torpeur ou ralentissement de l'activité d'un animal. Cependant, la vraie hibernation désigne l'état dans lequel il y a un ralentissement significatif des fonctions vitales de l'animal telles que le rythme cardiaque, la respiration et le métabolisme en général. La petite chauve-souris brune, les souris sauteuses des champs, les spermophiles ou écureuils de terre et la marmotte sont des animaux manitobains qui hibernent pendant nos hivers rigoureux. Les chercheurs s'intéressent tout particulièrement à la marmotte, car elle est le plus gros mammifère à hiberner. Pendant l'hibernation, la marmotte tombe dans une sorte de profond sommeil comateux. Sa température peut descendre à un point légèrement supérieur au point de congélation, le rythme de sa respiration peut devenir extrêmement lent et son pouls peut passer de 80 pulsations, qui est son rythme normal, à seulement 4 ou 5 pulsations à la minute. Ses besoins énergétiques sont donc grandement réduits, et l'animal peut passer l'hiver grâce aux réserves de graisse accumulées.

\*\*\*Pouvez-vous expliquer pourquoi les chercheurs s'intéressent tout particulièrement à cet animal? Quelles seront les applications médicales de ce mécanisme à l'être humain?

Un autre groupe d'animaux entre dans une période de sommeil à l'approche de l'hiver. Toutefois, ce sommeil hivernal ne peut être qualifié de vraie hibernation, car les fonctions vitales ne se ralentissent pas autant. Ce groupe est constitué de l'ours, de la mouffette rayée, du raton

laveur, du suisse et du tamia, tous des animaux manitobains. L'ours, par exemple, subit une légère baisse de température qui passe de 38°C à 34°C pendant son sommeil hivernal. Cette inactivité relative permet à l'ours de passer l'hiver. En règle générale, ces animaux dépendent de la graisse accumulée dans leur corps au cours des mois d'été. Par contre, les suisses et les tamias n'accumulent pas de graisse et survivent grâce à leurs provisions de graines emmagasinées dans leur terrier. Ils doivent donc se réveiller périodiquement pour consommer une partie de leurs provisions de nourriture. Il se peut aussi que ces animaux se réveillent et sortent de leur abri pendant les belles journées d'hiver. Leur activité semble régie par la température ambiante.

Les deux groupes d'animaux étudiés auparavant ont un trait commun, ce sont tous des mammifères. Donc, leur température ne dépend pas étroitement de celle du milieu. En hiver, ils cherchent refuge dans les endroits protégés des froids les plus rigoureux, et lorsque le froid devient insupportable, ils se réveillent pour se réchauffer. Par contre, certains animaux n'ont pas de contrôle sur leur température qui reflète celle du milieu. Les reptiles, les amphibiens, les poissons et les invertébrés sont appelés poïkilothermes, c'est-à-dire que ce sont des animaux «à sang froid» dont la température interne varie avec celle du milieu. Ces poïkilothermes doivent éviter à tout prix les régions aux températures glaciales.

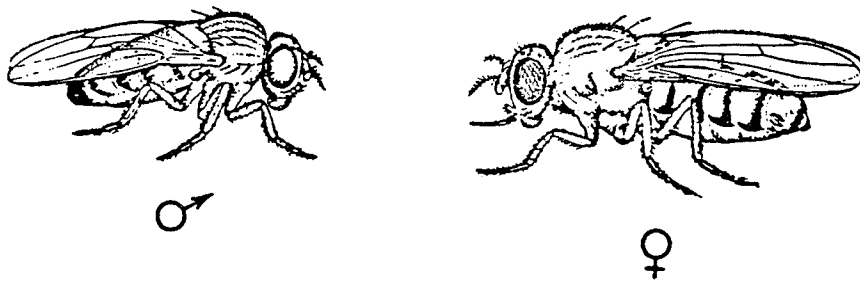
Les amphibiens et les reptiles sont beaucoup moins communs dans les régions septentrionales telles que la toundra et la taïga. Il est évident que l'hiver ne les encourage pas à y vivre. Néanmoins, un bon nombre d'espèces y habitent en hibernant dans la vase au fond d'un étang ou d'un marais où elles passent l'hiver dans un état semblable à celui de l'hibernation. Avec la venue du printemps, elles sortent de leur torpeur et reprennent leurs activités normales.

La couleuvre rayée («Red-sided Garter Snake»/*Thamnophis sirtalis parietalis*) s'est répandue plus au nord que n'importe quel autre reptile. Les cavernes souterraines situées dans la région entre-les-lacs du Manitoba servent d'abri hivernal à un grand nombre de ces couleuvres rayées. Des milliers de couleuvres rayées peuvent s'entasser dans ces refuges. À l'intérieur des cavernes, les couleuvres sont protégées des grands froids. Cependant, leur température peut baisser jusqu'au point de congélation. Certains chercheurs pensent que les couleuvres rayées peuvent prévenir la congélation des tissus même à une température inférieure au point de congélation. Cette adaptation n'est pas unique aux couleuvres. Plusieurs espèces d'insectes peuvent hiverner dans un état semblable à celui des couleuvres. Ils se réfugient dans l'humus qui se trouve sous la couche de neige, dans les crevasses de l'écorce des arbres et des bâtiments, ou dans les galles et les cocons, et passent l'hiver dans une torpeur profonde.

### ACTIVITÉ 16: Comportement de la drosophile par rapport à la température

Plusieurs invertébrés ont la capacité de prévenir la congélation de leurs tissus en réduisant le montant d'eau dans leur corps. D'autres modifient la composition de leurs protéines pour les lier avec l'eau prévenant ainsi la congélation. Certains produisent du glycérol, un antigel naturel, pour prévenir le gel. Néanmoins, tous ces invertébrés subissent un ralentissement général pendant les périodes froides. Au cours de cette expérience, vous étudierez le comportement de *Drosophila melanogaster* ou, la mouche à fruits ordinaire, par rapport à la température ambiante.

Figure 33: *Drosophila melanogaster*, la Mouche à fruits. Remarquez que le mâle (à gauche) est plus petit et que son extrémité postérieure est plus noire et plus arrondie que celle de la femelle.



Avec l'aimable autorisation de Les Éditions HRW ltée.

- Mettez plusieurs mouches à fruits dans une fiole et fermez-la avec un bouchon de liège dans lequel on a inséré un thermomètre.
- Mesurez la température, comptez et écrivez le nombre d'atterrissages effectués pendant une période de cinq minutes.
- Faites deux autres essais à la même température et calculez la moyenne.
- Utilisez un bain glacé afin de réduire la température ambiante de 5°C. Comptez et écrivez de nouveau le nombre d'atterrissages.

- Continuez à réduire la température jusqu'à environ 3 à 5°C au-dessus du point de congélation et continuez à compter les atterrissages.
  - Construisez un graphique comparant l'activité de la mouche à fruits, c'est-à-dire le nombre d'atterrissages dans une période déterminée, par rapport à la température ambiante.
  - Faites le bilan des résultats de toute la classe. Calculez la moyenne pour chaque température.
1. Comparez vos propres résultats à ceux de la classe entière? Comment expliquez-vous les différences, s'il y en a?
  - \*\*\*2. Est-ce que la composition sexuelle du groupe de mouches influencera l'expérience à une température donnée?
  - \*\*\*3. Certaines espèces d'invertébrés peuvent s'acclimater, c'est-à-dire s'habituer à un nouveau régime de température, à condition d'y être graduellement exposées. Est-ce que la mouche à fruits possède une telle capacité d'acclimatation? Préparez une expérience qui permettra de vérifier si elle possède cette capacité.
  - \*\*\*4. Certaines espèces d'invertébrés ne peuvent survivre pendant l'hiver à l'état adulte. Par contre, ils peuvent passer l'hiver à l'état d'oeuf comme certains ou à l'état de larve comme d'autres. Est-ce que les stades de développement de la drosophile, c'est-à-dire l'oeuf, la larve, la nymphe ou la pupe s'acclimatent mieux au froid? Est-ce que l'oeuf peut survivre à la congélation? Préparez une expérience qui vous permettra de répondre à ces questions.

#### ACTIVITÉ 17: L'hibernation et le métabolisme

Le taux du métabolisme varie selon l'activité. L'ensemble des réactions chimiques d'un organisme constitue le métabolisme. Le taux du métabolisme augmente lorsqu'il y a exercice et diminue avec la torpeur. Il est possible de déterminer le métabolisme en mesurant la quantité d'oxygène consommée durant une période de temps donnée. L'exposition au froid est un facteur qui modifie le métabolisme. Mais de quelle façon est-il modifié? Dans l'expérience suivante, vous allez comparer les variations du métabolisme en fonction du froid chez deux mammifères distincts: un qui a la capacité de vraiment hiberner: le hamster; l'autre, la souris blanche, qui n'est pas du tout capable d'effectuer l'hibernation.

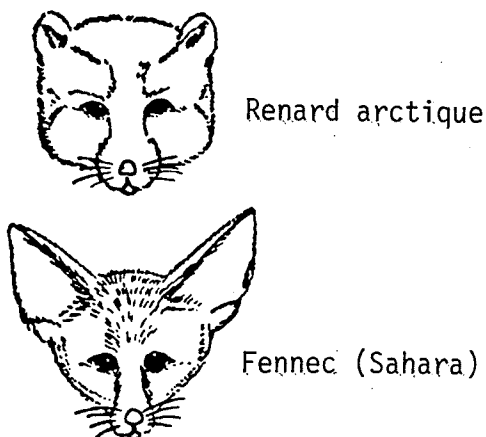
- Construisez une chambre respiratoire en verre afin d'être capable de mesurer la quantité d'oxygène consommée. Insérez un thermomètre afin d'enregistrer la température intérieure.
- Placez un des deux mammifères à l'intérieur de la chambre.
- Notez la température ambiante normale et déterminez la quantité d'oxygène consommée au cours d'une période de dix minutes. Observez le comportement de l'animal pendant ce temps-là.

- En utilisant un bain glacé, réduisez la température de la chambre respiratoire de 5°C, mesurez de nouveau et écrivez la quantité d'oxygène consommée.
  - Réduisez encore la température de 5°C et effectuez les mêmes mesures.
  - Répétez l'expérience avec l'autre mammifère.
  - Construisez un graphique comparant la consommation d'oxygène par rapport à la température pour les deux animaux.
1. Que signifie ce graphique? Comparez le métabolisme de ces deux animaux.
  2. Comparez le comportement des mammifères pendant la durée de la période de froid?
  3. Quel avantage possède un animal dont le métabolisme peut se réduire pendant l'hibernation?
  4. Pourquoi une réduction du métabolisme humain est-elle bénéfique au cours de certains types d'interventions chirurgicales?

#### ACTIVITÉ 18: Étude du pelage en tant qu'isolant

L'évolution a donné aux espèces boréales des moyens d'adaptation leur permettant ainsi de survivre aux grands froids. Certaines de ces adaptations se sont faites au niveau des moeurs de la population entière, d'autres au niveau du comportement de l'individu. D'autres encore ont affecté la forme corporelle de l'espèce et sa physiologie, c'est-à-dire son fonctionnement. On constate que les espèces boréales sont généralement de taille plus grande que leurs congénères du Sud, et que leurs extrémités (museau, queue, pattes et oreilles) sont plus petites.

Figure 34



L'illustration ci-contre montre les variations de la taille des oreilles et du museau chez les renards arctiques et sahariens. Ces adaptations effectivement réduisent la perte de chaleur.

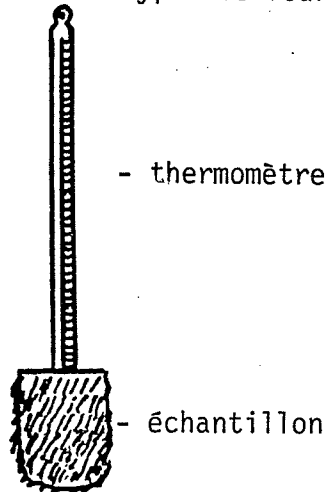
L'isolation du corps de l'animal contre le froid est probablement l'adaptation la plus frappante en milieu boréal. Le pelage des mammifères terrestres, la graisse des mammifères marins et le plumage des oiseaux sont tous des isolants qui réduisent la perte de chaleur corporelle en milieu froid.



L'expérience suivante vous permettra de comparer la valeur isolante de divers échantillons de fourrure.

- Munissez-vous de plusieurs échantillons de fourrure (vieux manteaux de fourrure, fourrures de rebut chez un fourreur).
- Étiquetez chaque échantillon. Pour chacun, mesurez l'épaisseur de la fourrure, la longueur et le diamètre des poils. Tentez d'identifier l'espèce.
- Allez dehors et mesurez la température ambiante à l'aide d'un thermomètre. Notez-la.
- Enveloppez l'ampoule d'un thermomètre avec un échantillon de fourrure. Allez dehors et mesurez la température de l'ensemble. Comparez-la à la température ambiante. Notez la différence de température.

Figure 35: Un appareil servant à mesurer la valeur isolante des différents types de fourrure



- Répétez le même procédé avec les autres échantillons de fourrure.
- Analysez les différences de température en fonction des données recueillies sur des échantillons.

Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

1. Est-ce que l'épaisseur de la fourrure est un indice significatif de la valeur isolante de la fourrure? Est-ce que c'est le seul indice?
2. Quelles sont les faiblesses du procédé utilisé? Comment pourrait-on améliorer ce procédé?
- \*\*\*3. Pourquoi le duvet est-il considéré comme étant une excellente matière isolante? Comparez la structure fine du duvet aux autres types de plumage? Faites une étude microscopique des différents types de plumage. Faites une étude de la valeur isolante de différents types de plumage.

#### ACTIVITÉ 19: Où les invertébrés passent-ils l'hiver?

La plupart des invertébrés ne sont pas visibles pendant l'hiver. Où sont-ils pendant cette période difficile? Cette activité vous donnera un aperçu de leur mode de vie hivernale.

##### Partie A: Les cocons

Les larves du papillon et de la noctuelle, c'est-à-dire du papillon de nuit, atteignent le stade de nymphe, nommé

chrysalide, avant l'hiver auquel l'insecte à l'état adulte ne peut survivre à cause du froid. À l'intérieur d'un cocon ou enveloppe, l'insecte se transformera en adulte au printemps suivant.

- Recueillez des cocons trouvés dehors sur les arbres et les bâtiments.
- Placez-les dans un réfrigérateur afin de les conserver.
- Préparez une expérience afin de déterminer le taux d'éclosion du cocon par rapport à différentes variables telles que la température et l'humidité.

### Partie B: Les galles

Certaines espèces d'invertébrés parasites, surtout des insectes, percent les tiges, les branches et les feuilles des arbres, des arbustes et des plantes pour y déposer leurs oeufs. La piqûre peut provoquer une croissance végétale anormale ayant une forme caractéristique selon le type d'invertébré et de plante. La plupart des galles sont formées

Figure 36: Une galle sur un chêne



Figure 37: Une galle sur un saule



Avec l'aimable autorisation de I. Bayly, Carleton University.

au printemps ou en été et le parasite la quitte généralement avant l'hiver. Par contre, certaines sont occupées pendant l'hiver par l'organisme.

- Dans une région donnée, ramassez des galles sur les arbres et sur les plantes. Faites le croquis de chaque galle différente et essayez d'identifier la plante. Énumérez les différents types de galles.

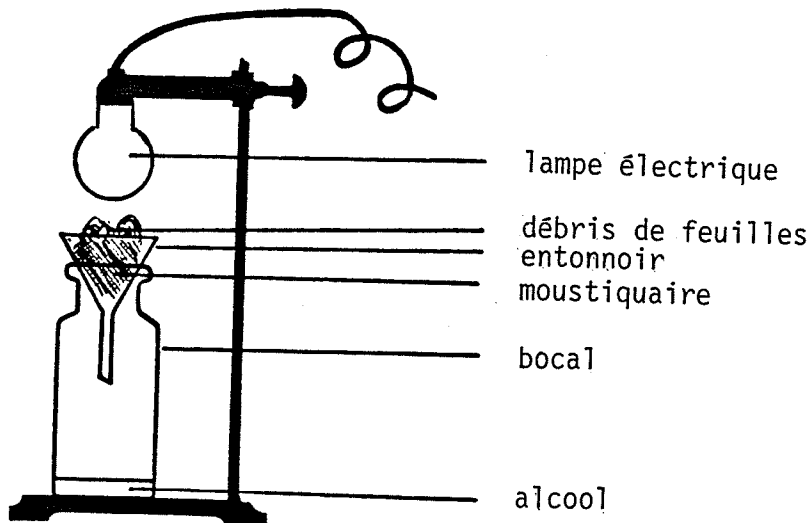
- Avec une lame, coupez la galle en deux morceaux à une distance du centre pour ne pas tuer la parasite s'il est encore présent. Essayez d'identifier le parasite.
- Placez quelques galles dans un bocal et mettez-le dans un endroit chaud et humide. Observez-les de façon régulière afin de noter quelle espèce d'invertébré sort de la galle.

#### Partie C: Emploi de l'entonnoir Berlese

Certains insectes passent l'hiver en état de torpeur, cachés dans les gerçures des troncs d'arbres ou dans les débris des feuilles au sol.

- Prélevez un échantillon de débris de feuilles situés sous la couverture de neige. Déposez-le dans un sac en plastique et rappez-le au laboratoire.
- Montez l'appareil illustré ci-dessous. Cet appareil est appelé un «entonnoir Berlese» et porte le nom de son inventeur: le savant Antonio Berlese.

Figure 38: L'entonnoir Berlese



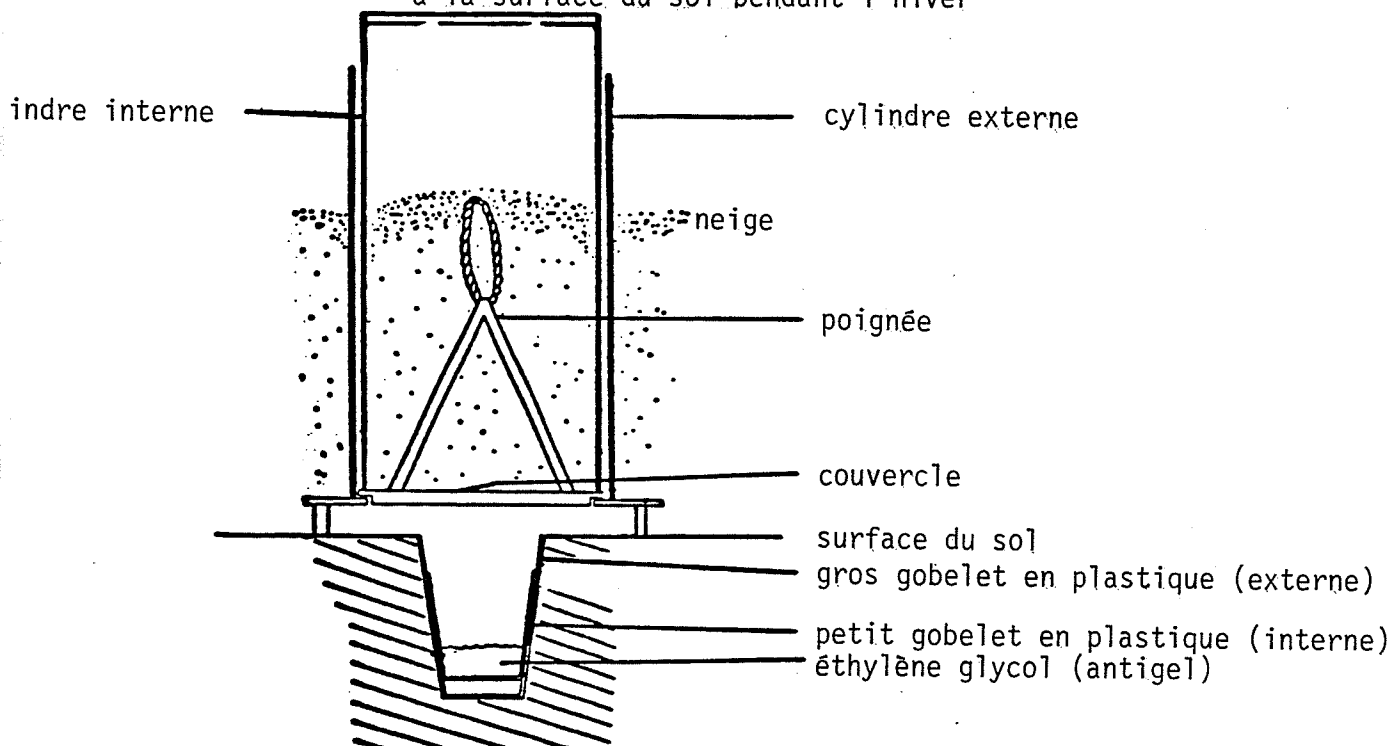
- Déposez une quantité de débris dans l'entonnoir et allumez la lampe.
- Après une période d'au moins 24 heures, prélevez avec l'aide d'un compte-gouttes un échantillon du contenu du bocal. Au microscope, examinez les organismes présents dans une goutte. Identifiez les différentes espèces d'invertébrés.

- Versez le contenu du bocal dans un entonnoir dans lequel un papier-filtre a été installé. Avec une loupe, examinez les invertébrés filtrés. Identifiez et comptez les différentes espèces.
- Prélevez un échantillon du sol provenant de la couche supérieure juste au-dessous des débris de feuilles. Suivez le même procédé pour extraire les invertébrés.
- Trouvez un nid d'oiseaux abandonné. Déchiquetez-le et procédez de la même façon pour extraire les invertébrés.

#### ACTIVITÉ 20: Emploi d'une trappe à chute

L'entonnoir Berlese nous permet de déterminer quelles sont les espèces d'invertébrés présentes en milieu hivernal. Par contre, ce procédé ne nous permet pas de savoir quels sont les invertébrés qui sont actifs pendant cette période difficile. Apparemment certains invertébrés sont actifs sous la couche de neige pendant toute la durée de l'hiver. D'autres sont actifs pendant une bonne partie de l'hiver, ne devenant torpides que pendant les périodes les plus rigoureuses. Il est possible de déterminer la composition de la population d'invertébrés de façon continue pendant toute la durée de l'hiver. Le procédé employé est celui de la trappe à chute, il s'agit d'un contenant placé de façon à ce que son rebord soit à la surface du sol, sous la couche de neige. La figure suivante nous montre cet appareil.

Figure 39: Une trappe à chute servant à la capture d'invertébrés à la surface du sol pendant l'hiver



Tirée de «Winter-active Spiders and Insects» par C. W. Aitchison, *Manitoba Nature*, 1977. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.

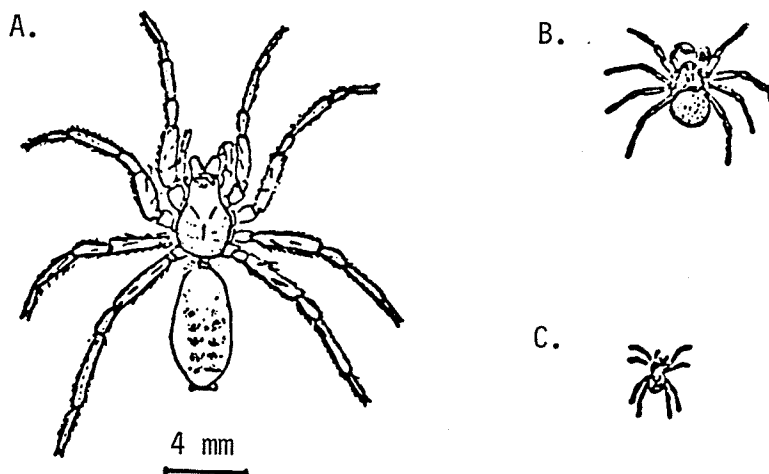
La partie supérieure de l'appareil se compose de deux cylindres: l'un est fixé sur une feuille de bois contre-plaqué placée sur des petits blocs, l'autre est situé à l'intérieur et est fixé à un couvercle. Ce couvercle recouvre un trou fait dans le contre-plaqué et rendant ainsi le gobelet facilement accessible. Ce système empêche l'accumulation de neige dans le gobelet, maintient un régime de température normal puisque le cylindre interne contient de la neige, et finalement permet aux petits invertébrés d'entrer facilement dans la trappe à chute.

La partie inférieure de l'appareil se compose de deux gobelets, placés l'un dans l'autre. Le gobelet externe est situé dans le sol et son rebord est juste à la surface du sol. Le gobelet mobile est placé à l'intérieur et contient de l'éthylène glycol pour tuer les invertébrés.

- Construisez l'appareil et placez-le dans un endroit où il ne risque pas d'être dérangé.
- Toutes les semaines, de la première neige jusqu'à sa fonte, rappez le contenu du bocal au laboratoire et remplacez-le avec de l'éthylène glycol frais.
- Avec l'aide d'une loupe, identifiez et comptez les espèces d'invertébrés.

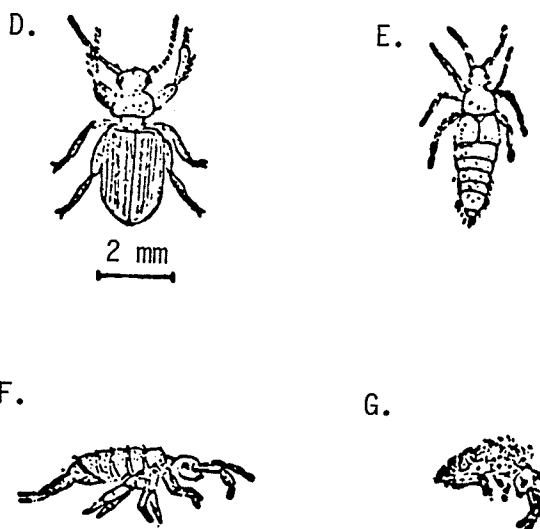
Les illustrations suivantes montrent quelques-uns des invertébrés actifs pendant l'hiver.

Figure 40: Des arachnides (A-C): A. araignée, *Agroeca praetensis*; B. araignée, *Ceresticelus laetus*; C. mite, *Rhagidia* sp.



Tirée de «Winter-active Spiders and Insects» par C. W. Aitchison, *Manitoba Nature*, 1977. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.

Figure 41: Des insectes (D-G): D. coléoptère, *Trichocellus cognatus*; E. coléoptère, *Atheta* sp.; F. podure, *Isotoma* sp.; et G. podure, *Orchesella ainslei*



Tirée de «Winter-active Spiders and Insects» par C. W. Aitchison, *Manitoba Nature*, 1977. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.

1. Quelles espèces sont présentes pendant toute la durée de l'hiver?
2. À quel moment au cours de l'hiver est-ce que chaque espèce est particulièrement abondante?
3. Lorsqu'une espèce n'est pas abondante que lui arrive-t-elle?

# LE COMPORTEMENT DES ANIMAUX FACE A LA NEIGE

258

Formozov, un russe, est reconnu par plusieurs biologistes comme étant le père de l'écologie boréale. Formozov a étudié minutieusement le comportement des animaux pendant l'hiver. D'après lui, on peut les classer d'après leur réaction écologique à la neige. Les chionophobes comprennent les espèces qui n'habitent pas les régions enneigées ou qui évitent à tout prix la neige. Le mot «chionophobe» vient du grec et signifie: peur ou aversion instinctive («phobe») de la neige («chion»). Ce groupe d'animaux comprend entre autres: l'antilope d'Amérique, le dindon sauvage, l'opossum, l'antilope des steppes, les petits chats et la majorité des petits oiseaux terrestres. La plupart de ces espèces évitent donc la neige en quittant la région à l'approche de l'hiver.

Les chioneuphores comprennent les espèces d'animaux qui peuvent tolérer une accumulation considérable de neige pendant l'hiver. Par contre, ils ne possèdent pas d'adaptation spécifique à la neige. L'orignal, le glouton, le loup, le renard, la loutre, la belette, la martre, le vison, l'écureuil roux, ainsi que plusieurs espèces de petits rongeurs tels que le campagnol, la taupe et la musaraigne sont tous des mammifères manitobains appartenant à ce groupe. Il n'existe pas de démarcations claires et nettes entre les différents groupes appartenant à la classification de Formozov. On remarque plutôt une gradation de types d'un extrême à l'autre. En opposition au groupe des chionophobes, Formozov a identifié des espèces bien adaptées à la neige. Ce groupe est désigné sous le nom de chionophile, c'est-à-dire «amoureux de la neige».

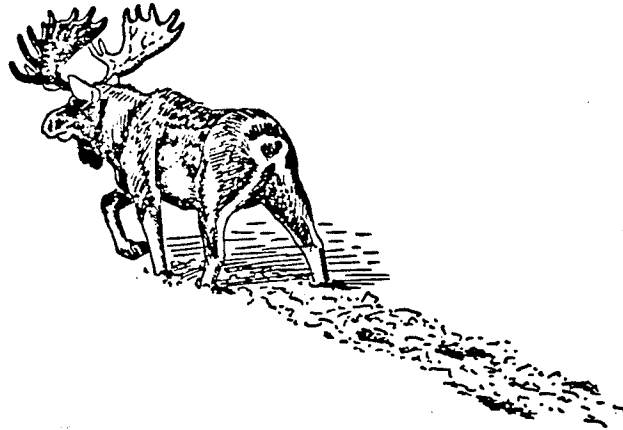
Les chionophiles possèdent généralement des adaptations caractéristiques telles qu'une coloration blanche, une modification de la plante des pieds, etc.. La neige a certainement été un facteur important dans l'évolution de ces espèces. Les chionophiles regroupent les lagopèdes des rochers et des saules, le lièvre d'Amérique, le renard arctique, le lemming et le lynx du Canada. L'aire de répartition de ces espèces est presque entièrement à l'intérieur des régions caractérisées par un hiver long et rigoureux.

## Les chioneuphores

L'aire de répartition de l'orignal s'étend au nord jusqu'à la toundra. Les endroits récemment ravagés par les incendies de forêt constituent son habitat préféré. L'orignal a les

pattes longues et fines se terminant en sabots fendus. Ceux-ci lui permettent de se déplacer facilement dans la neige. Lorsqu'il court, l'orignal lève la patte au-dessus de la surface de la neige; il dépense ainsi moins d'énergie que s'il traînait les pattes dans la neige.

Figure 42: L'orignal

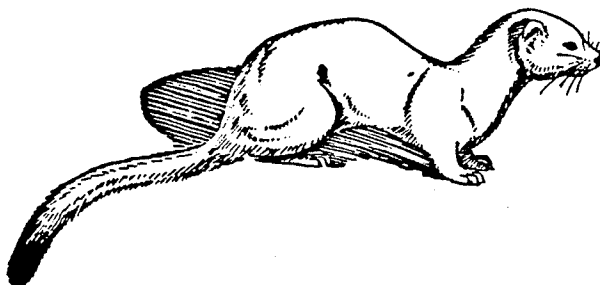


Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie. ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

Pourtant, dès que l'épaisseur de la neige dépasse un mètre, ses pattes longues ne sont plus efficaces, il pourrait donc émigrer vers des régions où la couche de neige est plus mince; il pourrait aussi commencer à entasser la neige en sentiers battus afin de faciliter son déplacement.

La plupart des animaux de la famille des mustélidés, y compris les belettes, les visons, les loutres, les hermines, les martres et les gloutons sont très actifs pendant l'hiver. Ces animaux prédateurs ont les pattes courtes par rapport à leur corps. Ils se déplacent dans la neige épaisse en bondissant d'un endroit à l'autre. Les belettes, les visons, les hermines et les martres ont aussi l'habitude de disparaître sous la couche de neige pour réapparaître de nouveau plus loin,

Figure 43: L'hermine



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie. ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.



ce qui leur permet de s'échapper lorsqu'ils sont poursuivis, ou même de parcourir sous la neige des distances considérables pour explorer et trouver de quoi manger.

Figure 44: L'hermine



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
 ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de  
 Houghton Mifflin Company.

Lorsque la neige est très épaisse, la martre peut aussi se déplacer dans les arbres sur une très grande distance. Par contre, si les conifères sont recouverts par du qali, la martre est obligée de se déplacer par terre.

Le glouton appelé aussi «goulu», «carcajou» et «gulo» se déplace difficilement dans la neige épaisse. Pendant l'hiver, il se nourrit principalement de charogne, mais étant opportuniste, il mangera presque n'importe quelle proie. Il visite les pièges de trappeur pour dévorer l'animal pris. Il poursuit le lynx pour lui voler sa proie. Vers la fin de l'hiver, la neige se recouvre d'une croûte dure, due au cycle

Figure 45: Le glouton

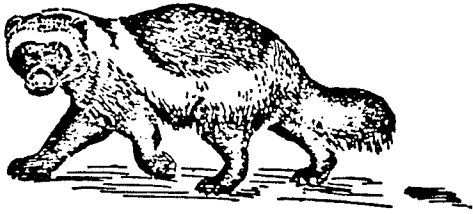


Figure 46: La piste du glouton

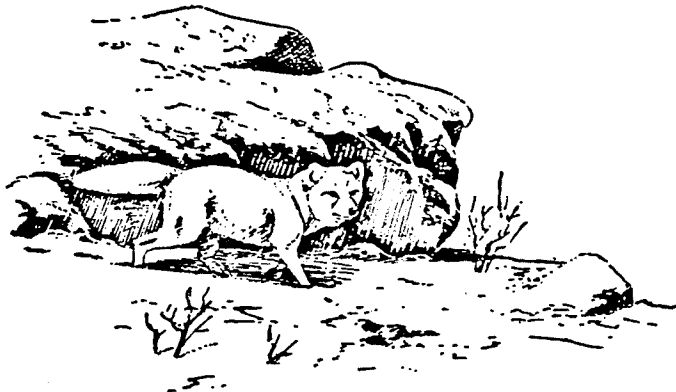


Tirées de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
© 1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la  
Houghton Mifflin Company.

de dégel-regel. Puisque la croûte de neige soutient son poids mais se brise sous le pas du gros gibier, le glouton devient alors excellent chasseur.

D'autres chioneuphores tels que le loup, le renard et le cerf de Virginie se déplacent de façon continue pendant l'hiver. À mesure que la couche de neige s'épaissit, le cerf recherche des endroits pour s'abriter des tempêtes et des amoncellements de neige, tout en y trouvant de quoi se nourrir. Lorsque la couche de neige atteint plus de 0,5 mètre l'animal a beaucoup de peine à se déplacer et tend à emprunter les sentiers battus. Le loup évite les forêts après une chute abondante de neige préférant au lieu les champs, les clairières et les routes où le vent balaye et entasse la neige. Comme le loup, le renard arctique est inadapté aux milieux de neige folle ou épaisse.

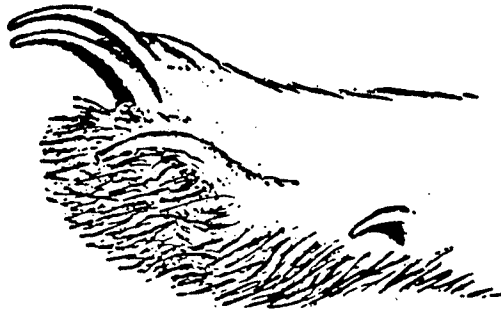
Figure 47: Le renard arctique



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
© 1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la  
Houghton Mifflin Company.

Néanmoins, le renard arctique est remarquablement bien adapté au milieu arctique: sa forme compacte du corps, son museau court et ses oreilles petites, arrondies et bien recouvertes de fourrure, réduisent au minimum les pertes de chaleur des extrémités de son corps. Son pelage blanc ou bleu est très épais, composé de poils très fins. Même la plante de ses pieds est recouverte de fourrure. L'animal cherche rarement un abri, sauf pendant les grosses tempêtes où il creuse alors un trou dans un banc de neige. Sa proie préférée est le lemming qu'il capture en creusant dans la neige. L'animal développe des griffes d'hiver sur ses pieds antérieurs pour creuser dans la neige dure de la toundra.\*

Figure 48: Les griffes hivernales du renard arctique



Tirée de *Snow Cover as an Integral Factor in the Environment and Its Importance in the Ecology of Mammals and Birds* par A. N. Formozov. Avec l'aimable autorisation de Boreal Institute for Northern Studies, U. of Alta.

Un deuxième groupe de chioneuphores est moins visible pendant l'hiver car les animaux qui y appartiennent sont actifs plutôt sous la couche de neige, ils montent périodiquement à la surface, mais ils risquent de geler ou d'être mangés. Ce groupe comprend les petits rongeurs tels que les campagnols, les taupes et les musaraignes. Leur petite taille exige qu'ils s'abritent des températures froides de l'hiver. Même lorsque la température ambiante atteint  $-50^{\circ}\text{C}$ , la température qui règne sous une épaisse couche de neige peut encore être proche du point de congélation. Ils sont ainsi protégés sous la couche de neige du froid glacial et des prédateurs. Ces petits mammifères hivernent dans un réseau de tunnel creusé dans la neige. Les campagnols peuvent même continuer à se reproduire pendant l'hiver, ce qui leur permet de mettre bas jusqu'à 17 portées annuellement.

---

\*Passages reproduits avec l'aimable autorisation du Service canadien de la faune. © Ministère des Approvisionnements et Services, Ottawa, 1977.

L'existence de ces petits mammifères vivant sous la neige est signalée par la présence de puits d'aérage à sa surface. Le carbone de bioxyde s'accumule sous la neige obligeant les campagnols à creuser des puits d'aérage jusqu'à la surface pour dissiper ce gaz nocif. Au cours de l'hiver, ils doivent dégager ces puits après chaque chute de neige. C'est à ce

## PEANUTS



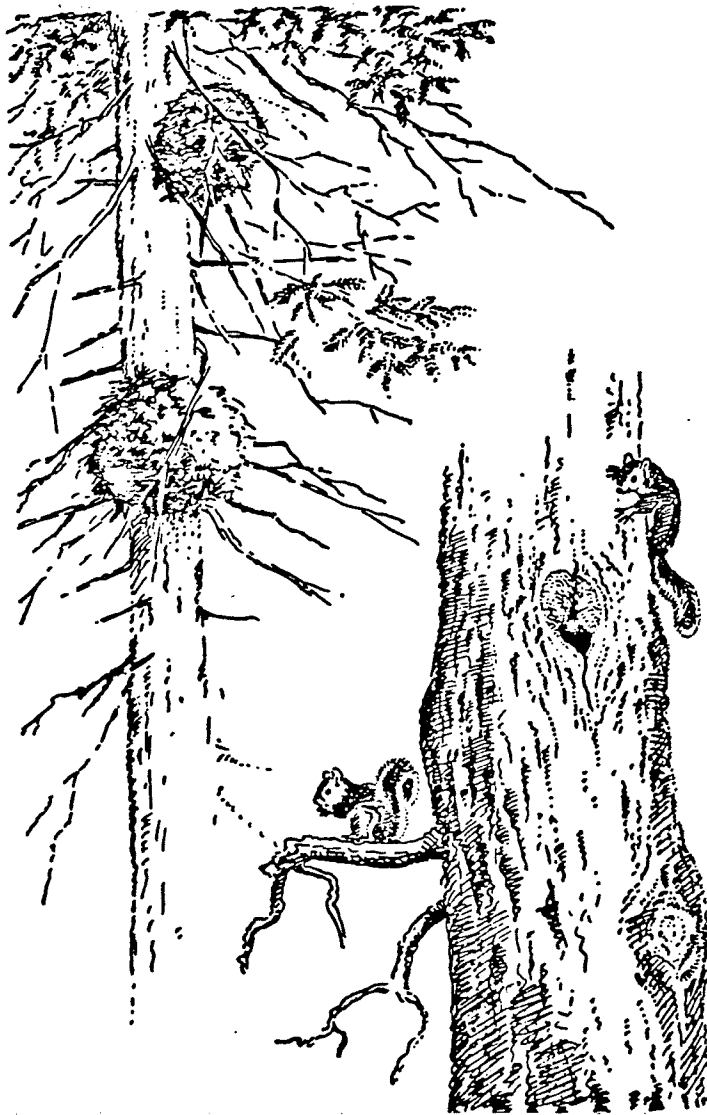
moment-là qu'ils sont très vulnérables aux espèces prédatrices comme le renard ou les oiseaux rapaces: le grand duc et l'harfang des neiges. Certains prédateurs dépendent étroitement de ces petits rongeurs afin de survivre pendant l'hiver.

Plusieurs espèces d'oiseaux pourraient faire partie du groupe des chioneuphores. La gélinothe huppée, la famille des fringillidés (incluant les gros-becs, les becs-croisés et les sizerins), le harfang des neiges et le grand duc sont tous des espèces qui hivernent au Manitoba. Ce n'est pas le froid qui semble dicter ce comportement, mais plutôt le fait qu'ils sont tous capables de se nourrir en dépit de la couche de neige recouvrant le sol. La gélinothe huppée appelée communément «perdrix» passe toute sa vie sur un territoire de quelques hectares. Pendant l'hiver elle se nourrit principalement de bourgeons, mais elle peut aussi bien manger des brindilles. En hiver, on remarque sa présence aux abris de repos creusés dans la neige.

Le harfang des neiges se reproduit dans la toundra arctique. Cet oiseau est bien protégé des rafales de l'hiver. Son épaisse couche de duvet, située près de la peau, est recouverte de plumes légères et abondantes. Même ses pattes et ses orteils en sont recouverts. Le harfang des neiges se nourrit de lièvres arctiques et de lagopèdes, mais son mets favori est le lemming. Lorsque ses proies n'abondent pas dans la toundra, il émigre au sud jusque dans les régions agricoles. C'est à ce moment-là que l'on peut l'observer dans le sud de la province.

L'activité de certains chioneuphores semble régie par la température. L'écureuil roux, loin de disparaître en hiver, reste assez actif pendant cette période. Les écureuils utilisent volontiers les cavités des vieux arbres comme nids d'hiver ou comme cachettes. Lorsqu'elles ne sont pas disponibles, ils remettent en état leurs nids d'été faits de branches, de brindilles, de feuilles et d'écorce. Ils peuvent aussi nicher sous la neige, dans des souches ou même sous leur monceau d'écaillés. Dans les régions urbaines on retrouve

Figure 49: Les nids de l'écureuil roux



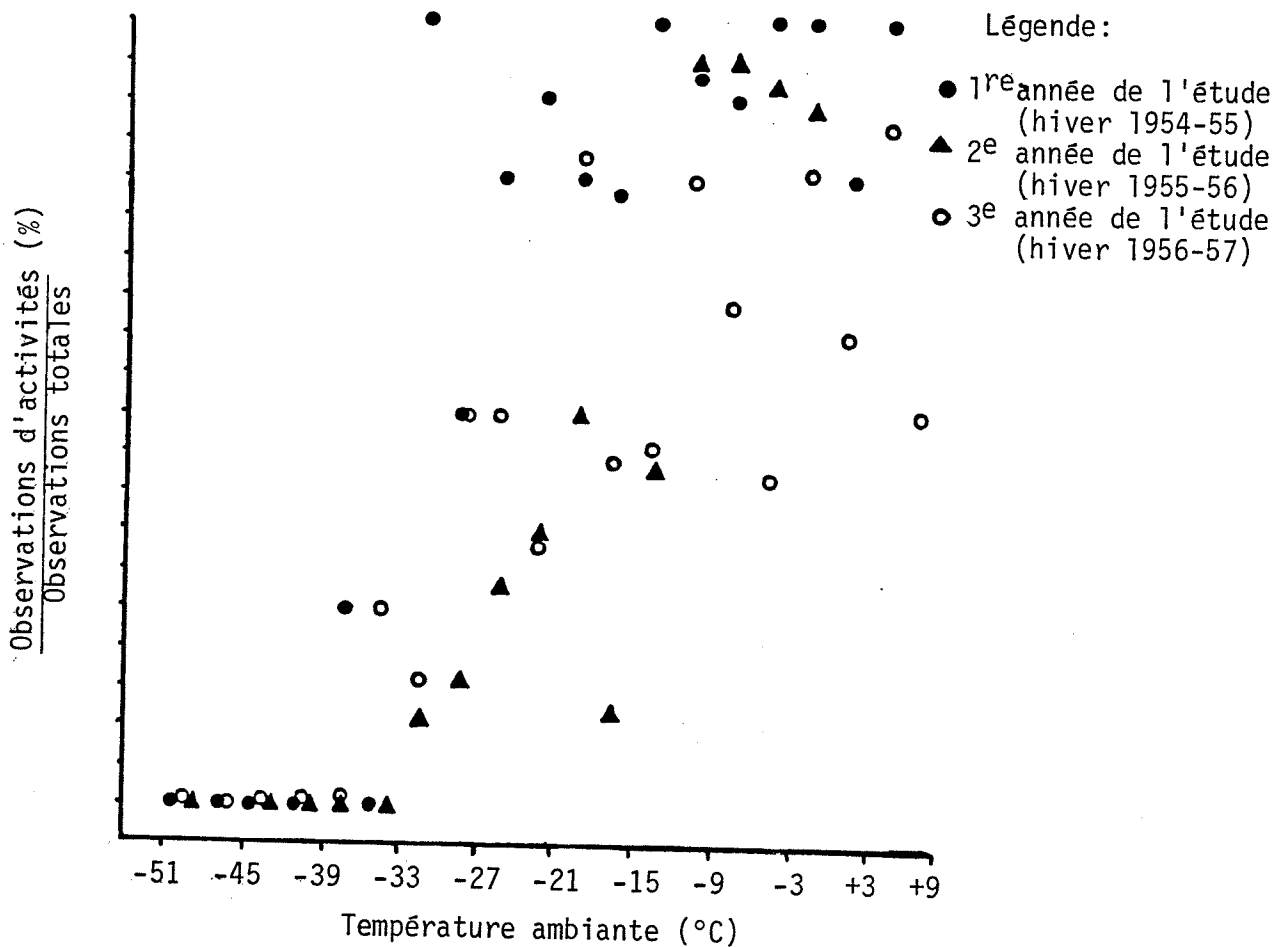
Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
© 1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la  
Houghton Mifflin Company.

l'écureuil gris qui a plus ou moins les mêmes moeurs que l'écureuil roux, son confrère des forêts.\*

\*\*\*Comment l'activité hivernale de l'écureuil roux est-elle régie par la température?

Le graphique ci-contre résume les observations faites sur l'activité de l'écureuil roux en Alaska pendant trois hivers consécutifs. Interprétez ce graphique.

Figure 50: Graphique comparant l'activité de l'écureuil par rapport à la température ambiante



Avec l'aimable autorisation de *Journal of Mammalogy*.

\*Passages reproduits avec l'aimable autorisation de Québec Science. Texte de Pierre Richard, *Les détectives de la neige*, février 1980.

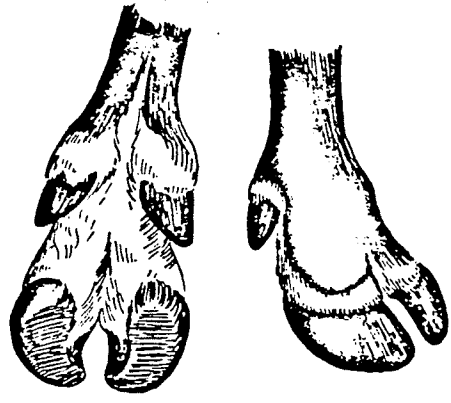
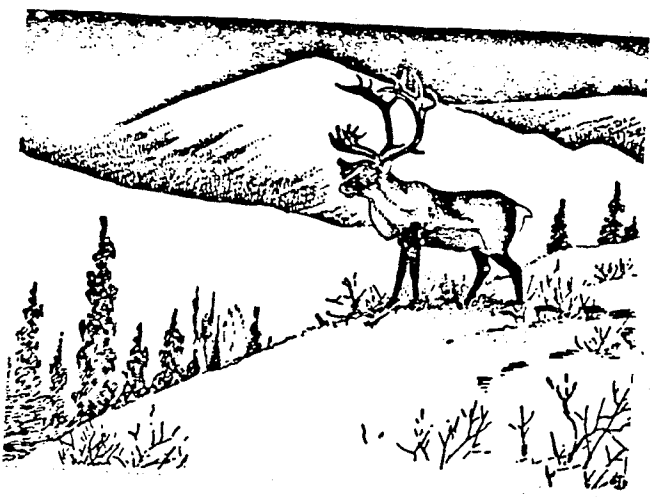
# Les chionophiles

Les animaux appartenant à ce groupe sont munis d'adaptations leur permettant de vivre dans les régions enneigées. Leur répartition est effectivement limitée à ces régions.

Le caribou des toundras hiverne dans la forêt boréale après avoir passé l'été dans la toundra. Il a de larges sabots fendus qui peuvent s'évaser dans la neige, agissant comme des raquettes. Ses larges sabots lui permettent aussi de fouiller la neige pour atteindre les lichens. Le caribou a l'odorat très développé,

Figure 51: Le caribou

Figure 52: Les sabots du caribou



Tirées de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie. ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

il peut donc facilement repérer les lichens cachés sous la couche épaisse de neige. L'aire d'hivernage des caribous est trouée de nombreuses fosses de broutage creusées par les animaux en quête de lichens. Des chercheurs canadiens ont établi que la répartition des caribous dans leurs aires d'hivernage est régie par les conditions de la neige telles que l'épaisseur, la densité et la dureté. Dès que le niveau critique d'un de ces facteurs est dépassé, l'animal émigre vers des endroits plus hospitaliers.\*

Le lièvre d'Amérique a les pieds postérieurs bien développés et couverts d'une épaisse fourrure, lui permettant de se déplacer facilement sur la neige. Si la neige n'a pas la dureté et la

\*Passages reproduits avec l'aimable autorisation du Service canadien de la faune.

Figure 53: Le lièvre  
d'Amérique

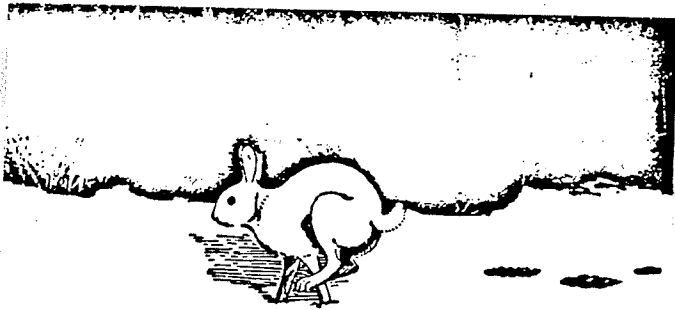


Figure 54: La plante du pied  
postérieur du lièvre  
d'Amérique

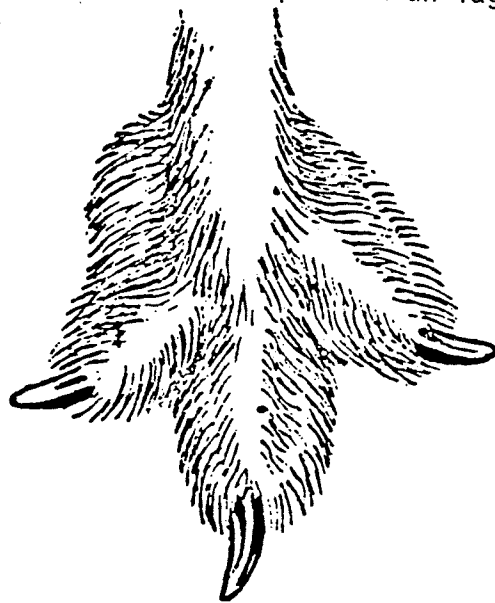


Tirées de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la  
Houghton Mifflin Company.

densité requises, le lièvre commence à entasser la neige en  
piste. Cet habitant de la forêt boréale se nourrit de brin-  
dilles, de bourgeons et d'écorce pendant l'hiver.

Le lagopède des rochers et le lagopède des saules ont  
les doigts des pieds emplumés, ce qui leur permet de marcher  
plus facilement dans la neige folle. Pendant l'hiver, ces

Figure 55: Le pied emplumé d'un lagopède

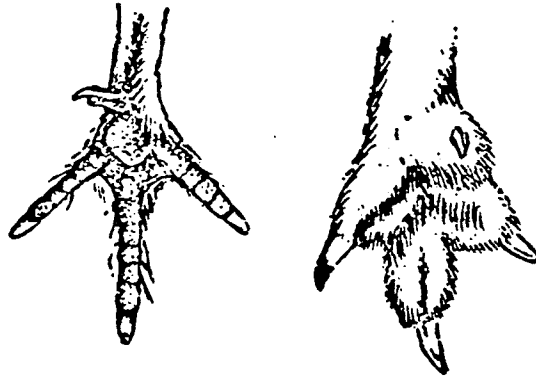


Tirée de *Snow Cover as an Integral Factor in the Environment  
and Its Importance in the Ecology of Mammals and Birds* par  
A. N. Formozov. Avec l'aimable autorisation de Boreal Institute  
for Northern Studies, U. of Alta.



Lagopèdes ont le plumage blanc, ce qui s'harmonise bien avec le milieu hivernal. La figure suivante montre la plante du pied du lagopède avant et après la mue au printemps. Pendant l'hiver,

Figure 56: Le pied du lagopède avant et après la mue au printemps



Tirée de *Snow Cover as an Integral Factor in the Environment and Its Importance in the Ecology of Mammals and Birds* par A. N. Formozov. Avec l'aimable autorisation de Boreal Institute for Northern Studies, U. of Alta.

Les lagopèdes se nourrissent de bourgeons. L'épaisseur de la neige détermine quels aliments sont disponibles et à quel endroit. Le lagopède des rochers préfère de temps à autre creuser dans la neige peu profonde ou même fouiller dans les fosses de broutage abandonnées par le caribou pour trouver sa nourriture.

Le lynx du Canada est bien adapté au milieu boréal. Bien qu'il ait l'aspect d'un gros animal, il n'est pas plus gros qu'un petit chien une fois dépouillé de son épaisse fourrure.

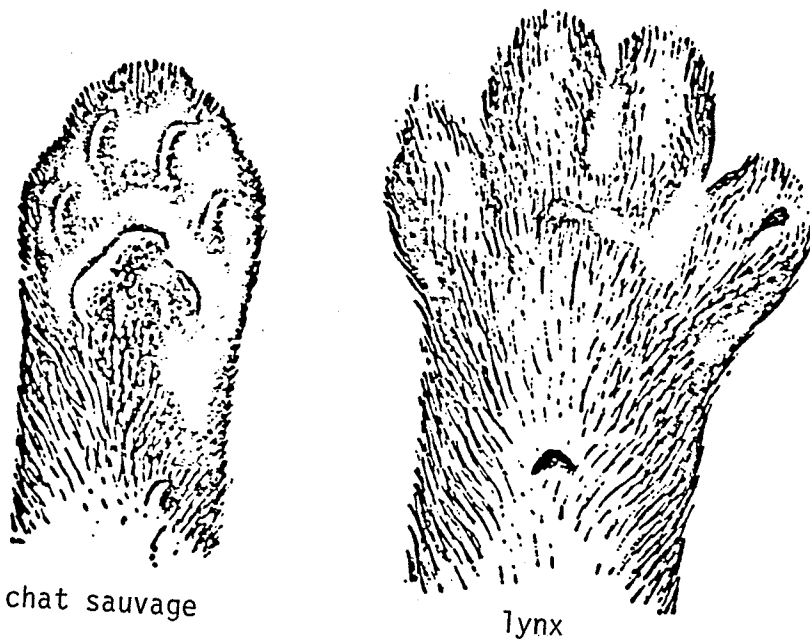
Figure 57: Le lynx du Canada



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie. ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

Le lynx a des grands pieds et leur plante se couvre en hiver d'un tapis de poils raides, ce qui lui permet de se déplacer sur la neige. Ses doigts de pied s'écartent dans la neige fraîche, agrandissant ainsi la superficie de ses «raquettes». L'illustration suivante compare la plante du pied du lynx avec celle d'un autre chat sauvage inadapté au milieu enneigé. Le

Figure 58: Comparaison de la plante du pied du lynx avec celle d'un autre chat sauvage inadapté au milieu enneigé



chat sauvage

Lynx

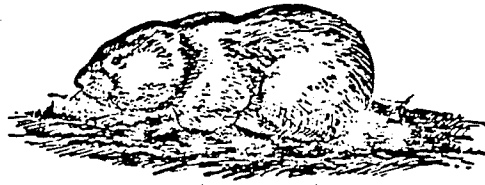
Tirée de *Snow Cover as an Integral Factor in the Environment and Its Importance in the Ecology of Mammals and Birds* par A. N. Formozov. Avec l'aimable autorisation de Boreal Institute for Northern Studies, U. of Alta.

Le lynx occupe la forêt boréale où il chasse sa proie préférée, le lièvre d'Amérique, qui constitue 75% de son régime alimentaire hivernal. Mais il peut aussi chasser le campagnol, la souris, l'écureuil et même le renard.

Le lemming est surnommé la souris de la toundra. Cet animal n'hiberne pas, mais passe plutôt l'hiver dans un terrier qu'il se creuse sous la neige. Le lemming se construit un nid formé d'herbes finement coupées à la surface du sol. Ce nid, et la neige, isolent le lemming du froid. Mais il est lui-même bien protégé du froid. Son pelage d'hiver est beaucoup plus dru et plus long que son pelage d'été. Grâce à ces trois moyens de protection, le lemming est bien protégé contre les grands froids de l'hiver.

Le lemming possède d'autres caractéristiques lui permettant de s'adapter à la vie dans l'Arctique. La petitesse de ses pattes, de ses oreilles et de sa queue minimisent les pertes

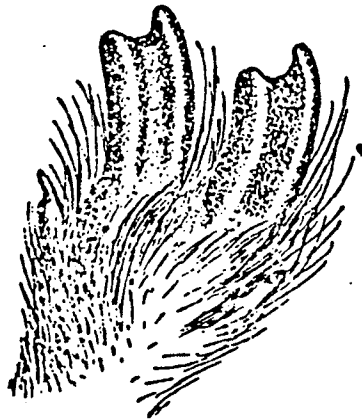
Figure 59: Le lemming



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
 ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la  
 Houghton Mifflin Company.

de chaleur aux extrémités. Pendant l'hiver, les pattes antérieures du «lemming variable» se terminent en longues griffes qui servent à creuser des tunnels sous la neige, tandis qu'au printemps il perd ses longues griffes. Le lemming se reproduit pendant toute l'année. La femelle peut mettre bas une portée de 4 à 8 petits, et cela, parfois toutes les trois ou quatre semaines.

Figure 60: Les griffes hivernales du lemming



Tirée de *Snow Cover as an Integral Factor in the Environment and Its Importance in the Ecology of Mammals and Birds* par A. N. Formozov. Avec l'aimable autorisation de Boreal Institute for Northern Studies, U. of Alta.

Il apparaît évident que la couverture de neige en tant que facteur d'adaptation a joué un rôle important dans l'évolution des chionophiles, perfectionnant au cours des siècles les adaptations qu'ils possèdent actuellement.

# ETUDE D'UNE COMMUNAUTE BIOTIQUE

Il est possible d'étudier la communauté biotique d'une région sans même voir les animaux qui y habitent. L'écologiste a recours aux signes donnés par les animaux, ce qui lui donnent les indices concernant leurs activités. Il importe que l'écologiste interprète les signes pour en déduire la signification.

Ces signes peuvent être regroupés en quatre catégories différentes. La première catégorie regroupe les signes ayant trait à un élément du corps de l'animal ou à un de ses produits comme le poil, les bois ou les andouillers, les plumes, la peau, les os, les cocons, les laissées, les boulettes du hibou, etc.. La deuxième catégorie regroupe les divers types de constructions faites par l'animal dans l'environnement telles que les nids, les terriers, les huttes, les digues et les gîtes. La troisième catégorie rassemble les marques, les signes, les empreintes et les autres traces causés par les activités de l'animal. Les branches cassées, les feuilles et les brindilles broutées, les branches écorcées, les troncs d'arbre griffés, les éclats d'écorce, les aires d'activité, les pistes et les sentiers, les fosses de broutage nous fournissent des indices précieux sur l'activité des animaux. La dernière catégorie implique les sens de l'odorat et de l'ouïe. Les hurlements, les beuglements, les chants, les cris d'alarme, les bruissements, les fracas et les odeurs nous annoncent la présence des animaux.

L'interprétation de ces divers signes peut nous renseigner sur la population animale d'un milieu. L'identité des espèces peut être déduite des signes trouvés dans la nature. La piste est un signe très révélateur. En plus d'identifier l'animal, la piste peut nous donner un indice sur sa taille. Certains traqueurs peuvent même en déduire l'âge et le sexe de l'animal en étudiant la répartition, la superficie et la profondeur des empreintes de la piste. Le nombre de pistes nous indique l'abondance des espèces dans une région. Par exemple, le nombre de pistes de lièvres dans un endroit donné nous permet d'estimer la densité. La piste d'un animal est un enregistrement précis reflétant son caractère et son comportement. L'écologiste peut lire cet enregistrement pour mieux le connaître.

Les laissées d'animaux constituent une autre source d'information prodigieuse. Les laissées sont les fientes ou les crottes d'animaux. De la forme et de la grosseur des laissées, on peut déduire l'identité de l'espèce, la taille

de l'individu et son régime alimentaire. Il existe des faits démontrant que l'on peut même déduire le sexe et l'âge du dindon sauvage d'après ses fientes. Dans les laissées de certaines espèces, on peut reconnaître des éléments de leur nourriture tels que des os, des poils, des graines, de l'écorce, des feuilles et des baies. Il est possible d'identifier précisément ces éléments au point d'établir le régime alimentaire de l'espèce. Par exemple, la forme et l'organisation des écailles composant le poil est unique à chaque espèce de mammifère. Il est donc possible d'identifier la proie d'un carnivore en analysant les poils tirés de ses laissées.

Les hiboux ont l'habitude de dégorger les éléments non-digestibles de leurs proies, sous la forme de boulettes. En analysant ces boulettes d'aliments dégorchés, l'écologiste peut presque reconstruire le squelette de la proie. Ceci lui permet d'identifier les espèces mangées par le hibou. Compte tenu du fait que les boulettes sont formées à un taux de régurgitation relativement fixe pour chaque espèce, on peut calculer de façon précise la ration alimentaire du hibou. Le compte des boulettes dans un endroit peut même être utilisé pour effectuer un recensement des hiboux.

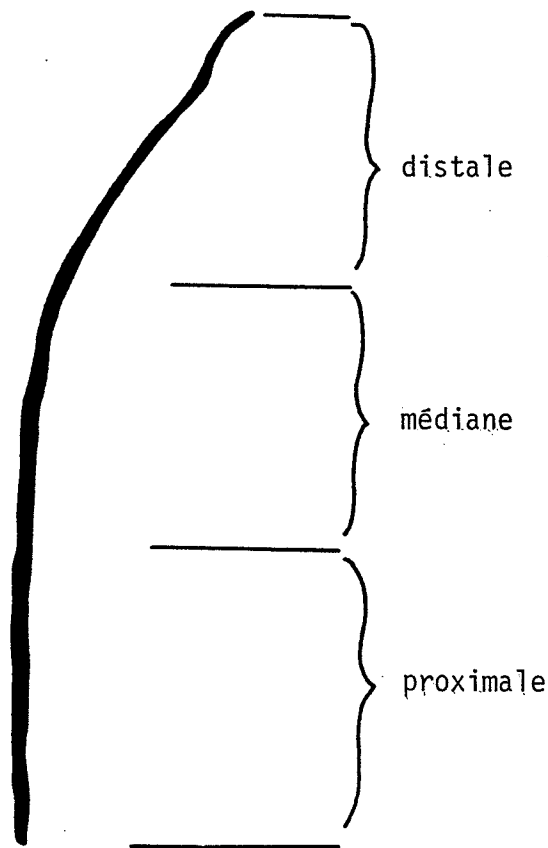
#### ACTIVITÉ 21: Analyse du poil mammifère

On peut identifier systématiquement un spécimen de poil en analysant l'impression de sa forme cuticulaire, c'est-à-dire de l'organisation des écailles. Les applications pratiques de cette technique incluent l'étude du régime alimentaire, l'identification d'un prédateur et de sa proie et l'identification du mammifère occupant un terrier, ou un autre gîte.

Le poil mammifère comprend trois parties principales. La partie proximale est celle qui est la plus rapprochée du corps. La partie médiane est celle du milieu et la partie distale est celle du bout. La forme cuticulaire du poil d'une espèce peut varier d'une partie à l'autre, de même que d'une partie de son corps à l'autre. Malgré ces variations, il est encore possible de distinguer les espèces par ce critère.

Néanmoins, il importe que cette analyse soit corroborée par d'autres renseignements: la largeur et la longueur du poil, sa couleur (une ou plusieurs couleurs, une couleur unie ou rayée, etc.). L'endroit d'où vient le spécimen est un indice important. Est-ce que l'animal provient de la région septentrionale de la province ou de la région du sud? Où le spécimen a-t-il été trouvé? Est-ce que c'était dans les laissées sèches d'un animal, dans un arbre ou dans un terrier, ou sur les lieux d'une mise à mort? Toutes ces informations sont utiles à l'identification d'un spécimen.

Figure 61: Un poil mammifère généralisé, montrant les trois parties principales



Tirée de *A Manual for the Identification of Hairs of Selected Ontario Mammals* par A. S. Adorjan and G. B. Kolenosky. Avec l'aimable autorisation de la Research Section, Wildlife Branch, Ministry of Natural Resources, Ontario.

- Recueillez des spécimens de poils (si l'occasion se présente lors d'une randonnée en nature/ou des échantillons de fourrure provenant d'un fourreur/ou des spécimens de poils tirés d'une boulette de hibou, etc.).
- Examinez un spécimen et décrivez ce que vous pouvez voir à l'oeil nu: la longueur et la couleur des trois principales parties. Notez vos observations.

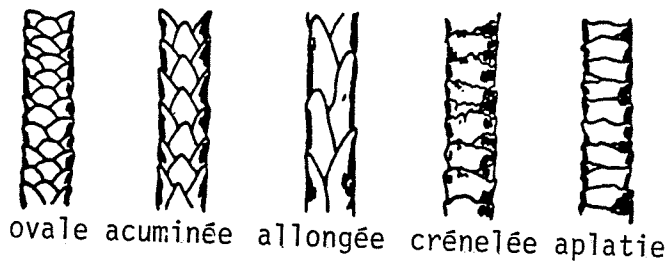
Il est possible d'effectuer une analyse plus poussée du spécimen, au microscope, en le préparant au préalable de la façon suivante.

- Lavez le spécimen à l'eau chaude et séchez-le à l'air.

- Lavez-le de nouveau avec de l'éther. (Si vous avez suivi la façon de procéder et si, lorsque vous examinez l'impression, la forme cuticulaire n'est pas visible il importe de relaver le spécimen avec de l'éther.)
- La propreté des lames est de grande importance, afin d'éviter un dégagement de bulles lors du contact avec l'acétone. Les lames devraient être lavées d'abord avec un détergent de laboratoire et ensuite avec une solution d'alcool éthylique ou éthanol (95%). Les lames devraient être séchées avec une serviette en papier.
- Méthode à suivre afin d'effectuer une impression de la forme cuticulaire du spécimen:
  - 1) Placez sur une lame le spécimen et quelques gouttes d'acétone. (Ceci pourrait être fait dans une sorbonne de laboratoire.)
  - 2) Placez ensuite une *lamelle en plastique* sur le spécimen et pressez soigneusement. Une très forte pression devrait être exercée sur la lamelle.
  - 3) Enlevez le spécimen de la lamelle et, avec l'aide du microscope, examinez l'impression (l'empreinte de la forme cuticulaire sur la lamelle en plastique).

Les différentes formes cuticulaires de poils mammifères peuvent être classées en deux groupes fondamentaux: les écailles coronales et les écailles imbriquées. Les écailles imbriquées se recouvrent partiellement, à la manière des tuiles d'un toit. Les écailles coronales sont disposées en couronne, c'est-à-dire qu'elles encerclent complètement le poil cylindrique. Les illustrations ci-dessous montrent différents types de formes cuticulaires appartenant à ces deux groupes fondamentaux.

Figure 62: Les cinq types d'écailles imbriquées du poil mammifère

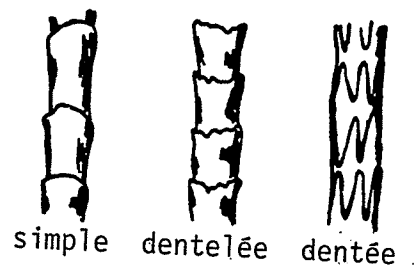


Avec l'aimable autorisation de la Research Section,  
Wildlife Branch, Ministry of Natural Resources, Ontario.

Voici une description de chacun des types d'écaillés imbriqués:

- a) l'écaille ovale: la longueur de la surface libre de l'écaille est approximativement la moitié du diamètre du poil.
- b) l'écaille acuminée: la longueur de la surface libre de l'écaille représente approximativement les trois quarts du diamètre du poil.
- c) l'écaille allongée: la longueur de la surface libre de l'écaille est approximativement égale au diamètre du poil.
- d) l'écaille crénelée: la longueur de la surface libre de l'écaille est approximativement le quart du diamètre du poil.
- e) l'écaille aplatie: la longueur de la surface libre de l'écaille est approximativement le dixième du diamètre du poil.

Figure 63: Les trois types d'écaillés coronales du poil mammifère



Avec l'aimable autorisation de la Research Section, Wildlife Branch, Ministry of Natural Resources, Ontario.

Voici une description de chacun des types d'écaillés coronales:

- f) l'écaille simple: l'extrémité libre de l'écaille est aplanie ou presque aplanie.
- g) l'écaille dentelée: l'extrémité libre de l'écaille est moyennement dentée.
- h) l'écaille dentée: l'extrémité libre de l'écaille est fortement dentée (la longueur d'une dent est approximativement le double de sa largeur).

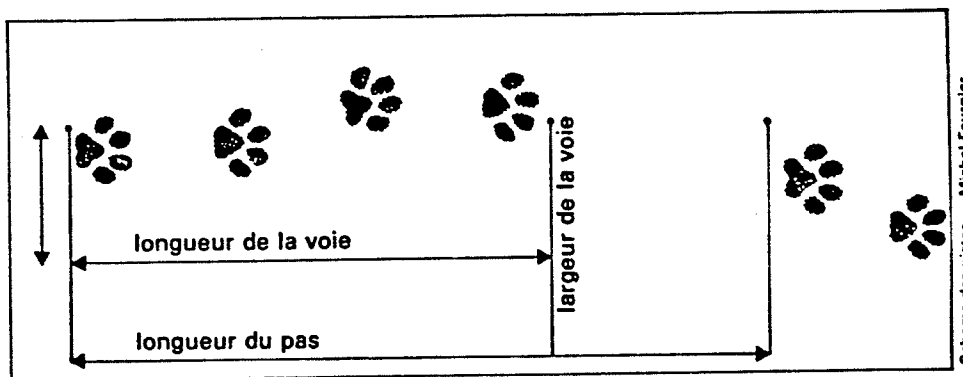


- Préparez différents spécimens pour l'analyse microscopique. Tentez d'inclure des spécimens provenant de 3 ou 4 différentes espèces. Employez seulement la partie proximale du poil.
  - Examinez chacune des préparations au microscope. Faites le croquis de chacune et classez-les selon le modèle présenté.
  - Utilisez un manuel d'identification\* afin d'établir les mammifères étudiés.\*\*
1. Pourquoi est-ce que ce procédé est tellement précieux pour l'écologiste?

## Les pistes dans la neige

Voici une section de piste. On y montre six empreintes.

Figure 64: Exemple de piste servant à illustrer les mensurations d'une piste



Tirée de *Les détectives de la neige* par Pierre Richard, Québec Science, février 1980. Avec l'aimable autorisation de l'éditeur.

\*A. S. Adorjan et G. B. Kolenosky, *A Manual for the Identification of Hairs of Selected Ontario Mammals*, Research Branch, Department of Lands and Forests, Ontario, Research Report (Wildlife) No. 90, September, 1969.

\*\*Adapté d'un exercice tiré de *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation de R. E. Phillips et C. A. Watson.

Les quatre premières constituent ce qu'on appelle la voie, c'est-à-dire les empreintes des quatre pattes d'un animal. L'alignement des voies forme la piste. On peut parfois distinguer les pattes antérieures des pattes postérieures par les différences de forme et de taille ou, comme chez le renard, par une meilleure impression des pattes antérieures. Cette distinction nous aide à mesurer la «longueur du pas», c'est-à-dire la distance entre deux empreintes d'une même patte. On peut se servir de la longueur moyenne des pas pour identifier l'espèce animale qui a laissé les traces. Cependant, comme ces mesures peuvent varier beaucoup selon la taille et le sexe de l'animal et la vitesse de son déplacement, elles ne peuvent servir à elles seules de critère d'identification.\*

On peut distinguer quatre types de pistes chez les mammifères. Cette classification peut nous aider à identifier la famille de mammifère à laquelle l'animal appartient.

Les animaux appartenant aux familles des canidés (le chien, le loup, le renard), des félidés (le chat, le lynx, le cougar) et des ongulés (l'orignal, le cerf, le caribou) ont une piste reconnaissable par l'alignement des empreintes. Une des allures naturelles de ces animaux est le pas ou le trot, ce qui donne cette piste caractéristique.

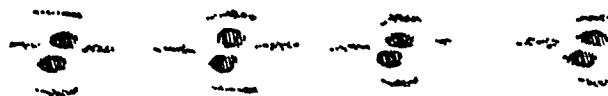
Figure 65: La piste du coyote, un canidé



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie. ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

Les mustélidés ont typiquement le corps allongé et les pattes courtes; à l'exception de la moufette, ils se déplacent en bondissant, ce qui laisse une piste à doubles empreintes ou à empreintes regroupées.

Figure 66: La piste de l'hermine, un mustélidé



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie. ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

\*Passage employé avec l'aimable autorisation de Québec Science.

L'allure ordinaire du lièvre, de l'écureuil et des souris est le galop. L'animal se déplace en mettant les pattes postérieures à terre, avant ses pattes antérieures. Puisque la plante des pieds postérieurs de la plupart de ces animaux est plus grande que celle des pieds antérieurs, l'animal laisse une série d'empreintes qui peut être aisément reconnue.

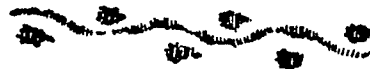
Figure 67: La piste du suisse



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

Les animaux tels que le raton laveur, le porc-épic, le castor et le rat musqué se déplacent en dandinant, c'est-à-dire en faisant un mouvement régulier d'un côté à l'autre.

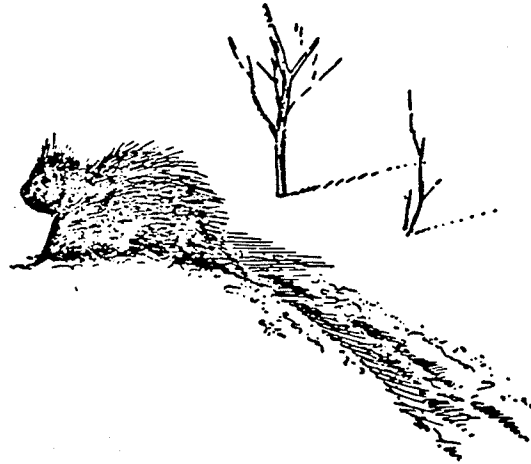
Figure 68: La piste du rat musqué dans la neige. L'empreinte de la queue est visible.



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la Houghton Mifflin Company.

Cette allure lourde et dandinante fait qu'ils laissent dans la neige profonde des pistes profondes et brouillées; leurs empreintes sont en fait effacées.

Figure 69: La piste brouillée du porc-épic



Tirée de *A Field Guide to Animal Tracks* par Olaus J. Murie.  
 ©1950 par Olaus J. Murie. Avec l'aimable autorisation de la  
 Houghton Mifflin Company.

#### ACTIVITÉ 22: Élaboration d'une fiche d'information

- Choisissez un mammifère manitobain qui est actif pendant l'hiver.
- Faites une recherche afin de déterminer sa piste caractéristique, la forme de ses laissées, son apparence, sa distribution géographique, son habitat préféré, etc..
- Élaborez une fiche d'information sur l'animal résumant les points mentionnés. N'hésitez pas à inclure vos propres dessins et diagrammes.

#### Références

A. W. F. Banfield, *Les mammifères du Canada*, Les Presses de l'université Laval: Québec, 1975.

O. J. Murie, *A Field Guide to Animal Tracks*, Houghton Mifflin: Boston, 1975.

Pierre Richard, «Les détectives de la neige», *Québec Science*, février 1980, pp. 46-50.

Série: La faune de l'arrière pays, Service canadien de la Faune, Environnement Canada.

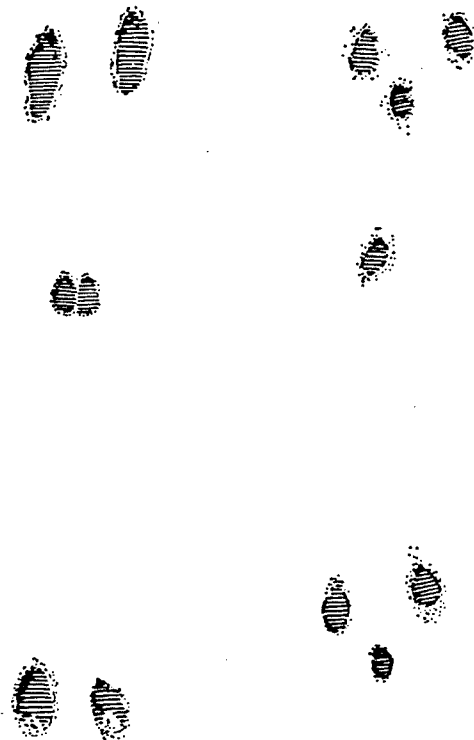
Figure 70

PEANUTS



L'existence de pistes sur la neige nous donne un indice de l'activité des animaux dans la région. Avec certaines espèces il est même possible de dénombrer les pistes afin de faire un recensement de la population, c'est-à-dire un compte de tous les individus d'une même espèce vivant dans un espace donné. L'illustration ci-dessous montre la piste typique des lapins et des lièvres.

Figure 71: Deux pistes de lapin



La piste de gauche est celle d'un lapin qui l'a laissée en bondissant dans la neige peu profonde. Celle de droite appartient à un lapin qui bondissait plus rapidement sur une plus courte distance. Vous pouvez constater que la vitesse de déplacement de l'animal modifie la répartition des empreintes dans la piste. Cependant, il est encore possible d'identifier le lapin grâce à sa piste.

Effectuez le recensement suivant dans une région qui est légèrement boisée. (La méthode suggérée s'adresse à une classe de vingt élèves. Il est possible de la modifier afin de répondre à vos besoins).

- Marquez les limites de l'aire d'étude en traçant une ligne dans la neige. L'aire d'étude pourrait être répartie à l'intérieur d'un carré de 200 mètres de côté.
- Effacez les empreintes de lapin traversant les limites de l'aire d'étude.
- Alignez-vous le long d'un côté de l'aire d'étude. Les deux élèves situés aux bouts de la rangée sont responsables de compter les lapins qui s'évadent de l'aire d'étude. Chaque élève est responsable de compter les lapins qui s'évadent en passant entre lui-même et l'élève à sa gauche.
- Marchez lentement vers le côté opposé en faisant beaucoup de bruit afin de faire sortir les lapins de leur gîte. Dénombrez les lapins traversant la rangée d'élèves ou s'évadant de l'aire d'étude.
- Sur le côté opposé, un élève devrait compter le nombre de pistes traversant cette limite. Faites le total des observations.
- L'illustration à la page suivante résume le procédé.

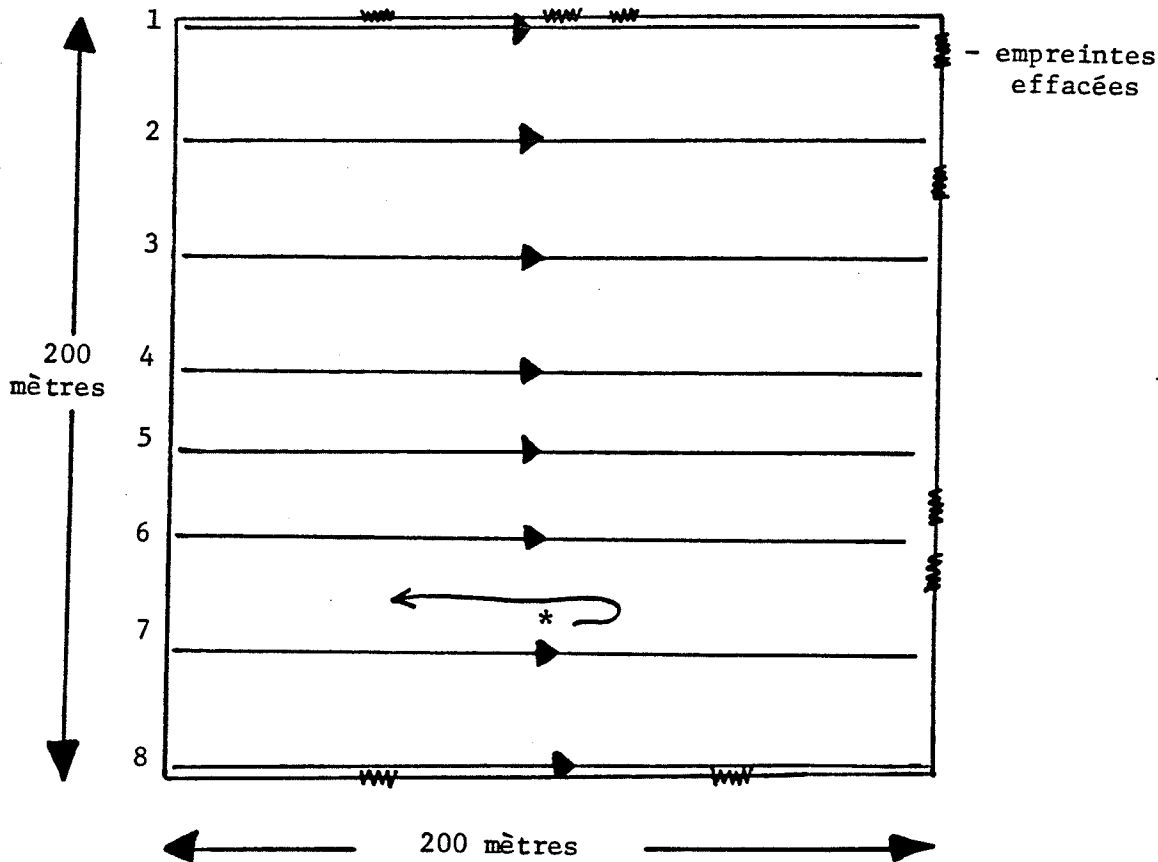
1. La densité exprime le rapport entre le total des individus d'une population et l'espace occupé par ces individus. Elle peut être considérée la principale caractéristique des populations. La densité est calculable d'après la formule suivante:

$$D \text{ (densité)} = \frac{N \text{ (nombre d'individus)}}{S \text{ (surface occupée)}}$$

Calculez la densité des lapins et des lièvres par rapport à une superficie d'un hectare (ha), c'est-à-dire une surface équivalente à dix mille mètres carrés (100 m x 100 m).

2. Comment pourrait-on utiliser ce procédé pour faire un recensement de cerfs de Virginie (chevreuils) dans une région donnée? Décrivez les modifications qui seront nécessaires.

Figure 72: Le recensement de lapins



Dessinée d'après l'illustration de Phillips et Watson, *Winter Investigations*. Avec l'aimable autorisation des auteurs.

- \*\*\*3. Il est possible d'utiliser le dénombrement des différents types de pistes observés comme indice afin de comparer les populations mammifères d'une année à l'autre dans une région donnée ou même d'une région à l'autre au cours d'une année donnée. Par exemple, on pourrait identifier chaque piste mammifère traversant une piste pour skieurs dans une région boisée et dénombrer chaque type de piste pour ensuite calculer la moyenne de chaque espèce par kilomètre skié par l'observateur. Si ce même dénombrement était fait sur des pistes pour skieurs différentes, on pourrait comparer la composition relative des populations mammifères dans différentes régions. Pourquoi est-il préférable d'effectuer le dénombrement des pistes immédiatement après une chute de neige?

## Les chaînes alimentaires de l'Arctique

Les relations alimentaires entre les espèces d'une communauté biotique peuvent être illustrées par de simples chaînes alimentaires. La chaîne alimentaire débute par le producteur qui, grâce à la photosynthèse, fabrique de la matière organique. Les consommateurs s'enchaînent à partir de là: les herbivores qui se nourrissent directement des végétaux verts et ensuite les carnivores qui sont les prédateurs des précédents. Une chaîne alimentaire typique de l'Arctique se présente de la façon suivante:



Les relations alimentaires dans un écosystème sont beaucoup plus complexes qu'une simple chaîne alimentaire linéaire. Particulièrement dans les régions boréales, les régimes alimentaires des animaux sont très variés. Les carnivores, en tant que consommateurs, ne peuvent pas se permettre de s'en tenir à des espèces bien définies. On constate plutôt qu'il existe un véritable réseau alimentaire dans lequel chaque prédateur consomme plusieurs types de proies. Cet état devrait assurer une plus grande stabilité de l'écosystème. Cependant les écosystèmes boréaux, particulièrement celui de la toundra, sont extrêmement fragiles.

### ACTIVITÉ 24: La préparation d'un réseau alimentaire

À partir de la liste d'êtres vivants ci-dessous, préparez de simples chaînes alimentaires. Utilisez la légende suivante afin de classifier chaque organisme selon son rang dans la chaîne alimentaire.

Légende: P producteur  
 C<sub>1</sub> consommateur primaire  
 C<sub>2</sub> consommateur secondaire  
 C<sub>3</sub> consommateur tertiaire  
 D détritivore

phoque ours blanc wapiti harfang des neiges marmotte  
 orignal caribou musaraigne de l'Arctique renard arctique  
 cerf campagnol de la toundra loup polaire boeuf musqué  
 spermophile de l'Arctique lemming lagopède des saules





de leurs prédateurs, notamment le lynx, le renard roux, le renard arctique et l'harfang des neiges.

Par exemple, les populations de lièvres d'Amérique des forêts boréales subissent de spectaculaires fluctuations cycliques. L'intervalle entre deux sommets successifs de leurs nombres varie de 8 à 11 ans pour une moyenne de 9, 6 ans. On dit donc que le lièvre suit un «cycle de dix ans». Puisque le lièvre est la proie préférée du lynx, la population de ce carnivore varie grandement en fonction de l'abondance de ces rongeurs. On constate aussi que des migrations massives du lynx et du grand duc d'Amérique se produisent suivant la baisse cyclique des populations de lièvres d'Amérique. Les lagopèdes et le lièvre variable sont des animaux typiques de la toundra qui suivent le cycle de dix ans.

Les lemmings, petits rongeurs de la toundra, subissent des fluctuations extraordinaires de leur population. Cependant ce phénomène cyclique se renouvelle tous les trois ou quatre ans et est donc appelé un «cycle de quatre ans». Puisque le renard arctique et l'harfang des neiges se nourrissent principalement de lemmings, on remarque que leurs nombres sont étroitement liés à celui de leur proie. Lors d'une baisse cyclique de lemming, ces prédateurs se déplacent sur de grande distance pour trouver de quoi manger. Ce qui fait que ces espèces ont déjà été vues au sud du Manitoba.

Une autre forme de périodicité est celle qui comprend les changements saisonniers. Certaines espèces quittent la toundra à l'approche de l'hiver pour émigrer vers leurs aires d'hivernage. Les caribous accompagnés du loup, leur prédateur dominant, effectuent une migration annuelle vers la toundra forestière pour passer l'hiver dans ce milieu plus hospitalier. Plusieurs espèces boréales renouvellent leur pelage ou leur plumage tous les ans au cours d'une mue complète. Pour certaines, la mue leur permet de se camoufler pendant l'hiver. Le plumage blanc des lagopèdes ou le pelage blanc du lièvre d'Amérique les rendent presque invisibles sur la neige. Pour d'autres la mue fait que l'animal est régulièrement revêtu d'un nouveau manteau afin de mieux résister au froid polaire. Plusieurs espèces doivent modifier leur régime alimentaire au cours de l'année à cause des fluctuations saisonnières de l'approvisionnement en nourriture. L'orignal se nourrit presque exclusivement de brindilles et d'arbrisseaux pendant les mois d'hiver. Au printemps, quand la nourriture se fait rare, les orignaux affamés mangent l'écorce des arbres. Avec la venue de l'été, ils ajoutent à leur menu des feuilles et beaucoup de plantes aquatiques. Un bon nombre de carnivores boréals sont des opportunistes, changeant leur régime alimentaire selon les circonstances. Le renard arctique de la toundra, par

exemple, se nourrit presque exclusivement de lemmings pendant toute l'année. Cependant il n'hésite pas, l'été, à manger des oiseaux nicheurs et, l'hiver, à dévorer les restes de phoques abandonnés sur la glace par les ours blancs.

La dernière forme de périodicité est celle des changements quotidiens. Dans les régions boréales, l'éclairage prolongé pendant les mois d'été permet aux animaux d'avoir une journée de travail plus longue, de se procurer plus de nourriture et de mieux alimenter leurs petits. Ce qui fait que le développement des petits est plus rapide que dans les régions de latitude moyenne. Ceci explique pourquoi un nombre important d'oiseaux retournent annuellement pour nicher.

## CONCLUSION

La vie en milieux boréaux, y compris dans la toundra et dans la taïga, est un défi constant pour les êtres vivants qui habitent ces régions. Le régime rigoureux de température, la couverture de neige et les tempêtes qui caractérisent l'hiver exigent des adaptations appropriées afin de survivre au milieu de telles conditions.

Le Nord canadien renferme de vastes richesses minérales et pétrolières. De plus en plus, l'homme s'y aventure afin d'exploiter ces richesses. Il importe donc de connaître les complexités des écosystèmes boréaux afin de prévenir les répercussions nocives d'une telle exploitation pourrait avoir sur ces systèmes.

# VOCABULAIRE (Mots nouveaux)

neige précipitée	glace noire
neige déposée	glace blanche
eau en surfusion	«anniu»
germe de cristallisation	«qali»
cristal de neige	«api»
hexagone	«pukak»
simulation	«upsik»
flocon	«siquq»
givre	«siquqtoaq»
métamorphose	«kimoaqruk»
nival(e)	«anymanya»
métamorphose destructive (ou d'isothermie)	«qamanik»
métamorphose constructive (ou de gradient)	succession
neige pourrie	stade
givre de profondeur	déflation
avalanche	saltation
avalanche de poudreuse	surface creep
avalanche de plaques	isoligne
avalanche de fonte	migration
densité (de la neige)	aire d'hivernage
dureté (de la neige)	hibernation
poste d'analyse nival	torpeur
strate	poïkilotherme
	acclimater

acclimatation	piste
métabolisme	voie
taux du métabolisme	pas
physiologie	empreinte
cocon	recensement
galle	population
entonnoir Berlese	densité
trappe à chute	hectare
chionophobe	chaîne alimentaire
chioneuphore	producteur
chionophile	consommateur
puit d'aérage	herbivore
cuticulaire	carnivore
proximale	réseau alimentaire
médiane	détritivore
distale	fluctuation cyclique
impression	cycle (cyclique)
écaille coronale	périodicité
écaille imbriquée	

# EVALUEZ VOS CONNAISSANCES

- A. *Vrai ou faux* - Indiquez devant chacune des affirmations suivantes si elle est vraie ou fausse. Si elle est fausse, écrivez l'affirmation juste.
1. Entre  $-5^{\circ}\text{C}$  et  $-10^{\circ}\text{C}$  les cristaux de neige peuvent croître soit en forme de colonne ou d'aiguille.
  2. Une simulation est une représentation d'un système physique.
  3. Le givre est une forme cristalline de l'eau.
  4. Au début de l'hiver, la neige est probablement transformée par la métamorphose de gradient.
  5. La neige est un pauvre isolant thermique.
  6. Le sel de table diminue le point de fusion de la neige.
  7. La neige est plus transparente à la lumière que la glace.
  8. Le siqoqtoak est un des facteurs qui régit la migration des caribous.
  9. La saltation décrit le soulèvement et le transport de la neige en suspension dans l'air sous l'action du vent.
  10. La neige précipitée contient généralement plus de particules solides étrangères que la neige déposée par terre.
  11. Les oiseaux vont dans le Sud pour échapper aux rigueurs de l'hiver.
  12. Les chioneuphores ne peuvent tolérer une accumulation de neige.
  13. Plusieurs signes d'animaux peuvent être identifiés précisément en analysant les poils mammifères présents.
  14. Les différentes familles de mammifères se distinguent à leurs types de pistes.
  15. La densité exprime le rapport entre le total des individus d'une population et l'espace occupé par ces individus.

B. *Choix multiples* - Choisissez la réponse qui convient le mieux à chaque question.

1. La forme hexagonale des cristaux de neige est due à
  - a) la température à laquelle ils se forment.
  - b) la disposition des molécules d'eau.
  - c) l'humidité à laquelle ils se forment.
  - d) la forme du germe de cristallisation.
  
2. À une température ambiante de  $-15^{\circ}\text{C}$ , les cristaux de neige croissent en forme
  - a) d'étoile.
  - b) d'aiguille.
  - c) de plaquette.
  - d) de colonne.
  
3. Quel type d'avalanche sera plus commun au mois de décembre dans les montagnes Rocheuses canadiennes?
  - a) une avalanche de poudreuse.
  - b) une avalanche de plaques.
  - c) une avalanche de fonte.
  - d) les trois types se retrouvent.
  
4. Comment appelle-t-on l'indice de la cohésion entre les cristaux de neige?
  - a) l'épaisseur.
  - b) la densité.
  - c) la dureté.
  - d) la valeur isolante.
  
5. La neige ayant la plus haute valeur isolante aura une densité de
  - a) 1,0
  - b) 0,50
  - c) 0,25
  - d) 0,12
  - e) 0,06
  
6. Le cycle de succession dans la taïga est initié par le (l')
  - a) api
  - b) qali
  - c) siqoq
  - d) upsik



7. Le déplacement des particules de neige par rebondissement est appelé
  - a) la déflation.
  - b) la saltation.
  - c) la suspension.
  - d) la «surface creep».
  
8. Le facteur hivernal le plus important pour les animaux de la taïga est
  - a) le froid.
  - b) la sécheresse.
  - c) la neige.
  - d) le vent.
  
9. L'ensemble des réactions chimiques d'un organisme constitue
  - a) l'acclimation.
  - b) la torpeur.
  - c) le métabolisme.
  - d) la physiologie.
  
10. Selon la classification de Formozov, le caribou sera considéré comme étant un
  - a) chioneuophore.
  - b) chionophobe.
  - c) chionophile.
  - d) n'appartient réellement à aucune de ces catégories.
  
11. Les empreintes des quatre pattes d'un animal constituent ce qu'on appelle
  - a) le pas.
  - b) la voie.
  - c) la piste.
  - d) le sentier.
  
12. Les herbivores et les carnivores sont tous deux considérés comme étant
  - a) producteurs.
  - b) consommateurs.
  - c) détritivores.
  - d) décomposeurs.
  
13. Plusieurs aspects de l'écologie boréale sont expliqués par le phénomène
  - a) du cycle.
  - b) des changements saisonniers.
  - c) des changements quotidiens.
  - d) de la périodicité.

14. La base du réseau alimentaire est constituée de
- producteurs.
  - consommateurs primaires.
  - consommateurs secondaires.
  - consommateurs tertiaires.
15. Laquelle des espèces suivantes ne suit pas un cycle de dix ans?
- le lièvre d'Amérique.
  - le lynx.
  - le lagopède des saules.
  - le lemming.

C. Complétez les phrases suivantes:

- Les cristaux de neige sont tous organisés en forme de \_\_\_\_\_.
- Les facteurs les plus importants déterminant l'apparence des cristaux de neige lors de leur formation sont \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_.
- Lors de leur descente les cristaux peuvent se regrouper en \_\_\_\_\_.
- La transformation graduelle de la couche de neige est appelée \_\_\_\_\_.
- Le type de glace composée de cristaux en forme de colonne est appelé \_\_\_\_\_.
- Les animaux de la toundra qui cherchent leur nourriture à la surface du sol appartiennent à la famille des \_\_\_\_\_.
- \_\_\_\_\_ est le ralentissement général de l'activité d'un animal.
- Le phénomène qui consiste à s'habituer lentement à de nouvelles conditions de l'environnement est appelé \_\_\_\_\_.
- Un animal ayant une coloration blanche et des pieds larges fera partie du groupe des \_\_\_\_\_.
- Les deux signes d'animaux les plus significatifs pour l'écologiste seront les pistes et les \_\_\_\_\_.
- L'alignement des voies mammifères forme la \_\_\_\_\_.

12. La \_\_\_\_\_ représente tous les individus d'une même espèce vivant dans un espace donné.
13. Une population qui tend à varier beaucoup suivant un certain rythme est dite \_\_\_\_\_.
14. Le phénomène de changements à des intervalles plus ou moins réguliers est la \_\_\_\_\_.
15. Le \_\_\_\_\_ d'une communauté est constitué de l'entrecroisement de nombreuses chaînes alimentaires.

D. *Questions:*

1. Comment la neige a-t-elle un profond impact sur la population urbaine?
2. À plusieurs reprises dans le passé, les Américains ont tenté, avec plus ou moins de succès, de provoquer la formation de neige dans les nuages recouvrant des milieux arides. Pourquoi? Comment? Quelles seront les répercussions possibles de cette intervention artificielle?
3. Compte tenu du fait que la température ambiante, à haute altitude, varie très peu pendant l'année, expliquez pourquoi nous ne recevons généralement pas de neige en été?
4. Comment le choix du fart pour une randonnée en ski de fond est-il relié à l'apparence des cristaux de neige?
5. Comment la perturbation de la neige causée par les motoneiges affectera-t-elle sa métamorphose pendant l'hiver?
6. Les services de la voirie des grandes villes canadiennes mettent du sel sur les rues pendant l'hiver afin de faciliter la circulation. Quels sont les effets du sel sur le béton? sur les métaux? sur la végétation?
7. Comment une congère de neige se forme-t-elle? Quel est la raison d'être d'une clôture pare-neige?
8. En quel sens l'hibernation et l'état de torpeur sont-ils des phénomènes similaires? En quoi sont-ils différents?
9. Énumérez et expliquez les causes probables des migrations des oiseaux.
10. Certains animaux ont développé des adaptations leur permettant de prévenir la congélation. Quelles sont ces adaptations?

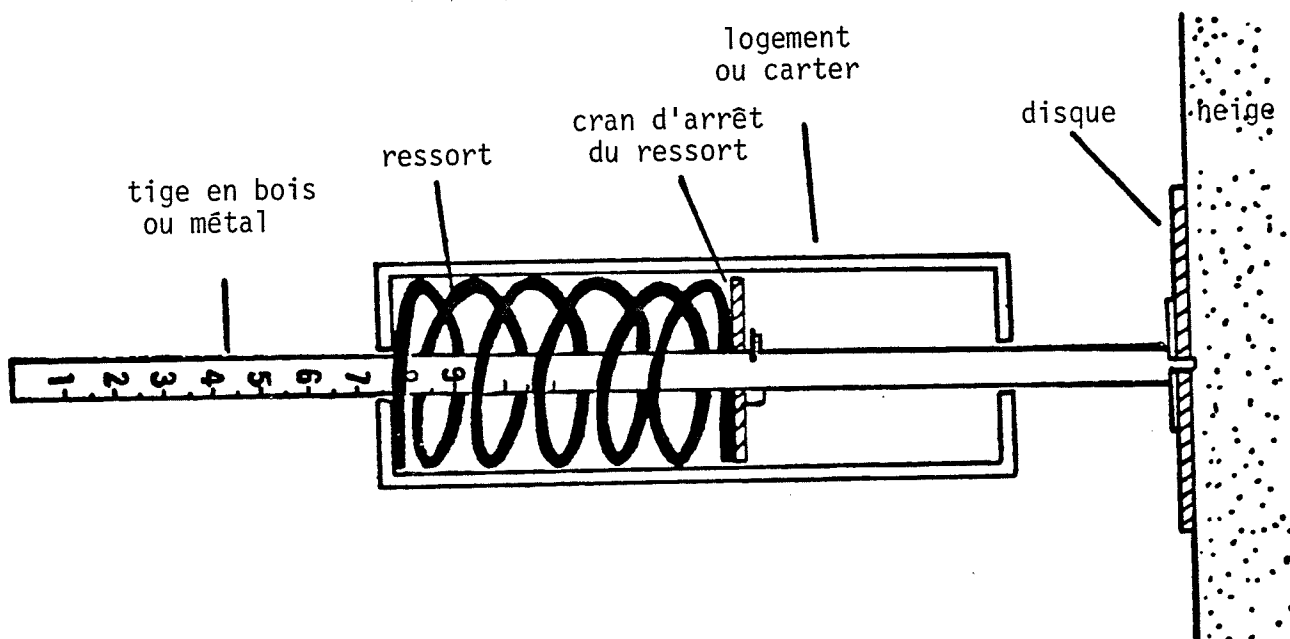
11. Comment l'hibernation affecte-t-elle le métabolisme d'un animal?
12. Comment le lièvre d'Amérique a-t-il développé au cours des siècles ses larges pieds postérieurs?
13. Quel est le rôle joué par la neige dans l'évolution des mammifères boréals?
14. Énumérez les divers facteurs qui pourraient modifier l'apparence de la piste d'un animal donné.
15. Comparez un réseau alimentaire typique d'une forêt tropicale avec un autre, tiré d'une région arctique.
16. Pourquoi les oiseaux migrateurs ne demeurent-ils pas dans le Sud toute l'année?

# ANNEXE

## Annexe A: Construction d'un appareil servant à mesurer la dureté de la neige

L'illustration suivante montre une reproduction de l'appareil. Celui-ci peut être construit avec du matériel simple, trouvé au laboratoire ou à la maison.

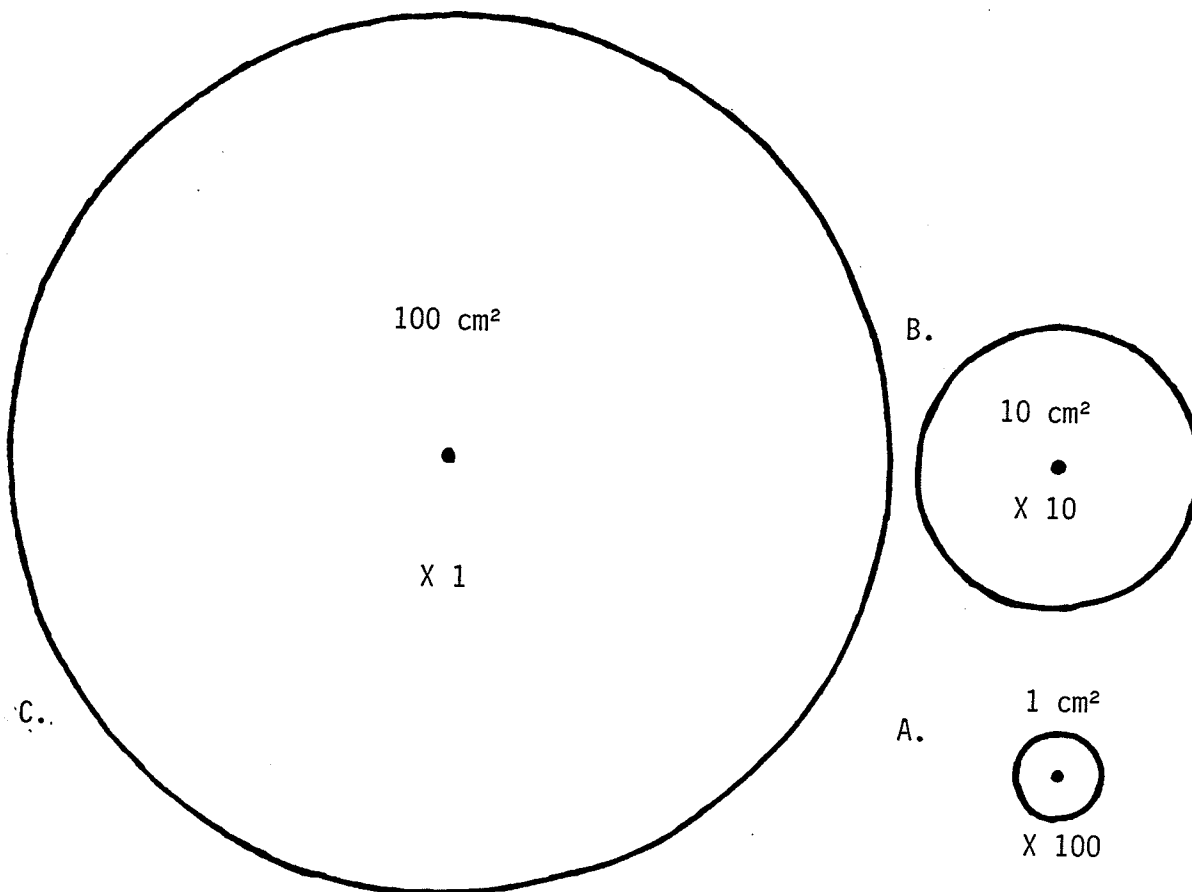
Figure 73: Le calibre de dureté



Avec l'aimable autorisation de Alex Tretiak.

La dureté est exprimée en  $\text{g}/\text{cm}^2$ . Une série de disques de superficie différente, chacun permet de mesurer la dureté sur une plus grande étendue. La série devrait inclure des disques ayant les superficies telles qu'indiquées dans l'illustration suivante.

Figure 74: Les disques



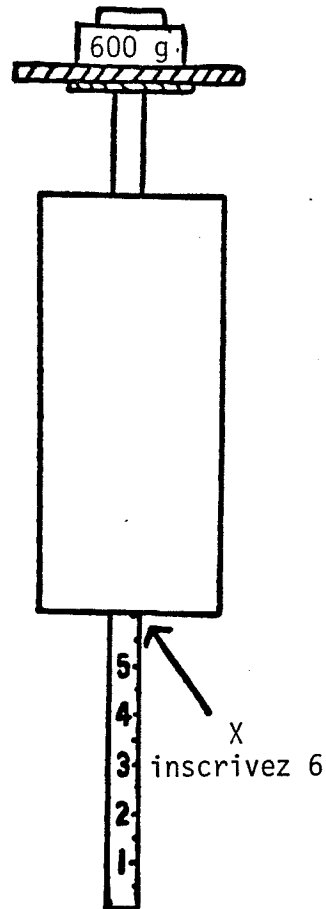
Une fois construit, il est nécessaire de calibrer l'instrument. La démarche suivante décrit cette étape.

- 1) Placez l'appareil comme montré dans l'illustration à la page suivante.
- 2) Ajoutez une masse de 100 g au disque. Faites une marque sur la tige. Cette première marque porte le numéro 1.
- 3) Ajoutez une autre masse de 100 g au disque. Faites une marque qui porte le numéro 2 sur la tige.
- 4) Continuer à calibrer l'appareil tel qu'indiqué.

D'après ce procédé, si le disque A ayant une superficie de 1 cm<sup>2</sup> est employé et la neige s'effondre lorsque l'appareil indique le numéro 7, la dureté de la neige serait de 700 g/cm<sup>2</sup>.

Par contre, si le disque B ayant une superficie de 10 cm<sup>2</sup> est employé, la dureté de la neige serait de 70 g/cm<sup>2</sup>.

Figure 75: Le calibrage



Si le disque C ayant une superficie de  $100 \text{ cm}^2$  est employé, la dureté de la neige serait de  $7 \text{ g/cm}^2$ .

Le tableau suivant résume le procédé.

Disque	Superficie ( $\text{cm}^2$ )	Multiplication par
A	1	100
B	10	10
C	100	1

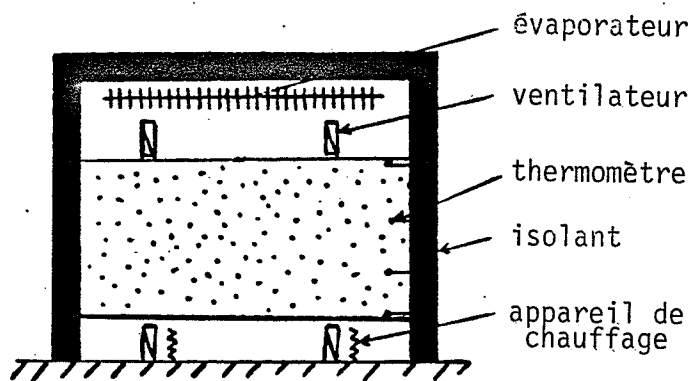
Notez bien qu'il sera peut être nécessaire de faire une correction pour compenser l'effet de la température sur le ressort.

\*Adapté d'un exercice décrit par Alex Tretiak. Avec l'aimable autorisation de l'auteur.

## Annexe B: Construction d'un appareil servant à étudier la métamorphose

Il sera possible d'étudier la métamorphose de gradient en procédant à des simulations. L'illustration ci-dessous montre un appareil servant à simuler ce phénomène. L'appareil fut développé pour fonctionner en chambre froide. Par contre, ce modèle pourrait être modifié pour fonctionner dehors pendant l'hiver. L'important est que l'appareil donne un gradient de température allant du haut au bas.

Figure 76: Appareil de simulation



Tirée du *Journal of Glaciology*, volume 26, numéro 94, 1980. Avec l'aimable autorisation de l'auteur D. Marbouty.

Ici la source de chaleur provient d'un courant d'air réchauffé dans un compartiment au fond de l'appareil. Le froid est produit par un évaporateur frigorifique placé dans le compartiment du haut. Un ventilateur maintient une température constante qui peut être contrôlée par un thermostat dans chaque compartiment. La température à différente hauteur dans la neige est mesurée par des thermomètres ou d'autres instruments électroniques. Les parois de l'appareil sont isolées. Les compartiments chaud et froid sont séparés du compartiment central contenant la neige par une mince plaque métallique qui est fermée hermétiquement. Le compartiment central pourrait être séparé en deux pour permettre l'étude de deux échantillons différents de neige.

Autre la simulation de la métamorphose, cet appareil peut être employé pour effectuer des études expérimentales sur ce phénomène.

Voici quelques suggestions qui pourraient servir de sujets en vue d'un projet de recherche:

- 1) Quel gradient de température du haut au bas de l'appareil, c'est-à-dire en degré par centimètres ( $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ), est



nécessaire pour la formation ou le grossissement des cristaux de givre en profondeur? Quelles sont les limites inférieures et supérieures?

- 2) Quel est l'effet de la densité (ou la masse volumique) de la neige en ce qui concerne le gradient de température qui résulte d'un tel régime de température au haut et au bas de l'appareil? Quel est l'effet de la densité de la neige sur la métamorphose (la forme des cristaux et leur taille)?
- 3) Quel est l'effet du tassement de la neige sur la métamorphose? On sait que dans les montagnes on effectue un tassement mécanique des pentes de ski. Pourquoi?

B I B L I O G R A P H I E

- Adams, W.P. "A Classification of Freshwater Ice." *Musk-Ox*, 18:99-102, 1976.
- Adorjan, A.S. and G.B. Kolenosky. *A Manual for the Identification of Hairs of Selected Ontario Mammals*. Government of Ontario: Research Report (Wildlife) No. 90, 1969. 64 pp.
- Affaires indiennes et du Nord Canada. *Au nord du 60e - La construction en pergélisol: Obstacles: Le sol et le climat*. Ottawa: Affaires indiennes et du Nord, 1977. 9 pp.
- \_\_\_\_\_. *Le Nord canadien, aujourd'hui*. Ottawa: Affaires indiennes et du Nord Canada, 1981.
- Aitchison, Cassie W. "Winter-active Spiders and Insects." *Manitoba Nature*, 18:4:26-30. Winter, 1977.
- Aleksiuk, Michael. "Manitoba's Fantastic Snake Pits." *National Geographic*, November, 1975, pp. 715-723.
- Asahina, Eizo. "Prefreezing as a Method enabling Animals to Survive Freezing at an Extremely Low Temperature." *Nature*, 184:4691:1003-1004. September, 1959.
- Baldwin, Don. "L'adaptation à l'hiver." *Au courant*, 2:6:8-9. janvier 1982.
- \_\_\_\_\_. "Que savez-vous sur la migration des oiseaux." *Au courant*, 2:5:14-15. novembre 1981.
- Bayly, I. and C. McDonald. *Snow Ecology II: Survival of Organisms at or above Snow Level-An Introduction*. Ottawa: Carleton University, 1977.
- Beck, Stanley D. "Insects and the Length of the Day." *Scientific American*, 202:2:108-122, 1960.
- Besner, Lilliane. "La vie sous zéro." *Québec Science*, mars 1979, pp. 16-23.

- Bider, J. Roger. "An Ecological Study of the Hare *Lepus Americanus*." *Canadian Journal of Zoology*, 39:81-103, 1961.
- Block, William. "Terrestrial Arthropods and Low Temperature." *Cryobiology*, 18:4:436-444, 1981.
- Brown, R.J.E. "Permafrost Map of Canada." *Canadian Geographical Journal*, 76:2:56-63, 1968.
- Chalmers, Bruce. "How Water Freezes." *Scientific American*, 200:2:114-122, 1959.
- Clark, Richard J. "Owl Pellets." *Carolina Tips*, 45:6:1-2. June, 1982.
- Couchman, J. Kenneth, et al. *Neige et glace, Etude de ton environnement*. Montréal: Les Editions H R W Ltée, 1977.
- Diltz-Siler, Barbara. *Understanding Avalanches*. Lynnwood, WA: Signpost Publications, 1977. 32 pp.
- Dunbar, M.J. *Ecological Development in Polar Regions: A Study in Evolution*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1968.
- \_\_\_\_\_. "Stability and Fragility in Arctic Ecosystems." *Arctic*, 26:3:179-185, 1973.
- Elliott, Charles. *The Outdoor Observer*. New York: E.P. Dutton & Co., 1969.
- Formozov, A.N. *Snow Cover as an Integral Factor of the Environment and its Importance in the Ecology of Mammals and Birds*. Occasional Publication no. 1, Boreal Institute. Edmonton: University of Alberta, 1946.
- Graika, Thomas. "The Effects of Wind on Snow." *The Science Teacher*, October, 1973, pp. 47-50.
- Hatch, David R.M. "The Grouse and Ptarmigan of Manitoba." *Manitoba Nature*, 16:4:4-10. Winter, 1975.
- \_\_\_\_\_, "Winter Birds in Manitoba." *Manitoba Nature*, 15:4:14-17. Winter, 1974.
- Hawley, Alexander W.L. "A Snake's Winter." *Manitoba Nature*, 14:3:16-19. Autumn, 1973.

- Hindman, Edward E. and Robert L. Rinker, Continuous Snowfall Replicator." *Journal of Applied Meteorology*, February, 1967, pp. 126-133.
- Holbrow, Colin. "Wolverine." *Manitoba Nature*, 19:3:19-30. Autumn, 1978.
- Irving, Laurence. "Adaptations to Cold." *Scientific American*, 214:1:94-101. January, 1966.
- Ives, Jack D. and R.G. Barry, ed. *Arctic and Alpine Environments*. New York: Harper & Row, 1974.
- Johnson, Karen. "The Boreal Forest: An Ecologist's View." *Manitoba Nature*, 20:2:14-23, 1979.
- Knight, Charles et N. Knight. "Les cristaux de neige." *Les phénomènes naturels*, Bibliothèque Pour la science. Paris: diffusion Belin, 1978.
- LaChapelle, Edward R. *Field Guide to Snow Crystals*. Seattle: University of Washington Press, 1969. 101 pp.
- Lindsay, R.V. "A Mid-winter Quest for Bats." *Manitoba Nature*, 18:4:18-19. Winter, 1977.
- Lyman, Charles P. "Activity, Food Consumption and Hoarding in Hibernators." *Journal of Mammalogy*, 35:4:545-552, 1954.
- MacArthur, R.A. "Muskrats and Cold: A Study of Survival." *Manitoba Nature*, 18:4:20-25. Winter, 1977.
- Malcomson, D. and I. Bayly. *Snow Ecology I: Thermal and Physical Properties of Snow*. Ottawa: Carleton University, 1977.
- Marbouty D. "An Experimental Study of Temperature-Gradient Metamorphism." *Journal of Glaciology*, 26:94:303-312, 1980.
- \_\_\_\_\_. "Le déclenchement des avalanches." *La recherche*, 12:122:546-557. mai 1981.
- Montagne, John. "The University Course in Snow Dynamics - A Stepping-Stone to Career Interests in Avalanche Hazards." *Journal of Glaciology*, 26:94:97-103, 1980.

- Moran, Joseph M. "Snow Sampling: A Student Project for Determination of Urban Air-Borne Particulate Distribution." *The Science Teacher*, November, 1973, pp. 38-39.
- Murie, Olaus J. *A Field Guide to Animal Tracks*, 2d ed. The Peterson Field Guide Series. Boston: Houghton Mifflin Company, 1975.
- Murphy, Brother James. "An Exercise in Winter Ecology." *The Science Teacher*, October, 1970, pp. 59-61.
- Nakaya, Ukichiro. *Formation of Snow Crystals*. Washington: Corps of Engineers, U.S. Army, Snow, Ice and Permafrost Research Establishment. Research Paper 3, January 1954, 12 pp.
- Newbury, Robert W. "Melting Manitoba." *Manitoba Nature*, 16:1:4-7. Spring, 1975.
- Oetting, Robert E. "Animal Response to Winter." *Conservation Comment*, October/November, 1974, pp. 1-6.
- Pattimore, John H. "Signs: Aesthetic Adventures and Biological Secrets." *Manitoba Nature*, 19:4:26-30. Winter, 1978.
- Phillips, R.E. and C.A. Watson. "Animal Adaptation and Acclimatization to Cold." *American Biology Teacher*, December, 1977, pp. 528-532.
- \_\_\_\_\_. *Winter Investigations: Teacher Resource Manual*. Winnipeg: Enviro-Concerns, 1977. 127 pp.
- Protection contre neiges et vents à la ferme et au parc*. Ottawa: Ministère de l'Agriculture du Canada, 1972. Publication 1461, 20 pp.
- Pruitt, William O., Jr. *Boreal Ecology*, Studies in Biology, No. 91. London: Edward Arnold Publishers, 1978.
- \_\_\_\_\_. "Life in the Snow." *Manitoba Nature*, 14:4:3-11. Winter, 1973.
- \_\_\_\_\_. "Observations on the Bioclimate of some Taiga Mammals." *Arctic*, 10:3:131-138, 1957.
- \_\_\_\_\_. "Snow as a Factor in the Winter Ecology of the Barren Ground Caribou (*Rangifer arcticus*)." *Arctic*, 12:3:159-179, 1959.

- \_\_\_\_\_. "Qali, A Taiga Snow Formation of Ecological Importance." *Ecology*, 39:1:169-172. January, 1958.
- Rauch, J.C. "How Bats Survive in the Cold." *Manitoba Nature*, Winter 1972, pp.10-13.
- Richard, Pierre. "Les détectives de la neige." *Québec Science*, février 1980, pp. 46-49.
- Ring, Richard A. and D. Tesar. "Adaptations to Cold in Canadian Arctic Insects." *Cryobiology*, 18:2:199-211, 1981.
- Robbins, C.S. et al. *Guide des oiseaux d'Amérique du Nord*. La Prairie, Québec: Editions marcel broquet, 1980.
- Service canadien de la faune. *La faune de l'arrière pays*. Ottawa: Environnement Canada, Gestion de l'environnement, 1980.
- Sisson, Robert F. "Frost, Nature's Icing." *National Geographic*, March, 1976, pp. 398-404.
- \_\_\_\_\_. "Snowflakes to Keep." *National Geographic*, January 1970, pp. 104-111.
- Smith, L.B. "Insect Life in Winter." *Manitoba Nature*, 13:4:24-27. Winter, 1972.
- Smith, I. Norman, ed. *The Unbelievable Land*. Ottawa: Ministère des Approvisionnements et Services, 1964.
- Stardom, Richard R.P. "Mistigâski Âtik Konik: Woodland Caribou in the Snow." *Manitoba Nature*, 12:4:18-23. Winter, 1972.
- Steen, Jon. "Climatic Adaptation in some Small Northern Birds." *Ecology*, 39:4:625-629, 1958.
- Stethem, C. and R. Perla. "Snow-Slab Studies at Whistler Mountain, British-Columbia, Canada." *Journal of Glaciology*, 26:94:85-91, 1980.
- Tretiak, Alex. "An Introduction to Snow Ecology." Winnipeg: Faculty of Education, University of Manitoba, n.d.. (Mimeographed.)
- Turner, Brian N. and S.L. Iverson. "Meadow Voles, Forest Voles." *Manitoba Nature*, 16:1:8-13. Spring, 1975.

Unesco. *Ecologie des régions subarctiques*, Actes du colloque d'Helsinki.  
Unesco: Ecologie et conservation, 1970.

Wrigley, Robert E. "White Wave: The Incredible Migration of the Arctic Fox."  
*Manitoba Nature*, 18:4:12-15. Winter 1977.

### Summary

Instructional design has been defined as the process of systematically designing instruction. Although many separate procedures are employed in this process, they can all be assigned to three fundamentally distinct phases, i.e., definition, development and evaluation. The definition phase which preceded this study essentially delineated the design of the materials. The primary focus in this study has therefore been on the development and evaluation phases of instructional design.

The instructional materials (i.e., *La terre: astre vivant* and *L'écologie boréale*) were both specifically designed to promote an inquiry approach to science education, i.e., emphasis was given to strategies which dealt with general inquiry and science processes. Special consideration was given to learning activities which expressly encouraged creative open-ended inquiry involving the use of higher-level integrated processes.



## CHAPTER FOUR

## Evaluation of Substance

The evaluation of the instructional modules involved two major components. The first component considered the substance of the modules, i.e., basically the content and the instructional strategies; while the second specifically focused on the readability or form of the modules. This chapter has reviewed the evaluation of substance only. The methodology, the results, and the discussion of these results have all been presented in this chapter. Similarly, the evaluation of readability has been presented in the following chapter.

The Expert Panel

The panels were composed of expert judges. By expert, the author means "one who has acquired special skill in or knowledge of a particular subject (Webster's New Collegiate Dictionary, 1973:400)." Each expert had agreed to judge or evaluate one instructional module. Two basic groups of experts were involved in this study: teachers or experts in pedagogy; and subject area specialists or experts in a particular scientific discipline. The experts in each group were further assigned to one of two separate subgroups, depending on which instructional module they had been asked to evaluate: L'écologie boréale, or La terre: astre vivant. Table 2 gives the number of experts in each subgroup or panel.

Table 2

## The Number of Experts in Each Panel

Expert	<u>La terre: astre vivant</u>	<u>L'écologie boréale</u>
Teachers	3	3
Specialists	3	3

The panel of specialists for L'écologie boréale was composed of three members: a zoology professor, author and researcher specializing in boreal ecology (Ph.D.); a research scientist and doctoral student in entomology with a specialization in the winter ecology of invertebrates (B.A., B.Sc.H., M.Sc.); and a park warden with Parks Canada (B.A., B.Sc.).

The panel of specialists for La terre: astre vivant was composed of three college or university professors. Two of these specialists had M.A.'s in geography and several years of teaching experience, while the third specialist had a Ph.D. in geology and twenty years of teaching experience.

The teacher panels were composed of high school teachers specifically teaching students for whom the instructional modules had been developed. All six teachers had been teaching at the grade ten level for at least several years. Five of the teachers taught mostly science, while the sixth teacher taught geography. Four of the six teachers each had two degrees: a B.Ed., and either a B.A. (three teachers) or

a B.Sc. (one teacher). The remaining two teachers each had a Certificate in Education, and either a B.A. or B.A. (Honours). Teaching experience for all six teachers averaged eleven years, ranging from four to twenty-five years of experience.

#### Methodology

All of the panel members, specialists and teachers alike, were initially contacted either by phone or in person, and invited to participate in the study. Each potential participant was informed at this time of their role as expert in the evaluation process.

#### Procedures

In mid-November, the following documents were mailed to each panel member: the module to be evaluated; the appropriate questionnaire (i.e., "specialist" or "teacher" version); a resumé sheet; and a letter describing the nature of the study.

The letter has been included in Appendix A. It briefly described the practicum in which two distinct modules would be developed and evaluated. The letter also directed the panel members to evaluate the instructional modules using the criteria outlined in the questionnaire. Finally, the participants were invited: (a) to specifically identify problem areas in the module; (b) to explain why the identified part was a problem; and (c) to describe how the problem might be resolved. This letter was also accompanied by a resumé sheet.

The resumé sheet asked the panel members for information about qualifications and experience in their field of expertise. This information was requested in order to avoid the situation in which nothing

is known or reported about the expert panel. Beauchamp (1979), after a review of the literature on evaluation by expert panels, had written that in most instances very little information is given about the level of expertise of panel members in the reporting of such research. The panel members were given assurances that they would remain anonymous in the final report.

### Instrumentation

Two different questionnaires were constructed for use in this study. Material by Armstrong (1973), Gow (1980), and Lewy (1977) all served as theoretical bases in the construction of these questionnaires. Distinct criteria were developed for the two instruments. A five-point scale ranging from one (not at all), three (to a moderate extent), up to five (to a great extent) was employed in both questionnaires. For each question, the respondent was also invited to give specific comments. Both questionnaires were made available in French and English-language versions, and the judges were invited to reply in either language. The questionnaire for the subject area specialists predominantly focused on questions of content, specifically the following criteria: clarity, organization, accuracy, validity, sampling, sequence, impact, relevance, and viability.

The teacher questionnaire also asked some questions about content, but other issues were also addressed. Respondents were also queried about (1) the activities or investigations, (2) the questions, problems, and exercises, (3) the difficulty (i.e., in terms of both readability and concepts), and (4) the adaptability of the module to the teaching

situation (i.e., flexibility and interactiveness). The criteria for both questionnaires were explicitly defined in the instruments themselves which have been included in Appendix A.

### Results

In this section, the range and mean results of the questionnaire items have been reported. In addition, since most of the questionnaires were completed in French, a brief paraphrase of all significant comments has been given. The actual comments made by the various panel experts have been included verbatim in Appendix B. Completed questionnaires were received from all twelve panel experts.

#### *La terre: astre vivant*

Subject Area Specialists. Table 3 summarizes the results of the questionnaire for this panel evaluating *La terre: astre vivant*. Three of the items had means less than 3.5 on the five-point scale. These three items included content relevance (values of 2.3 and 1.5 respectively for immediate and future relevance), and content viability (3.0). Four of the items had means equal to or greater than four. This series included content clarity (4.2), and finally content validity, content sampling, and content impact all at four points. Similarly, three criteria had ranges exceeding one point on the scale. Content organization and content relevance (immediate) both had ranges of four points, while content viability had a range of two points.

Table 3

The Range and Means of Subject  
Area Specialist Ratings of  
*La terre: astre vivant*

Criteria	Range					Mean
	Not at all	To a moderate extent			To a great extent	
	1	2	3	4	5	
1. Content Clarity				I—I		4.2
2. Content Organization		I	—————		I	3.7
3. Content Accuracy			I	—————	I	3.7
4. Content Validity				I		4.0
5. Content Sampling				I		4.0
6. Content Sequence			I	—————	I	3.7
7. Content Impact				I		4.0
8. Content Relevance (immediate)	I	—————		I		2.3
9. Content Relevance (future)	I	—————	I			1.5
10. Content Viability		I	—————	I		3.0

Note: One respondent did not answer questions 5, 9 and 10.

All three subject area specialists made specific and general comments with respect to the module. Two specialists indicated that content clarity varied from chapter to chapter. One specialist suggested that the chapter on La géochronologie should be reorganized to make it less confusing. Another thought that the inclusion of learning activities within the text interrupted the logical flow of ideas. Finally, one specialist criticized the organization of content in the final chapter, disagreeing with the order of the topics (i.e., continental drift, expansion of the oceanic floor, and plate tectonics).

Two of the specialists gave detailed assessments of the accuracy of the content. One specialist made reference to the following inaccuracies: the process of varve formation, the process of orogenesis, the absence of a legend accompanying a diagram, the phenomenon of magnetic anomalies. This same expert also wrote that several questions were probably too difficult for the intended students. The other specialist giving an in-depth evaluation made all comments directly on his copy of the text which he returned to the writer. Generally, the errors identified were of form or style (grammar, spelling, convention, etc.) rather than content. Nonetheless, this expert identified two diagrams which were erroneous: one showing the structure of the earth's surface; the other describing the formation of the earth's oceans. The third expert indicated that the data on the earth's diameter were inaccurate.

On the related question of content validity, or whether the content is up-to-date, one specialist pointed out that a more recent hypothesis exists to explain plate tectonics. This new hypothesis is based on the

expansion of the earth's diameter. Finally, no comments were made relative to content sampling, sequence, or impact by any of the specialists.

On the issue of relevance to the students, two of the three experts responded by addressing concerns about cognitive appropriateness. One expert wrote that his major concern overall was with the cognitive level of the materials. Another specialist suggested that the content was relevant "in absolute terms, however in reality it was not since few students would go to the trouble of dealing with abstract ideas." With respect to content viability, both of these same experts agreed that the module met a need for instructional materials in their content area, providing that it would be used at a higher grade level where it was deemed to be more appropriate cognitively, i.e., grade eleven or grade twelve. One expert further qualified the appropriate grade level placement of the module by suggesting that the level varied according to the chapter, certain ones being easier than others. Another expert stated in a telephone conversation, that he thought that the text itself was adapted to the students (i.e., the readability), but not the content.

General comments were also made by all three subject area specialists. One specialist wrote that the module was "very good overall." Another concluded that as a whole the module was well-conceived, logically organized and well-explained. Also, the learning activities were thought to be pertinent and interesting, the diagrams well-chosen, and the sources of information well-documented. The major concern expressed by this specialist involved the question of cognitive appropriateness. The third specialist described his perspective in the



evaluation exercise, indicating that he had generalized from perceptions about his present freshman college students' interests, attitudes and capabilities. These remarks were certainly valuable in interpreting his comments. Munby (1982) has alluded to the importance of context in interpreting the evaluation of judges.

Teachers. Table 4 has summarized the results of the questionnaire for this panel evaluating *La terre: astre vivant*. One of the panel members had assigned two values for all but three items on the questionnaire to accurately depict his different assessment of two separate chapters. This analysis of results limited itself to the lower of the two means, and the combined total range for each item. Only two items had means less than 3.5 on the five-point scale. These included the effectiveness of the activities and conceptual difficulty, both at 3.3. Four items had means that were equal to or greater than four: content organization (4.3), relevance (4.0), flexibility (4.7), and interactivity (4.0). Despite including two assessments from one teacher, the values still never ranged over more than two points on the scale.

Table 4

The Range and Means of Teacher Ratings  
of La terre: astre vivant

Criteria	Range					Mean <sup>a</sup>
	Not at all	To	a moderate extent	To	a great extent	
	1	2	3	4	5	
1. Content Clarity			I—————I			3.7 (4.3)
2. Content Organization				I—————I		4.3 (4.7)
3. Activities/Content Balance			I—————I			3.7 (4.0)
4. Activities Effectiveness			I—————I			3.3 (3.7)
5. Problem Appropriateness			I—————I			3.7 (4.3)
6. Conceptual Difficulty			I—————I			3.3 (4.0)
7. Readability			I—————I			3.7
8. Relevance			I—————I			4.0 (4.3)
9. Flexibility				I—————I		4.7
10. Interactiveness			I—————I			4.0

<sup>a</sup>One of the judges assigned two values for all but three items on the questionnaire: one value for the chapter La géochronologie, another for La terre: astre vivant (within parentheses).

A brief synopsis of the general and specific comments on La terre: astre vivant given by the panel of teachers has been included below.

With respect to content clarity, the teacher-experts were unanimous in suggesting that some sections of the module were difficult. Two of the teachers thought that some sections required elaboration: for example, terms that were undefined, inadequate explanations, descriptions of procedures that seemed incomplete. One member of the panel further stated that he would have appreciated more references to local geological events (i.e., examples taken from Manitoba and Canada), and to historical events (i.e., Eratosthenes' method of calculating the circumference of the earth). The content was generally thought to be well-organized, although two panel members did recommend the use of chapter numbers to further clarify the organizational framework. Another suggested that the first section appeared less organized compared to the remaining sections.

With regard to the balance between activities and content or to the effectiveness of these same activities, the panel was generally positive despite the identification of certain activities which were deemed impractical or ineffective. One teacher wrote that there were too many activities for the amount of content in the first section. On the issue of the appropriateness of problems for the students; one teacher thought that they were generally difficult, while another wrote that there appeared to be a good balance between difficult and easy questions. This latter teacher also expressed his disagreement with the use of true and false questions.

On the dual questions of conceptual difficulty and readability of the text; two of the panel members indicated that both varied from section to section, while the third member said that despite the satisfactory readability level the "information load" of the module was still heavy. Furthermore, this same teacher added that the students would likely find the module difficult since they were being "asked to think for themselves." Finally, one teacher wrote that certain concepts might be better understood by students in grade eleven or twelve.

Only two of the panel members commented on questions eight, nine and ten (relevance, flexibility and interactiveness). One teacher wrote that, while the latter part of the module appeared much more relevant, the first part was a good source of supplementary information and should therefore be retained. This teacher also judged the module to be flexible enough to accommodate its varied use in different situations. Furthermore, this member suspected that the module would lend itself to highly interactive teacher-student classroom situations. The only other panel member to comment thought that the module would be judged relevant by students because it dealt with phenomena affecting contemporary society (Mount St-Helen, San Andreas Fault, etc.).

Only two of the panel members included general comments. One teacher indicated that of all the sections in the module, he had preferred the chapter on La terre en évolution. The other teacher wrote that, in the light of his geology courses at university, he had found the content to be pertinent and very well presented.

L'écologie boréale

Subject Area Specialists. Table 5 has summarized the results of the questionnaire for this panel evaluating L'écologie boréale. Only two of the three subject area specialists completed the questionnaire. The other member of the panel gave only written comments. The mean of every item was either equal to or greater than four. Also, with the exception of three items, the two respondents were unanimous in their ratings. The ranges for the three exceptions were 0.5 for content validity, one for content relevance, and two for content viability.

Table 5

The Range and Means of Subject  
Area Specialist Ratings of  
*L'écologie boréale*

Criteria	Range					Mean
	Not at all	To a moderate extent		To a great extent		
	1	2	3	4	5	
1. Content Clarity				I		4.0
2. Content Organization					I	5.0
3. Content Accuracy				I		4.0
4. Content Validity				I—I		4.3
5. Content Sampling					I	5.0
6. Content Sequence					I	5.0
7. Content Impact				I		4.0
8. Content Relevance <sup>a</sup>					I	5.0
9. Content Relevance				I—I	I	4.5
10. Content Viability			I—I	I—I	I	4.0

Note: The results are based on two completed questionnaires, since one specialist gave written comments only.

<sup>a</sup>Only one specialist responded to item 8.

The specialists all made detailed comments about the content, particularly relative to inaccuracies or pertinent content modifications. The specialists were generally quite favorable despite certain omissions and inaccuracies. One member of this panel said that the concrete imagery of the text enhanced its clarity. The content organization was also favorably perceived by the panel: one member described it as excellent, another indicated that the sequence of ideas in the text was very logical. On the question of content validity, one panel member wrote that the module showed evidence of solid research. The panel did nevertheless identify certain areas where more recent information was currently available. On this point, the panel was unanimous in offering their assistance in the task of rectifying these deficiencies.

Two of the specialists indicated that the instructional materials were definitely relevant to the students. These declarations, though, were generally based upon their perceptions about the need for more ecological research, rather than the needs for a scientifically literate citizenry. One member also wrote that the topic of winter survival should have been included in the module. Furthermore, the panel thought that the module met a need for instructional materials in their area: one member wrote that the module should be made "available on a national scale"; another wrote that he hoped "it is published and distributed widely."

Teachers. Table 6 has summarized the results of the questionnaire for this panel evaluating *L'écologie boréale*. Only one of the items had a mean value less than 3.5 (readability at 3.3), while six items had mean values greater than four. Content clarity, activities/content balance, activities effectiveness, and flexibility all had a mean value of 4.7, while content organization and interactiveness rated fives. Only two items, relevance (1.5) and conceptual difficulty (3), had ranges which exceeded one full point on the scale.



Table 6

The Range and Means of Teacher Ratings  
of *L'écologie boréale*

Criteria	Range					Mean
	Not at all	To a moderate extent		To a great extent		
	1	2	3	4	5	
1. Content Clarity				I—	I	4.7
2. Content Organization					I	5.0
3. Activities/Content balance				I—	I	4.7
4. Activities Effectiveness				I—	I	4.7
5. Problem Appropriateness			I—	I		3.7
6. Conceptual Difficulty		I—			I	3.7
7. Readability			I—	I		3.3
8. Relevance			I—	I		3.8
9. Flexibility				I—	I	4.7
10. Interactiveness					I	5.0

All three teachers on the panel made specific comments relative to the module.

On the related questions of content clarity and content organization, the panel was quite positive. One member wrote that the illustrations enhanced the clarity of the text. Another said that the chapters appeared straightforward and distinct. The third member of the panel indicated that, while the module was very interesting and well-organized, it should nevertheless be accompanied by a teacher's guide to explicate the various questions, problems and activities.

On the issue of balance between activities and content, the teachers were very favorable. The activities were described as numerous, very good, and effective. It was also suggested that some of them would be difficult to realize because of the constraints of the formal school system. Furthermore, it was felt that teachers would have to adapt the activities to their particular group of students. One teacher indicated that there appeared to be a lot of textual materials, while another suggested that the module was probably too long for the projected teaching time of 5-6 weeks.

The questionnaire item on the appropriateness of the problems drew varied responses from the panel. One teacher wrote that the problems appeared appropriate for students in both Sciences 100 and 101. Another indicated that some activities required measurement skills which would necessitate a review by the teacher, while yet another member suggested that certain problems were probably inappropriate for the typical grade ten class.

On the related issue of conceptual difficulty, responses of the panel members were extremely varied ranging from 2 to 5 on the scale. One teacher believed that the concepts were appropriate for the students, while two teachers suggested that certain sections of the module, or rather certain concepts, were too difficult for the target student group. One teacher wrote that, because the section on snow was so detailed, students would probably be more at ease with the one on the biotic community. With regard to the readability of the text; one panel member commented that there appeared to be a lot of new vocabulary introduced in the module, while another member believed that the Sciences 101 students would likely have difficulty understanding it.

The panel of teachers was unanimous in judging the module very adaptable to various classroom situations. One teacher wrote that the module appeared highly flexible, since many of the activities could be done either indoors or outdoors. Another suggested that the teacher could, in effect, choose to do only those sections of interest to the class. The panel was also quite positive (i.e., a mean response of 5) in their assessment of whether or not the module was conducive to good student-teacher interaction. One teacher mentioned that the outdoor activities would enhance this interaction, while the other two both indicated that the numerous activities in the module would necessitate much class discussion.

Two of the panel members concluded their evaluation by making general comments about the module. One member wrote that, although the module was very well designed, some sections still appeared too advanced for grade ten students. Another member thought that the study of

snow was particularly difficult due to the technical nature of the text (i.e., the new vocabulary); nonetheless he felt that the students could still work through this section with appropriate guidance from the teacher.

#### Review of Results

The items which constituted the questionnaire for the subject area specialists were classified under the following three categories or themes: (1) the content characteristics (i.e., clarity, organization, accuracy, validity, sampling and sequence); (2) the match between materials and students (i.e., impact, immediate relevance and future relevance); and (3) the viability or utility of the materials. Similarly, the items making up the teacher questionnaire were classified as follows: (1) the content characteristics (i.e., clarity, and organization); (2) the instructional strategies (activities/content balance, and activities effectiveness); (3) the match between materials and students (appropriateness of problems, questions and activities; conceptual difficulty; readability; and relevance); and (4) the instructional feasibility (flexibility, and interactiveness, i.e., potential for student-teacher interaction).

The different themes that have been identified were combined into a single grouping of five evaluation concerns. These concerns have served as the basis for interpreting the results.

La terre: astre vivant

Content Characteristics. Despite some inaccuracies and conceptual flaws, the content did not appear to be a major issue with either panel. The problems which were identified could generally be resolved without undue difficulty. One trend indirectly related to content which did surface in this analysis was the judges' varying perceptions of the module from one section to the next (i.e., assessments varied widely with the section addressed; the judges generally viewing the latter section more positively).

Instructional Strategies. Although certain activities were judged to be impractical or ineffective by one expert, the teacher panel was generally positive overall. Once again, the evaluation was more favorable towards the latter part of module.

Match Between Materials and Students. This issue proved to be of major concern to the two panels. In fact, five of the six judges commented on various facets of the matching process. For instance, the problems were thought to be unduly difficult by one judge. The conceptual difficulty was perceived as varying considerably from section to section by all three teachers to the extent that certain sections were judged as unreasonably difficult. Readability was thought to vary throughout the module by two teachers, while another indicated that it appeared uniformly appropriate.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Interestingly enough, the materials were shown to be at a reasonable reading level for the target group of students. The issue of readability has been thoroughly reviewed in the following chapter.

Panel members also proposed tentative solutions to resolve this potential mismatch. Certain judges advocated the use of the materials intact with older students in grade eleven or twelve, while others recommended the use of the more appropriate sections only (i.e., the latter sections were generally thought to be easier).

Instructional Feasibility. According to the teacher panel, the module could be easily adapted to the instructional situation. Flexibility of the module, or its use in varied instructional situations, was perceived very favorably. Also, teachers did not perceive the module as inhibiting traditional teacher-student interactions.

Viability. Two of the specialists indicated that the module met a need for instructional materials in their content area, provided that it was used by older students.

### *L'écologie boréale*

Similarly, the results of the evaluation exercise involving both subject matter specialist and teacher panels were interpreted for *L'écologie boréale* using this same thematic approach.

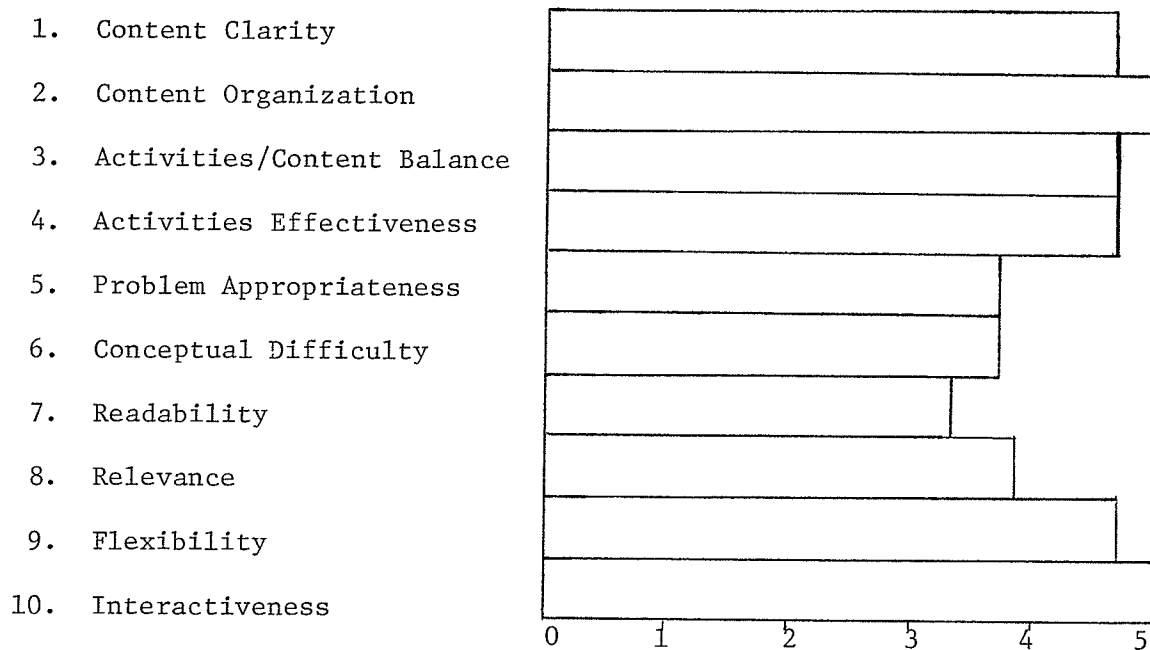
Content Characteristics. Once again, content was not considered to have been an issue with either panel. Despite certain omissions and inaccuracies which could be easily remedied, both panels judged the materials quite positively.

Instructional Strategies. The point was made by one teacher that certain activities would definitely have to be adapted by the teacher. Furthermore, concern was voiced about the logistics of conducting some of the outdoor activities. Overall, the proposed activities were viewed positively by the teachers. Nevertheless, certain issues were identified: Are the suggested procedures functional and valid? Does the formal school system constrain the use of the proposed strategies? What is the impact of these constraints on the teaching of the module?

Match Between Materials and Students. Figure 1 has depicted the mean ratings of the teacher panel for each of the ten items on the questionnaire.

Figure 1

Comparison of Mean Ratings of  
the Teacher Panel Evaluating  
*L'écologie boréale*



It is apparent from Figure 1 that the teachers as a group were concerned about the match between materials and students. The panel was uniformly more critical relative to the four characteristics subsumed under the matching category than for any other category (i.e., note the values for problem appropriateness, conceptual difficulty, readability, and relevance).

The appropriateness of the problems had been explicitly identified as a possible mismatch by two teachers. Conceptual difficulty was similarly a concern to two teachers who thought that certain sections were unduly difficult for the intended students. Readability was likewise judged to be a potential issue by two members of the teacher panel. As mentioned in the preceding section the issue of readability will be addressed in the next chapter.

Instructional Feasibility. The teacher panel was extremely positive in their evaluation of the flexibility and interactiveness inherent in the instructional package. The results suggested that the module could be adapted to a variety of different instructional settings. Furthermore, the module was perceived as facilitating rather than limiting teacher-student interaction.

Viability. The panel of specialists wrote that the module appeared to meet an urgent need for instructional materials in their content area.



### Recommendations

The general comments supplied by the different judges have proved to be an invaluable source of information, probably more so than the quantitative data from the questionnaire. Not only have the comments permitted the judges to qualify their assessment of the materials, but more importantly, they have facilitated the identification of problem areas. Without the comments, it would have been extremely difficult to interpret very much from the results.

On the basis of the results, the following recommendations have been proposed for La terre: astre vivant:

1. Correct the content inaccuracies and conceptual flaws, and elaborate the sections requiring better descriptions or explanations.
2. Reorganize the module so that the latter section predominates. The initial sections can be used as supplementary information.
3. Recommend the module for use by students in grade eleven or twelve, rather than grade ten.

On the basis of the results, the following recommendations have been proposed for L'écologie boréale:

1. Correct the content inaccuracies and conceptual flaws.
2. Conduct a field tryout (i.e., limited pilot in several schools) of the module to determine which activities are inappropriate or logistically difficult.
3. Conduct some individual testing (i.e., interview with student who uses the materials) with grade ten students to determine which sections of the text (questions, problems, activities,

etc.) are conceptually difficult.

#### Summary

The evaluation of substance of the instructional modules focused on the content characteristics, the instructional strategies, the match between materials and students, the instructional feasibility, and the viability of the module. The modules were evaluated by four separate panels involving two categories of expert judges: subject area specialists, and teachers. The experts were all given criteria explicitly defined in questionnaires: one specifically designed for the specialists; the other designed for use by the teacher experts. The specialists' questionnaire included questions on content (clarity, organization, accuracy, validity, sampling, sequence, impact, relevance, and viability), while the teacher questionnaire addressed issues such as content, instructional strategies, conceptual and reading level, and feasibility of the module to the instructional situation (i.e., flexibility and interactiveness).

The content of both modules was favorably evaluated, despite some minor inaccuracies and conceptual flaws. Similarly, the instructional strategies were generally perceived positively by the panels, though they did express some concern about the validity and logistics of certain activities. To identify which activities were unsatisfactory and why, it has been recommended that a limited field tryout be conducted.

The major point of contention in the evaluation exercise has been the conceptual match between materials and students. Two suggestions proposed by judges were accepted in order to resolve the mismatch with

respect to La terre: astre vivant. It has been recommended that only the latter section (i.e., comparatively easier) be employed with grade eleven or twelve students (i.e., conceptually more mature). To clarify this issue with respect to L'écologie boréale, it has been recommended that an individual testing program involving several students be conducted to specifically identify problem areas.

The teacher panels were unanimous in rating the modules highly in terms of adaptability, i.e., flexibility and interactiveness. Likewise, the specialists all thought that the materials met a definite need for instructional materials in their respective areas.

## CHAPTER FIVE

## Evaluation of Readability

Introduction

The readability of the instructional materials has been evaluated using several different methods. Both the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Formula, and the Georges Henry Formula were used to estimate the readability of the instructional materials. Similarly, the cloze procedure was used to obtain data measuring the actual measured readability of the materials.

The present chapter has been organized into three distinct sections. The research involving the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Formula has been discussed in the first section under the following headings: instrumentation/procedures, results, and review of results. Likewise, the research involving the Georges Henry Formula and the cloze procedure have been discussed in a similar manner.

Research Questions

A number of basic research questions were formulated after a consideration of the related literature. The primary questions addressed in this part of the study were the following:

1. Is the reading level of the instructional modules appropriate to grade ten Franco-Manitoban students (i.e., Manitoba students whose native language is French)?
2. How does the readability of the instructional modules compare with that of alternate materials (i.e., other materials considered to be suitable alternatives)?

Secondary questions were also addressed in this part of the study, specifically the following:

3. How do the results using the Flesch-DeLandsheere Reading Ease formula compare with those using the Georges Henry formula?

4. How do the estimates of readability using these formulas compare with the measured readability using the cloze procedure?

#### Selection of Passages and Materials

In order to address these questions, passages of approximately 250 words in length were randomly selected from the instructional modules and from alternate French-language materials (i.e., textual material on the same topics). Two passages were selected from each of the alternate texts, while four were selected from each of the instructional modules. Table 7 has identified the textual materials which were judged to be suitable alternatives for the two instructional modules: La terre: astre vivant (earth science) and L'écologie boréale (ecology).

Table 7

The Publication Data and Instructional Level  
of the Alternate Materials in  
Earth Science and Ecology

Title (author)	Publication Data	Instructional Level
Earth Science		
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u> (Brun-Cottan, Debrune, Debrune)	Paris: Librairie Belin, 1980	Grade 9 (France)
<u>Géographie physique</u> (Smythe, Brown, Fors, Lord)	Toronto: Macmillan, 1979	Grade 11 (Ontario)
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup> S</u> (Hervé, Maisonhaute, Marolle, Masset)	Paris: Hatier, 1982	Grade 11 (France)
Ecology		
<u>"Les cristaux de neige"</u> (Charles et Nancy Knight)	<u>Les phénomènes naturelles.</u> Paris: diffusion Belin, 1978	Journal article (French translation of <i>Scientific American</i> )
<u>"Le déclenchement des avalanches"</u> (Dominique Marbouty)	<u>La recherche</u> 12:122: 546-557, mai 1981	Journal article
<u>Neige et glace</u> (Couchman, MacBean, Stecher, Wentworth)	Montréal: HRW, 1977	Grades 4-6 (Ontario)

Table 8 has identified the source (i.e., textbook or article), the title, and the page(s) in the text for each of the twenty passages.

Table 8

## Passage Descriptions

Text	Passage number	Title	Page(s) in Text
Earth Science			
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	<u>Structure de la terre</u>	172
	2	<u>Visages de la terre</u>	185
<u>Géographie physique</u>	3	<u>Preuves à l'appui de la dérive des continents</u>	88
	4	<u>La tectonique des plaques</u>	93-94
<u>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></u>	5	<u>Lithosphère et asthénosphère</u>	236-237
	6	<u>La notion de plaque lithosphérique</u>	237-238
<u>La terre: astre vivant</u>	7	<u>La désintégration radioactive</u>	67
	8	<u>La radiochronologie</u>	69
	9	<u>La structure de la terre</u>	91-93
	10	<u>L'évaluation des dégâts sismiques</u>	100-101

Table 8 (continued)

Text	Passage number	Title	Page(s) in Text
Ecology			
<u>"Les cristaux de neige"</u> <i>(Pour la science)</i>	11	<u>Les cristaux de neige</u>	46-47
	12	<u>Le phénomène de cristallisation</u>	49
<u>Neige et glace</u>	13	<u>La chute de neige</u>	16-18
	14	<u>Le rôle du vent dans la sensation du froid</u>	51-52
<u>"Le déclenchement des avalanches"</u> ( <i>La recherche</i> )	15	<u>Des avalanches en retard</u>	550
	16	<u>Frittage et avalanches de plaque</u>	552-554
<u>L'écologie boréale</u>	17	<u>Le vieillissement de la neige</u>	206-207
	18	<u>Diverses apparences de la neige</u>	230
	19	<u>Le qali</u>	231-232
	20	<u>La communauté biotique</u>	244



Using both the Flesch-DeLandsheere and Georges Henry formulas, readability was predicted by analyzing a sample consisting of the first hundred words of each passage. The entire 250-word passage was also adapted for use as a cloze test which was later administered to grade ten Franco-Manitoban students.

### The Flesch-DeLandsheere Formula

#### Instrumentation

DeLandsheere had adapted the Flesch Reading Ease Formula for use in the French language. Although DeLandsheere left the English-language formula virtually unchanged, he altered the "rules for counting" various elements in order to compensate for the linguistic characteristics of the French language. The principal modifications introduced by DeLandsheere (1975:209) have been described below:

- (1) the sentence is redefined (sentence is terminated by a period, an exclamation mark or a question mark);
- (2) contractions (aren't), years (1982), prices (\$10.40), abbreviations (M.T.S.), and compound words (jack-in-the-box) are all counted as single words;
- (3) all of the syllables are counted (even the "silent e");
- (4) the manner in which an abbreviation is read determines the number of syllables (M.T.S. or Manitoba Teachers' Society = 10 syllables);
- (5) morphemes which phonetically begin with a semi-consonant are all counted as single syllables (e.g., ié, ieu, ien, ion, oi, ui, oui, oin, ouin, uin).

The Flesch-DeLandsheere Reading Ease score is calculated on the basis of a text sample approximating 100 words using the following formula:

$$\frac{\text{Number of words}}{\text{Number of sentences}} \times 1.015 = x$$

$$\frac{\text{Number of syllables X 100}}{\text{Number of words}} \times 0.846 = \frac{y}{x + y}$$

$$\text{Score} = 206.85 - (x + y)$$

### Results

Table 9 has summarized the raw data using the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Formula.

Sentence Length, Syllable Count, and Reading  
Ease Score using the Flesch-DeLandsheere  
Formula over the 20 Passages

Text	Passage number	Sentence length <sup>a</sup>	Syllable count <sup>b</sup>	Score
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	22.4	225	- 6.2
	2	21.2	191	22.9
<u>Géographie physique</u>	3	24.0	203	10.8
	4	16.8	192	27.4
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>	5	26.3	223	- 8.5
	6	23.0	186	26.1
<u>La terre: astre vivant</u>	7	14.9	204	19.2
	8	18.9	217	4.1
	9	17.0	218	5.2
	10	15.3	221	4.4
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>	11	22.8	186	26.4
	12	32.3	192	11.6
<u>Neige et glace</u>	13	20.2	180	34.1
	14	12.8	185	37.4
<u>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche)</u>	15	14.3	186	35.0
	16	22.4	180	31.8
<u>L'écologie boréale</u>	17	23.0	199	15.2
	18	23.2	188	24.3
	19	20.8	185	29.2
	20	13.1	194	29.4

<sup>a</sup> Mean number of words per sentence.

<sup>b</sup> Number of syllables per 100 words.

Since Flesch's Reading Ease Formula had been derived using U.S. norms, DeLandsheere adjusted the normative scale to accommodate its use with French-language materials in Belgium. Table 10 shows several benchmarks that were elucidated and described by DeLandsheere (1975). Although this scale is based on European norms, it will still, nonetheless, be used to interpret the results of the present study.

Table 10

Scale of Difficulty Based on Flesch-  
DeLandsheere Reading Ease Scores

Score	Typical material showing this level of difficulty
80	<u>Livre de lecture - 2<sup>e</sup> primaire</u> or grade 2 primary reader
50	<u>Livre de lecture - 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> primaire</u> or grade 5 and 6 elementary reader
35	<u>enseignement secondaire inférieur</u> or junior high level
30	<u>Leçons d'histoire - 1<sup>re</sup> année de l'enseignement secondaire</u> or history lesson - high school level
25	<u>enseignement secondaire supérieur</u> or high school level (upper grades)
15	newspaper, <i>Le Monde</i>
-10	difficult text by Proust

Note: Based on a similar table by DeLandsheere, (1975:211).

### Review of Results

Question One. The Reading Ease Scale was derived with a particular group of people in mind. Its use, with an entirely different group should therefore be considered tentative at best. Nevertheless, assuming that an appropriate placement for grade ten Franco-Manitoban students on this scale is between 1<sup>re</sup> année de l'enseignement secondaire and enseignement secondaire supérieur, then only nine of the twenty passages would be judged as suitable in terms of reading difficulty (i.e., score equal to or greater than 25 being considered the appropriate reading level). The use of this same logic to evaluate the instructional modules gave similar results. None of the passages taken from La terre: astre vivant exceeded a Reading Ease Score of 25 on this scale. In fact, three of the four passages had scores of five or less (5.2, 4.4 and 4.1), while the fourth had a score of 19.2. Although the Reading Ease Scores for L'écologie boréale were somewhat better, still only two of the four passages would be considered appropriate (i.e., scores of 15.2 and 24.3 were below the minimum criterion, while scores of 29.2 and 29.4 surpassed it).

Question Two. The second primary question addressed by this study was how the readability of the instructional modules compared with alternate materials. Table 11 has summarized the rank-order of the five most difficult and the five easiest passages sampled in this study.

Table 11

Flesch-DeLandsheere Reading Ease Scores of the  
Most Difficult and the Easiest Passages

Text	Passage number	Reading ease score	Rank-order of difficulty
Most Difficult Passages			
<i>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></i>	5	- 8.5	1
<i>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></i>	1	- 6.2	2
<i>La terre: astre vivant</i>	8	4.1	3
	10	4.4	4
	9	5.2	5
Easiest Passages			
<i>L'écologie boréale</i>	20	29.4	16
"Le déclenchement des avalanches" ( <i>La recherche</i> )	16	31.8	17
<i>Neige et glace</i>	13	34.1	18
"Le déclenchement des avalanches" ( <i>La recherche</i> )	15	35.0	19
<i>Neige et glace</i>	14	37.4	20

The ranking of the passages in order of difficulty showed that three of the five most difficult passages were all taken from La terre: astre vivant. The most difficult passage overall was taken from Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S which would be used in grade eleven in France, while the second most difficult passage, Sciences naturelles 3<sup>e</sup>, would be used by French students in grade nine.

The rank-order of the five easiest passages included one passage drawn from L'écologie boréale. The other four easy passages were taken either from Neige et glace, an elementary science book, or "Le déclenchement des avalanches", an article from a scientific journal published in France. Again, it seems illogical that these two publications should be so close in reading ease, since one is used by elementary school children, while the other is read by scientifically literate adults.

In order to facilitate the comparison between the readability of the instructional modules and that of alternate materials, a mean Reading Ease Score was calculated for each test. Table 12 has separately ranked the various texts in order of difficulty for the two topics.

Table 12

Rank-order of Text Difficulty for Each Topic  
on the Basis of Mean Reading Ease Score  
Using the Flesch-DeLandsheere Formula

Text	Passage numbers	Mean Reading Ease Score	Rank Order
Earth Science			
<i>La terre: un astre vivant</i>	7-10	8.19	1
<i>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></i>	1-2	8.75	2
<i>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></i>	5-6	8.82	3
<i>Géographie physique</i>	3-4	19.06	4
Ecology			
<i>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</i>	11-12	19.0	1
<i>L'écologie boréale</i>	17-20	24.52	2
<i>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche)</i>	15-16	33.40	3
<i>Neige et glace</i>	13-14	35.71	4



None of the texts in earth science were found to be at an appropriate reading level for grade ten Franco-Manitoban students. Nonetheless, if forced to choose between the four texts in this study, then Géographie physique would be the logical selection. In comparison, La terre: astre vivant would be the worst choice, since it ranked as the most difficult earth science text on the basis of the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Scores. Of the ecology texts sampled, two of them appeared quite suitable for classroom use: Neige et glace was the easiest one overall followed by "Le déclenchement des avalanches". L'écologie boréale ranked second in order of reading difficulty after "Les cristaux de neige".

#### The Georges Henry Formula

##### Instrumentation

Of the three formulas constructed by Henry (1975), only one of them is suitable for simple manual calculations. This simple formula includes three variables: the length of the sentence as defined by a word count; the number of words absent from Gougenheim's basic vocabulary list; and the number of personal references (i.e., nombre d'indicateurs de dialogue ou DEXGU) (Henry, 1975:96-98). Like DeLandsheere's procedure, Henry bases his estimate of readability on a text sample of approximately 100 words in length. With one exception, Henry defines his variables (i.e., the sentence, the word, etc.) in the same manner as DeLandsheere. Contrary to DeLandsheere's though, Henry counts most contractions as two words rather than only one. The number of personal references, or DEXGU, is analogous to Flesch's Human Interest Score.

To determine it, the aggregate total of the number of exclamation marks, the number of quotation marks (or other punctuation devices denoting dialogue), and the number of "first names" introduced alone is calculated.

### Results

Table 13 has summarized the raw data from the present study using the Georges Henry Readability Formula.

Table 13

Sentence Length, Number of Words Absent from  
Gougenheim's List, and the Readability  
Score Using Henry's Formula  
Over the 20 Passages

Text	Passage Number	Sentence Length <sup>a</sup>	Words <sup>b</sup> Absent	Score <sup>c</sup> (%)	
				8/9	11/12
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	24.4	30	39	48
	2	22.0	28	41	50
<u>Géographie physique</u>	3	26.0	31	38	47
	4	17.7	24	46	55
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>	5	27.8	32	36	45
	6	25.0	26	40	50
<u>La terre: astre vivant</u>	7	16.8	27	44	53
	8	20.2	26	43	52
	9	16.8	33	42	50
	10	16.7	29	43	52

Table 13 (continued)

Text	Passage Number	Sentence Length <sup>a</sup>	Words <sup>b</sup> Absent	Score <sup>c</sup> (%)	
				8/9	11/12
<u>"Les cristaux de neige"</u> <i>(Pour la science)</i>	11	25.0	25	41	51
	12	33.5	25	37	48
<u>Neige et glace</u>	13	21.0	20	45	56
	14	14.0	20	50	60
<u>"Le déclenchement des avalanches"</u> ( <i>La recherche</i> )	15	17.0	22	47	57
	16	23.6	24	41	52
<u>L'écologie boréale</u>	17	18.3	34	40	48
	18	23.8	23	42	53
	19	21.6	22	44	54
	20	14.0	36	42	50 <sup>d</sup>

Note: DEXGU was zero for each of the 20 passages.

<sup>a</sup> Mean number of words per sentence.

<sup>b</sup> Number of words absent from Gougenheim's list in the 100 word passage.

<sup>c</sup> Expressed as a percentage on a test of closure written by students at either the grade 8 and 9 level, or the grade 11 and 12 level.

<sup>d</sup> Extrapolated from graph.

Henry (1975) had constructed his formulas on the basis of cloze data with Belgian students at three different grade levels (grades five/six, eight/nine, and eleven/twelve). The simplest formula (i.e., suitable for manual calculations) gives a result which is then compared with graphical values derived from his study. Interpretation of the graph yields a predicted cloze score for one of the normative populations (i.e., one of the three groups of Belgian students).

#### Review of Results

Question One. Since the present study had included students who were midway in between two of the normative groups employed in Henry's initial study, the estimates of readability for each of these two grade levels (i.e., grade eight/nine, and eleven/twelve) were thus analyzed initially. Table 13 has summarized the cloze score estimates based on Henry's formula for each of the twenty passages in the present study. Analysis of the cloze estimates for grades eight/nine suggested that 17 of the 20 passages were at the optimal reading level for Belgian students (cloze score of 35-45%), while 3 of the passages were considered easy (cloze score above 45%). These easy passages were taken from *Géographie physique*, *Neige et glace*, and "Le déclenchement des avalanches" (La recherche) (passages 4, 14 and 15, respectively). Analysis of the cloze estimates using grade eleven/twelve norms indicated that all but one of the passages were too easy. Passage number five from *Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S* was the only one to remain in the optimal range.

Assuming that the grade ten Franco-Manitoban students have reading skills comparable to grade eight/nine Belgian students, then the reading level of both instructional modules developed in this present study would have been deemed appropriate since the cloze estimates were all in the optimal range. Therefore, using the Georges Henry formula as the criterion, the two instructional modules would be considered at an appropriate reading level for grade ten Franco-Manitoban students.

Question Two. The second primary question addressed by this study was how the readability of the instructional modules compared with that of alternate materials. Table 14 has summarized the rank-order of the five most difficult and the five easiest passages sampled in this study based on the estimated cloze scores using the grade eight/nine Belgian norms.

Table 14

Rank Order of the Most Difficult and  
the Easiest Passages Based on  
Cloze Score Estimates Using  
Henry's Readability Formula

Text	Passage Number	Cloze Score (%)	Rank order of difficulty
Most Difficult Passages			
<i>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></i>	5	36	1
" <i>Les cristaux de neige</i> " ( <i>Pour la science</i> )	12	37	2
<i>Géographie physique</i>	3	38	3
<i>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></i>	1	39	4
<i>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></i>	6	40	5.5
<i>L'écologie boréale</i>	17	40	5.5
Easiest Passages			
<i>La terre: astre vivant</i>	7	44	15.5
<i>L'écologie boréale</i>	19	44	15.5
<i>Neige et glace</i>	13	45	17
<i>Géographie physique</i>	4	46	18
" <i>Le déclenchement des avalanches</i> " ( <i>La recherche</i> )	15	47	19
<i>Neige et glace</i>	14	50	20

The ranking of the passages in order of difficulty indicated that only one passage drawn from the instructional modules had placed within the five most difficult passages. Specifically, a passage selected from L'écologie boréale (passage number 17) tied for fifth place with another from Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S (passage number 6). Both of the passages taken from this latter textbook had placed within the most difficult category. Others classified as difficult had included passages from "Les cristaux de neige" (Pour la science), Géographie physique, and Sciences naturelles 3<sup>e</sup>.

The rank-order of the five easiest passages included two passages chosen from the instructional modules. Passage number 7 taken from La terre: astre vivant, and passage number 19 taken from L'écologie boréale were tied for sixteenth place. Both of the passages selected from Neige et glace also figured on this list with one of them (number 14) even ranking as the easiest passage overall. Others placing in this easy category included passages drawn from Géographie physique and "Le déclenchement des avalanches" (La recherche).

In order to facilitate comparisons between the different materials, a mean cloze score was calculated from the scores for grade eight/nine. Table 15 separately ranks the various texts in order of difficulty for the two topics.



Table 15

Rank Order of Text Difficulty for Each Topic  
on the Basis of Mean Cloze Score Predicted  
by the Georges Henry Formula

Text	Passage Number	Mean Cloze Score (%)	Rank
Earth Science			
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>	5-6	38	1
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1-2	40	2
<u>Géographie physique</u>	3-4	42	3
<u>La terre: astre vivant</u>	7-10	43	4
Ecology			
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>	11-12	39	1
<u>L'écologie boréale</u>	17-20	42	2
<u>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche</u>	15-16	44	3
<u>Neige et glace</u>	13-14	47.5	4

Of the four alternate texts in earth science, La terre: astre vivant appeared to be the easiest one based on a comparison of the mean grade eight/nine cloze estimates using the Georges Henry Formula. This text was followed closely by Géographie physique, which is approved for use in grade eleven by the Ontario Ministry of Education. The most difficult textbooks for this topic were both French publications. The rank-order of difficulty for these two French textbooks was consistent with the author's expectations, since Biologie, géologie 1<sup>res</sup> (i.e., used in grade eleven) had a lower cloze score estimate than Sciences naturelles 3<sup>e</sup> (i.e., used in grade nine).

Of the four texts in ecology, Neige et glace ranked as the easiest textbook based on the mean cloze score. This was consistent with the author's predictions. In contrast, "Les cristaux de neige" taken from (Pour la science) rated as the most difficult text. This was followed by L'écologie boréale and "Le déclenchement des avalanches", (La recherche) in that order, respectively.

#### Cloze Procedure

Jongsma (1971) has written that most investigators do not adequately describe their methodology when reporting cloze research. For any kind of research to be of value, it must be replicable by others in the field. Since replication is only possible if the research methods have been explicitly described, Jongsma's (1971) guidelines were followed in reporting this study.

### Procedure

The Cloze Passage. The passages were all randomly selected from the specified textbooks. A random numbers table was used to pick both the page and the paragraph for the start of each passage. Four samples were selected from each of the instructional modules, while two samples were selected from each of the alternate texts. The corrected cloze passages have all been included in Appendix C. Each passage consisted of a titled open-ended cloze test of approximately 250 words in length. A systematic every fifth word deletion procedure which began with the tenth word was employed. This procedure yielded a total number of deletions ranging from 48 to 56 units. Proper names, numbers, dates, contractions and compound words were all considered eligible elements in this clozing process. Since compound words were always counted as two or more elements, some deletions involved just a part of these compound words. For instance, compound words like au-dessus, demie-vie, peut-être, as-tu, est-à-dire, celle-ci were all processed as two or more elements. The deleted words were all replaced by a standard blank 20 typewritten spaces in length. Using this procedure, 20 separate cloze passages were developed over eight different texts.

Description of Materials. Of the eight French-language texts included for cloze analysis; two were articles taken from scientific journals, two were taken from science textbooks published in France; another two were taken from Canadian science textbooks; while the final two were instructional modules developed in this present study. All of the

materials could be described as descriptive scientific prose. The readers targetted by these various materials ran the gamut from Canadian elementary school children to scientifically literate adults in France.

Scoring. All of the tests were corrected by a single marker. Exact replacement scoring was used in marking the cloze tests. However, obvious spelling errors were not penalized. Nor were the complete forms of contracted or abbreviated words marked as incorrect. Supernumerary responses, though, were marked incorrect even if the exact word was present. To further ensure uniform procedures, the author administered the test to all of the students involved in the study.

Test Administration. The tests were all administered during the first semester of the 1982-83 school year. A single sitting was arranged with the school administrator of each of the schools. Exclusive of introductory remarks, all students were allowed a maximum of 45 minutes to complete the text booklet consisting of three cloze passages which had been randomly selected from the total pool of twenty tests. Students were all given the same uniform set of directions, both orally and in writing.

Directions. The students were told the purpose of the study and the manner in which the cloze tests were to be completed. They were advised that each cloze blank was to be replaced by a single element (i.e., word, date, number, part of a compound word, etc.), and that the length of the blank itself was not to be construed as an indicator of

the length or the complexity of the deleted element. Students were also advised that an appropriate test strategy would be to initially complete only the more obvious cloze deletions in the first reading by using all available contextual clues. In the second and third readings, they could then dwell on particular cloze items guessing whenever still uncertain about the exact replacement. It was also stated that the students should not be discouraged if they judge a passage to be particularly difficult, since the sampling process had included some rather difficult material. As a corollary, it was also suggested that students should not expect to complete 80 or 100 percent of the cloze blanks for any of the easy cloze passages. The complete text of the test administrator's oral and written directions have been included in Appendix C.

#### Sample

The population for this study consisted of all grade ten students enrolled in the français total program in the province of Manitoba. In this program the students are taught all subjects except English in the French language. With the possible exception of sixteen to twenty students who had previously been enrolled in the immersion program, the vast majority of these students were Francophones, i.e., having French as their first language. A total of 216 students participated in this study. This sample consisted of all eligible students who were present at school on the day of the test. The vast majority of students were fifteen years of age, while others were in the fourteen to nineteen range. The composition of the group by sex was 118 males and 98 females.

These students all together represented three different schools.

Two of these schools are in urban settings, while the third school is rural. The rural school, like one of its urban counterparts, is a multilevel kindergarten to grade twelve complex; while the other urban school is a high school housing grades nine to twelve only. This sample was considered representative of grade ten français total students, since the total population at the time of the study was only 287 students (B.E.f., 1982).

### Results

For each of the twenty cloze passages, Table 16 has summarized the number of students writing the test, the mean ( $\bar{x}$ ), the range, and the standard deviation (S.D.).

Table 16

Summary of Students, Means, Standard Deviation,  
and Range for Each of the Cloze Passages

Text	Passage Number	N	$\bar{X}$ (%)	S.D. (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	39	28.7	10.7	0.0	46.4
	2	28	29.2	8.2	13.4	50.0
<u>Géographie physique</u>	3	41	40.1	11.7	0.0	58.8
	4	31	27.5	10.3	4.0	48.0
<u>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></u>	5	33	30.1	7.8	9.4	43.3
	6	27	31.2	5.7	22.0	42.0
<u>La terre: astre vivant</u>	7	29	40.6	12.8	6.0	60.0
	8	22	38.5	10.3	20.4	67.3
	9	31	36.1	11.5	15.0	64.1
	10	45	51.7	14.9	10.0	82.0
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>	11	23	33.9	10.5	11.3	47.1
	12	31	28.8	9.2	11.7	52.9
<u>Neige et glace</u>	13	37	33.6	11.2	0.0	56.2
	14	34	40.8	11.2	10.9	58.1
<u>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche)</u>	15	36	33.0	12.1	3.7	58.4
	16	29	25.0	8.7	0.0	41.1
<u>L'écologie boréale</u>	17	44	32.9	11.1	2.0	51.0
	18	31	43.9	10.0	11.1	62.9
	19	32	33.1	13.4	1.8	61.1
	20	26	38.7	13.3	6.0	64.0

For the twenty passages analyzed, the mean cloze scores of twelve tests did not meet the minimal performance criterion, i.e., 35 percent or better. Seven passages had mean cloze scores within the optimal range, while only one passage (number 10) scored above this optimum (i.e., cloze score of 51.7 percent). The easiest passage overall was selected from La terre: astre vivant, while the hardest passage was taken from "Le déclenchement des avalanches", an article from the journal La recherche. The mean cloze scores for the passages selected from earth science materials ranged from 27.5 to 51.7 percent, while those from the ecology materials ranged from 25.0 to 43.9 percent.

#### Review of Results

Primary Questions. On the basis of the cloze scores, La terre: astre vivant was thought to be at an appropriate reading level since all four passages exceeded the minimal performance criterion. On this same basis, L'écologie boréale was considered possibly inappropriate since two of the four passages scored below this minimum.

Table 17 has summarized the rank-order of the five most difficult and the five easiest passages on the basis of the cloze test results.



Table 17

Rank Order of the Most Difficult and  
the Easiest Passages Based on  
Results of Cloze Tests

Text	Passage Number	Cloze Score (%)	Rank order of difficulty
Most Difficult Passages			
<u>"Le déclenchement des avalanches" (La re- cherche)</u>	16	25.0	1
<u>Géographie physique</u>	4	27.5	2
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	28.7	3
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>	12	28.8	4
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	2	29.2	5
Easiest Passages			
<u>Géographie physique</u>	3	40.1	16
<u>La terre: astre vivant</u>	7	40.6	17
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>	14	40.8	18
<u>L'écologie boréale</u>	18	43.9	19
<u>La terre: astre vivant</u>	10	51.7	20

None of the passages drawn from the instructional modules placed within the most difficult category, while a total of three ranked among the easiest passages overall.

Table 20 reports the mean cloze scores for the different texts. Comparison of the instructional modules with the alternate materials showed that *La terre: astre vivant* was the most appropriate earth science text on the basis of cloze readability. It had a mean cloze score of 43.1 percent compared with scores of 28.9, 30.6 and 34.7 percent for the alternate earth science texts. *L'écologie boréale* with a mean cloze score of 36.7 percent ranked in second place after *Neige et glace* (37.1 percent) on the basis of readability.

Another way of analyzing cloze data is to use it in an evaluation of literacy. Kirkwood and Wolfe (1980) have defined literacy as "the matching of the skill of the reader and the difficulty or accessibility of materials." These investigators classify materials as hard, moderate, or easy on the basis of criterion scores which had previously been developed by Bormuth. A cloze score less than 35 percent would suggest that the material is too hard for the student because it precludes any information gain. Student frustration would be symptomatic of this poor match. Bormuth had found 35-50 percent to be in the optimum range. Material in this category is considered moderate in difficulty. However, as indicated earlier, work by Henry (1975) had shown that optimal cloze scores in the French language are instead in the 35-45 percent range. Similarly, scores greater than 45 percent would mean that the material is probably too easy for the student. Finally, the literacy rate of material is directly proportional to the

percentage of students for whom it is accessible (i.e., cloze score of 35 percent or better). Table 18 gives the distribution of difficulty for the various passages.

Table 18

The Distribution of Difficulty of the Passages  
for Grade Ten Franco-Manitoban Students

Text	Passage Number	Distribution of difficulty (%)		
		Hard	Moderate (literacy rate <sup>a</sup> )	Easy
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	69.2	28.2(30.8)	2.6
	2	82.1	17.9(17.9)	0.0
<u>Géographie physique</u>	3	24.4	36.6(75.6)	39.0
	4	77.4	12.9(22.6)	9.7
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>	5	69.7	30.3(30.3)	0.0
	6	74.1	25.9(25.9)	0.0
<u>La terre: astre vivant</u>	7	27.6	41.4(72.4)	31.0
	8	45.5	40.9(54.5)	13.6
	9	45.2	29.0(54.8)	25.8
	10	13.3	20.0(86.7)	66.7

Table 18 (continued)

Text	Passage Number	Distribution of difficulty (%)		
		Hard	Moderate (literacy rate <sup>a</sup> )	Easy
<u>"Les cristaux de neige"</u> <i>(Pour la science)</i>	11	52.2	26.1(47.8)	21.7
	12	77.4	16.1(22.6)	6.5
<u>Neige et glace</u>	13	48.7	40.5(51.3)	10.8
	14	32.4	17.6(67.6)	50.0
<u>"Le déclenchement des avalanches"</u> ( <u>La</u> <u>recherche</u> )	15	55.6	30.6(44.4)	13.8
	16	86.2	13.8(13.8)	0.0
<u>L'écologie boréale</u>	17	56.8	29.5(43.2)	13.7
	18	12.9	48.4(87.1)	38.7
	19	65.6	18.8(34.4)	15.6
	20	30.8	30.8(69.2)	38.4

<sup>a</sup>The literacy rate gives the proportion of students for whom the difficulty of the material is at an acceptable level (>35%).

According to this distribution, the five hardest passages in order of difficulty were "Le déclenchement des avalanches" from La recherche (86.2 percent of the students found this material too hard), Sciences naturelles 3<sup>e</sup> (82.1 percent), Géographie physique and "Les cristaux de neige" from Pour la science (both tied at 77.4 percent), and Biologie, géologie 1<sup>res</sup> (74.1 percent). The five passages for which the literacy rate had ranked the highest, or was most accessible to the students, included two passages from L'écologie boréale (literacy rates of 69.2 and 87.1 percent of the students), two from La terre: astre vivant (72.4 and 86.7 percent), and finally one passage from Géographie physique (75.6 percent).

On the basis of research with Ontario English-speaking students, Kirkwood and Wolfe (1980:32) had found that the overall literacy rate of grade ten students for language arts and social studies was 57 percent and 53 percent, respectively. Similarly, a study of grade ten Franco-Manitoban students by Kirkwood and Nediger (1981:14) had shown the literacy rate for language arts and social studies to be 55 and 65 percent.

Using the 53 percent literacy rate as the baseline for appropriate readability, then La terre: astre vivant is at a satisfactory reading level since all four passages scored above this criterion (i.e., 72.4, 54.5, 54.8, and 86.7 percent). In contrast, L'écologie boréale would still be questionable, since two of the four passages were below this benchmark (43.2, 87.1, 34.4, and 69.2 percent). This suggests that, either there are extreme fluctuations of reading difficulty in this

latter module, or else some other factor(s) accounts for this variance. Another way of interpreting the data is to analyze the mean values. Table 19 has summarized the overall mean literacy rate for each of the texts employed in the present study.

Table 19

The Overall Literacy Rate of Grade  
Ten Franco-Manitoban Students  
with Respect to Various Texts

Text	Overall Literacy rate (%)
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	25.4
<u>Géographie physique</u>	52.8
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>	28.3
<u>La terre: astre vivant</u>	70.1
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>	33.3
<u>Neige et glace</u>	59.2
<u>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche)</u>	30.8
<u>L'écologie boréale</u>	56.4



Only four of the eight texts have overall literacy rates that are in the same range or better than those found by Kirkwood and Wolfe (1980). *Géographie physique* (52.8 percent), *Neige et glace* (59.2 percent), *La terre: astre vivant* (70.1 percent), and *L'écologie boréale* (56.4 percent) are all in this category. It is interesting to note that *Neige et glace* which had been included in the Ontario Ministry of Education *Circular 14* (1981) list of approved textbooks for elementary students, and *Géographie physique* which had been approved for use by high school students did not markedly differ in overall literacy for grade ten students (59.2 percent and 52.8 percent respectively). Assuming that a literacy rate of 53 percent or better was acceptable in a regular classroom, then both instructional modules written by this author are accessible in terms of reading difficulty. Therefore, the answer to one of the primary questions addressed by the author would be affirmative using mean literacy rate as the criterion.

The second question addressed by this study was how the author's instructional materials compared with alternate materials. Table 20 has listed the different texts in order of difficulty for each of the subject areas.

Table 20

Rank Order of Texts on the Basis of Difficulty  
Using Overall Literacy Rate and  
Mean Cloze Score as Criteria

Text	Passage Number	Overall literacy rate (%)	Mean Cloze Score (%)	Rank
Earth Science				
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>		25.4	28.9	1
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>		28.3	30.6	2
<u>Géographie physique</u>		52.8	34.7	3
<u>La terre: astre vivant</u>		70.1	43.1	4
Ecology				
<u>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche)</u>		30.8	29.4	1
<u>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</u>		33.3	31.0	2
<u>L'écologie boréale</u>		56.4	36.7	3
<u>Neige et glace</u>		59.2	37.1	4

Of the four texts surveyed in earth science, the readability of La terre: astre vivant is the most accessible to students using either overall literacy rate or mean cloze score as the criterion. Its overall literacy rate (70.1 percent) was better than all of the other texts surveyed. This means that the text can be read easily, or with moderate effort, by at least 70 percent of Manitoba students in regular grade ten classes in the Français total program.

Of the four texts surveyed in ecology, the readability of Neige et glace was the most accessible to students using the same criteria. Neige et glace was accessible to almost 60 percent of the students. Nonetheless, with an overall literacy rate of 56.4 percent, L'écologie boréale was still accessible to a good number of these students. As would be expected, the two journal articles are less accessible to grade ten students (overall literacy rates of 30.8 and 33.3 percent).

Secondary Questions. Two secondary questions were also addressed by this study. One of the questions involved a comparison of results using two different readability formulas. The other question involved an extension of this comparison to include results from the cloze procedure. Table 21 presents the rank-order of difficulty obtained using the three different methods.

Table 21

Comparison of the Rank Order of Difficulty of Eight  
Different Texts using the Flesch-DeLandsheere  
and Henry Readability Formulas,  
and the Cloze Procedure

Text	Passage Number	Rank Order of Difficulty		
		Flesch- DeLandsheere	Georges Henry	Cloze Procedure
Earth Science				
<i>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></i>	1-2	2	2	1
<i>Géographie physique</i>	3-4	4	3	3
<i>Biologie, géologie 1<sup>res</sup></i>	5-6	3	1	2
<i>La terre: astre vivant</i>	7-10	1	4	4
Ecology				
<i>"Les cristaux de neige" (Pour la science)</i>	11-12	1	1	2
<i>Neige et glace</i>	13-14	4	4	4
<i>"Le déclenchement des avalanches" (La recherche)</i>	15-16	3	3	1
<i>L'écologie boréale</i>	17-20	2	2	3

In relative terms, the Flesch-DeLandsheere and Georges Henry formulas appeared to be equally effective, since they both assigned the same rank-order to five of the eight texts. But in absolute terms, the two formulas contrasted importantly. The Flesch-DeLandsheere formula predicted that only nine passages had suitable readability, while the Georges Henry formula predicted that all twenty passages were suitable. Furthermore, the two formulas differed considerably in the range of scores assigned to the various texts.

Whereas the Flesch-DeLandsheere formula gave a range of scores from -8.5 to 37.4 (i.e., the equivalent of going from junior high school material all the way up to difficult material appropriate for literate adults), the Georges Henry formula only gave a range of fourteen percent for the estimated cloze scores (i.e., from 36-50 percent). This investigator had predicted a fairly extensive range of difficulty. This prediction was in fact confirmed by the cloze tests results which gave a range of nearly 27 percent from 25 to 51.7 percent. In brief, the two formulas seemed to be equally effective in predicting the difficulty of materials in relative terms (i.e., rank-order). In absolute terms, the Flesch-DeLandsheere formula appeared to give a more realistic range of meaningful values. The analysis, however, was not quite this simple. Table 22 compares the methods on the basis of three separate criteria.

Table 22

Comparison of Three Methods of Determining  
Readability on the Basis of Number of Passages Judged  
to be Suitable, Most Difficult, or Easiest

	Flesch- DeLandsheere	Georges Henry	Cloze Procedure
Suitable passages <sup>a</sup>			
All passages	9	20	8
<i>La terre: astre vivant</i>	0	4	4
<i>L'écologie boréale</i>	2	4	2
Most difficult quartile			
<i>La terre: astre vivant</i>	3	0	0
<i>L'écologie boréale</i>	0	1	0
Easiest quartile			
<i>La terre: astre vivant</i>	0	1	2
<i>L'écologie boréale</i>	1	1	1

<sup>a</sup>Number of suitable passages for grade ten Franco-Manitoban students.

In the literature review it was argued that, while the formulas simply estimate or predict readability, the cloze procedure actually measures it. The results of the cloze tests were therefore used as a criterion or standard with which to compare the accuracy of the two formulas. The Flesch-DeLandsheere formula predicted that nine out of the twenty passages were suitable for the students. This compared favorably with the results of the cloze procedure which had identified eight suitable passages. The Georges Henry formula was not so accurate, predicting that all twenty passages were suitable.

In contrast, the Georges Henry formula was superior to the Flesch-DeLandsheere formula in estimating the number of passages from the two modules which figured on the five most difficult and the five easiest passage lists. Furthermore, while the Flesch-DeLandsheere formula was exact in rank-ordering the texts for difficulty in just one out of eight different placements, the Georges Henry formula was able to match ranks in three out of eight different cases. Also, the Henry formula specifically identified the easiest text in each subject area and another text that was judged second easiest.

Because of the procedural difficulties involved, no attempt was made to further compare the Flesch-DeLandsheere and cloze scores. This would have required complex statistical manipulation since the two scales are not equivalent.

It was possible, however, to compare the predicted cloze scores derived using the Georges Henry formula with the measured cloze scores for each of the passages. Table 23 summarizes this comparative data.

Table 23

The Difference Between Predicted  
and Measured Cloze Scores  
for Each of the Passages

Text	Passage Number	Cloze Score (%)		
		Predicted <sup>a</sup>	Measured	Difference
<u>Sciences naturelles 3<sup>e</sup></u>	1	39	29	+10
	2	41	29	+12
<u>Géographie physique</u>	3	38	40	- 2
	4	46	28	+18
<u>Biologie, géologie 1<sup>re</sup>S</u>	5	36	30	+ 6
	6	40	31	+ 9
<u>La terre: astre vivant</u>	7	44	41	+ 3
	8	43	39	+ 4
	9	42	36	+ 6
	10	43	52	- 9



Table 23 (continued)

Text	Passage Number	Cloze Score (%)		
		Predicted <sup>a</sup>	Measured	Difference
<u>"Les cristaux de neige"</u> <i>(Pour la science)</i>	11	41	34	+ 7
	12	37	29	+ 8
<u>Neige et glace</u>	13	45	34	+11
	14	50	41	+ 9
<u>"Le déclenchement des avalanches"</u> ( <i>La recherche</i> )	15	47	33	+14
	16	41	25	+16
<u>L'écologie boréale</u>	17	40	33	+ 7
	18	42	44	- 2
	19	44	33	+11
	20	42	39	+ 3

<sup>a</sup>Predicted using the Georges Henry Formula.

The predicted scores were generally greater than the measured cloze scores. In fact, this was the trend in all but three cases. The mean difference was approximately eight percent, with the greatest difference being eighteen percent (passage number four). The Georges Henry formula had been derived using Belgian school children. Since it was used here with Franco-Manitoban students, the differences between estimated and measured cloze results had been expected. Furthermore, these results confirmed Renaud's (1982) study with grade six French-speaking Moncton school children which had shown a similar differential of five percent between estimated and measured readabilities.

In brief, the results of this analysis suggested that Canadian researchers must be cautious when interpreting readability data collected using foreign formulas. Although the Georges Henry formula had predicted the easiest text for each subject area, it still only correctly estimated the rank placement of three out of eight different texts. Its ability to estimate readability, particularly in a foreign context, must still be considered suspect.

### Conclusions

Four basic research questions were formulated for study:

1. Is the reading level of the instructional modules appropriate to grade ten Franco-Manitoban students? The Flesch-DeLandsheere Reading Ease scores suggested that neither instructional module was appropriate. In contrast, the estimated cloze scores based on the Henry formula indicated that both modules were satisfactory. The cloze test results confirmed the suitability of La terre: astre vivant, while remaining equivocal for L'écologie boréale.

2. How does the readability of the instructional modules compare with that of alternate materials? On the basis of the Flesch-DeLandsheere scores, La terre: astre vivant was found to be the most difficult of the four earth science texts. In contrast, both the estimated (i.e., Henry formula) and measured cloze scores rated it the easiest overall. Finally, L'écologie boréale was consistently evaluated by all three procedures, ranking either second or third in terms of difficulty compared with the other three alternate ecology texts.

3. How do the results using the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Formula compare with those using the Georges Henry formula? The two readability formulas both appeared to yield similar results in relative terms, i.e., assigning the same rank-order of difficulty to five of eight texts. Nonetheless, the formulas differed greatly with respect to the range of scores given, the Flesch-DeLandsheere Formula giving a more realistic range of values.

4. How do the estimates of readability of readability using these formulas compare with the measured readability using the cloze procedure? The formulas were both judged poorly in terms of their ability to predict readability. In relative terms, the best performance by either formula was a matching of three out of eight rank-order placements (the Georges Henry Formula). In absolute terms, the results were less definitive. It was nonetheless observed that an eight percent difference separated the estimated and measured cloze scores.

### Recommendations

On the basis of the results of this readability study, the module La terre: astre vivant was judged to be at an appropriate reading level for grade ten Franco-Manitoban students. In contrast, the readability of L'écologie boréale varied greatly from one passage to the next. This variability implied that some sections might be too difficult for the intended students. It was therefore, recommended that further study be conducted to assess the variability in reading level throughout the module. This enhanced analysis should reveal whether or not any sections require adjustments to make them more accessible to the target readers.

### Summary

The readability of the instructional materials was evaluated using various methods. Two different formulas (i.e., the Flesch-DeLandsheere Reading Ease Formula, and the Georges Henry Formula) were used to estimate the readability, while the cloze procedure was used to obtain data measuring the actual readability of the materials.

The results showed that the three methods differ radically in their assessment of readability of materials. For instance, the two modules were judged unsatisfactory by the Flesch-DeLandsheere formula, yet they were both deemed satisfactory by the Georges Henry formula. In contrast, the cloze procedure judged one as satisfactory (La terre: astre vivant), and another as unsatisfactory (L'écologie boréale).

The two formulas compared favorably with one another in relative terms (i.e., rank-order), while differing greatly in absolute terms,

i.e., the range of scores assigned to various materials. Finally, on the basis of cloze results, the two formulas were judged poorly in their ability to predict the readability of materials.

#### Areas for Further Research

Two possible areas have been identified for further research:

1. The results of this study on literacy distribution with grade ten students confirm similar results by Kirkwood and Wolfe (1980), Kirkwood and Nediger (1981), and Renaud (1982). The results suggest that literacy is fairly constant in any given grade while increasing with grade level. Since literacy in these studies has actually been measured using the recommended textbooks for the grade under scrutiny, this distribution pattern is an anomaly. What are the reasons for this pattern of literacy distribution at the various grade levels?

2. Klare (1974-75:66) wrote that "where cloze scores on a large number of passages covering a wide range of difficulty are available, they can be used as a criteria in formula development." The scaling of one (or both) of the readability formulas employed in this study for use with Franco-Manitoban populations would be a valuable educational tool.

## BIBLIOGRAPHY

- Aikenhead, Glen S. Science in Social Issues: Implications for Teaching. Ottawa: Science Council of Canada, 1980.
- Anderson, J. and A.H. Hunt. "A Frame of Reference for Cloze Tests of Readability of English Learned as a Foreign Language." Papua New Guinea Journal of Education, 8:3:184-188. 1972.
- American Psychological Association. Standards for Educational and Psychological Tests. Washington: A.P.A., 1974.
- Armstrong, Jenny R. ed. Sourcebook for the Evaluation of Instructional Materials and Media. ERIC ED 107 050, 1973.
- Aschenbach, Joy. "Scientists discover terra's not so firma." Winnipeg Free Press, 16 Oct. 1982, p. 64, cols. 1-6.
- Alkin, M.C. "Evaluation and Decision making." Planning & Changing, 3:4:1-4. 1973.
- Baker, Eva L. and Marvin C. Alkin. "Formative Evaluation of Instructional Development." AV Communication Review. 21:4:389-418. Winter, 1973.
- Beauchamp, René. "Etude de deux modes d'évaluation formative de documents éducatifs: le mode mise à l'essai auprès du public-cible et le mode expertise." Ph. D. dissertation, Université de Montréal, 1979.
- Beldon, Bernard R. and Wayne L. Lee. "Textbook Readability in Science." The Science Teacher, 29:3:20-21. April, 1962.
- Bickley, A.C. Billie J. Ellington, and Rachel T. Bickley. "The Cloze Procedure: A Conspectus." Journal of Reading Behaviour. 2:3:232-249. Summer, 1970.
- Bormuth, J.R., "Readability - A New Approach." Reading Research Quarterly, 1:3:79-132. Spring, 1966.
- \_\_\_\_\_. "Comparable Cloze and Multiple-Choice Comprehension Test Scores." Journal of Reading, 10:291-298. February, 1967.
- \_\_\_\_\_. The Implications and Use of Cloze Procedure in the Evaluation of Instructional Programs. Los Angeles: University of California Center for the Study of Evaluation on Instructional Programs, ERIC Document ED 012 674, April, 1967.

- Bormuth, John R. Empirical Determination of the Instructional Reading Level. ERIC Document ED 020 084, 1968.
- \_\_\_\_\_. "Cloze Test Readability: Criterion Reference Scores." Journal of Educational Measurement, 5:3:189-196. Fall, 1968.
- \_\_\_\_\_. Development of Standards of Readability: Toward a Rational Criterion of Passage Performance. Final Report, Project No. 9-0237. Bureau of Research, U.S. Office of Education, ERIC Document Ed 054 233, 1971.
- Bortnick, Robert, and Genevieve S. Lopardo. The Care for Cloze in the Classroom. Paper presented to the International Reading Association, New Orleans, ERIC Document ED 094 327, May, 1974.
- Botel, Morton and Alvin Granowsky. "A Formula for Measuring Syntactic Complexity: A Directional Effort." Elementary English, 49:4:513-516. April, 1972.
- Boyce, M.W. Some Difficulties in Using Cloze Procedures to Access Readability. M. ED. Thesis, University of Melbourne, ERIC Document ED 110 921, 1974.
- Brandt, Ron and others. "Thanks, We Needed That - A Report on the NSF Reports." Educational Leadership, 36:354-355. February, 1979.
- Brun-Cottan, Françoise, et al. Sciences naturelles 4<sup>e</sup>. Cours Debrune. Paris: Librairie Belin, 1979.
- Brun-Cottan, Françoise, Marie-Paule Debrune et Maurice Debrune. Sciences naturelles 3<sup>e</sup>. Cours Debrune. Paris: Librairie Belin, 1980.
- Bureau de l'Education française. Statistics: Français. 1982-83.
- Bybee, Rodger W. "Citizenship and Science Education." American Biology Teacher, 44:6:337-345, 368. September, 1982.
- Campbell, B.G. "Aspects of Meaning." Journal of Reading, 24:1:46-53. October, 1980.
- Chihara, Tetsuro, John Oller, Kelley Weaver, and Mary-Anne Chavez-Oller. "Are Cloze Items Sensitive to Constraints Across Sentences?" Language Learning, 27:1:63-69. June, 1977.
- Clark, Barbara K. "Eight grade students' reading abilities and their comprehension of selected social studies and science textbooks." Doctoral dissertation, Florida State University, 1977. Dissertation Abstracts International, 38:7188-A, 1977.
- Cooper, Charles R. and Anthony R. Petrosky. "A Psycholinguistic View of the Fluent Reading Process." Journal of Reading, 20:3:184-207, December, 1976.

- Couchman, J. Kenneth, et al. Neige et glace. Etude de ton environnement. Montréal: Les Editions HRW, 1977.
- Cronbach, L. "Evaluation for Course Improvement." Teachers College Record, 64:8:672-683. 1963.
- Cunningham, James W. and Robert J. Tierney. "Evaluating Cloze as a Measure of Learning from Reading." Journal of Reading Behaviour, 11:3:287-292. 1979.
- Daug, Donald R. and Fred Daug. "Readability of High School Biology Materials." Science Education, 58:4:471-482. 1974.
- Davidson, Alice, and Robert N. Kantor. "On the Failure of Readability Formulas to Define Readable Texts: A Case Study from Adaptations." Reading Research Quarterly, 17:2:187-209. 1982.
- DeLandsheere, G. Introduction à la recherche en éducation. Paris: Armand Colin-Bourrellet, 1975.
- \_\_\_\_\_. Le test de closure. Bruxelles: Editions Labor, 1978.
- Dick, Walter. "Instructional Design Models: Future Trends and Issues." Educational Technology, 21:7:29-32. July, 1981.
- Estes, Thomas H. "A Scale to Measure Attitudes Toward Reading." Journal of Reading, 15:2:135-138. November, 1971.
- Fass, Warren, and Gary M. Schumacher. "Effects of Motivation, Subject Activity, and Readability on the Retention of Prose Material." Journal of Educational Psychology, 70:5:803-807. 1978.
- Funk, H. James et al. Learning Science Process Skills. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing, 1979.
- Gagné, Robert M. and Leslie J. Briggs. Principles of Instructional Design. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1974.
- Gilbert, C.D. "An Examination of Readability Levels for Selected Basic Science Texts." School Science and Mathematics, 73:9:747-758. 1973.
- Goodman, Kenneth S. "Reading: A Psycholinguistic Guessing Game." ed. Harry Singer and Robert B. Ruddell. Theoretical Models and Process of Reading, International Reading Association, Newark, 1970. 259-272.
- Gould, C.D. "The Readability of School Biology Textbooks." Journal of Biological Education, 11:4:248-252. 1977.



- Gow, Doris T. "Intrinsic Analysis of Instructional Materials: An Aid to Site-Specific Tailoring of Instruction." Educational Technology, 20:5:7-15. May, 1980.
- Gutting, Gary, ed. Paradigms and Revolutions: Applications and Appraisals of Thomas Kuhn's Philosophy of Science. London: University of Notre Dame Press, 1980.
- Haney, Richard E. and Juanita S. Sorenson. Individually Guided Science. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1977.
- Hansen, Lee H., and Karl D. Hesse. A Criterion-Referenced Assessment of Reading Literacy Using the Cloze Procedure. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago, ERIC Document ED 090 314, April, 1974.
- Hanzeli, Victor E. "The Effectiveness of Cloze Tests in Measuring the Competence of Students of French in an Academic Setting." French Review, 50:6:865-874. May 1977.
- Henk, William A. "Effects of Modified Deletion Strategies and Scoring Procedures on Cloze Test Performance." Journal of Reading Behaviour, 13:4:347-357. Winter, 1981.
- Henry, Georges. Comment mesurer la lisibilité. Bruxelles: Editions Labor, 1975.
- Hittleman, Daniel R. "Seeking a Psycholinguistic Definition of Readability." The Reading Teacher, 26:8:783-789. May, 1973.
- \_\_\_\_\_. "Readability, Readability Formulas and Cloze: Selecting Instructional Materials." Journal of Reading, 22:2:117-122. November, 1978.
- Hobbs, E.D., and G.L. Erickson. "Results of the 1978 British Columbia Science Assessment." Canadian Journal of Education, 5:2:63-80. 1980.
- Hofman, Helenmarie and Lynn W. Glass. "Three Studies for Evaluating Energy Education Curriculum Materials." School Science and Mathematics, 82:6:481-489, October, 1982.
- Holfstein, Avi and R.E. Yager. "Societal Issues as Organizers for Science Education in the '80's." School Science and Mathematics, 82:7:539-547. November, 1982.
- Irwin, Judith Westphal, and Carol A. Davis. "Assessing Readability: The Check-list Approach." Journal of Reading, 24:2:124-130. November, 1980.

- Janz, Margaret Louise. "An investigation of the reading levels of secondary school students and the readability levels of selected textbooks." Doctoral dissertation, Florida State University, 1969. Dissertation Abstracts International, 30:4856A-4857A. 1970.
- Johnson, R.K. "Readability." School Science Review, 60:212:562-568. March, 1979.
- Jones, Margaret B. and Edna C. Pikulski. "Cloze for the Classroom." Journal of Reading, 17:6:38. March, 1974.
- Jongsma, Eugene. The Cloze Procedure as a Teaching Technique. International Reading Association, Newark, Delaware, 1971.
- Kandaswamy, S. "Evaluation of Instructional Materials: A Synthesis of Models and Methods." Educational Technology, 20:6:19-26. June, 1980.
- Keenan, Donna Metz. "A study of the relationship between tenth grade students' reading ability and their comprehension of certain assigned textbooks." Doctoral dissertation, Florida State University, 1976. Dissertation Abstracts International, 37:6391A-6392A. 1977.
- Kirby, J.H. et al. Manual for Users of Standardized Tests. Bensenville: Scholastic Testing Service, 1973.
- Kirkwood, Kristian, Richard G. Wolfe, and others. Matching Students and Reading Materials. Toronto: Ontario Institute for Studies in Education, 1980.
- Kirkwood, Kristian J., and William G. Nediger. "A Study of Matching French-Speaking Students and Textbooks in Manitoba." August, 1981. (Mimeographed).
- Klare, George R. "Assessing Readability." Reading Research Quarterly, 10:1:62-102. 1974-1975.
- \_\_\_\_\_. "A Second Look at the Validity of Readability Formulas." Journal of Reading Behaviour, 8:2:129-152. Summer, 1976.
- Klare, G.R., Simaiko, H.W. and L.M. Stolurow. "The Cloze Procedure: A Convenient Readability Test for Training Materials and Translations." International Review of Applied Psychology, 21:2:77-106, 1972.
- Klein, Howard. "The Quandary of Finding Reading Levels with Cloze." Reading-Canada-Lecture, 1:3:17-23. July, 1981.
- Kline, Lorne E. "Textbook Readability and Other Factors Which Could Influence the Success of the Eighth-Grade, Earth Science Course in the Texas Public Schools." Doctoral dissertation, East Texas State University, 1966. Dissertation Abstracts International, 27:2283A-2284A. 1967.

- Klopfer, L.E. "Editorial: Scientific and Technological Literacy for All: A National Policy." Science Education, 65:1:1-2. 1981.
- Komoski, K.P. Statement to the U.S. House of Representatives Committee on Education and Labor, in Hearings: To Establish a National Institute of Education, 92nd Congress, First Session, Washington, D.C., U.S. Govt. Printing office, 1971.
- \_\_\_\_\_. "An Imbalance of Product Quantity and Instructional Quality: The Imperative of Empiricism." AV Communication Review, 22:4:357-386. Winter, 1974.
- Levin, F.S., and J.S. Lindbeck. "An Analysis of Selected Biology Textbooks for the Treatment of controversial Issues and Biosocial Problems." Journal of Research in Science Teaching, 16:3:199-203. 1979.
- Lewy, Arieh. Handbook of Curriculum Evaluation. New York: Longman, 1977.
- MacGinitie, Walter H. "Contextual Constraint in English Prose Paragraphs." Journal of Psychology, 51:121-130. 1961.
- Mallinson, George, H.E. Sturm and Robert E. Patton. "The Reading Difficulty of Textbooks in Elementary Education." The Elementary School Journal, 50:460-463. April, 1950.
- Manitoba, Department of Education, Manitoba Science Assessment Program 1980, Preliminary Report: Test Data. Winnipeg: Government of Manitoba, 1981.
- Maxwell, Martha. "Readability: Have We Gone Too Far?" Journal of Reading, 21:6:525-530. March, 1978.
- McWilliams, Lana and Thomas A. Rakes. "Assessing Reading Skills in Science." Science and Children, 18:3:21-22. November/December, 1980.
- Meredith, Keith and Joseph Vaughan. "Stability of Cloze Scores Across Varying Deletion Patterns." Reading: Disciplined Inquiry in Process and Practice. Twenty-Seventh Yearbook of the National Reading Conference, eds. P. David Pearson and Jane Hansen. 1978. 181-184.
- Miller, Lawrence R. "Predictive Powers of Multiple-Choice and Cloze-Derived Readability Formulas." Reading Improvement, 12:1:52-58. Spring, 1979.
- Munby, Hugh. "The Impropriety of 'Panel of Judges' Validation in Science Attitude Scales: A Research Comment." Journal of Research in Science Teaching, 19:7:617-619. 1982.

- Myers, Phyllis C. The Cloze Procedure: Latest Research and Uses.  
Paper presented at the 21st Annual Meeting of the International Reading Association, Anaheim, California, ERIC Document ED 123 556, May, 1976.
- Oller, John W., Jr. Language Tests at School. London: Longman, 1979.
- Ontario. Ministry of Education. Circular 14 Textbooks 1981.
- O'Toole, Raymond J. and John P. Bedford. "Science Vocabulary and Readability Level." Journal of Research in Science Teaching, 6:2:161-162. 1969.
- Page, James E. A Canadian Context for Science Education. Ottawa: Science Council of Canada, 1979.
- Parsons, James B. "Readability: A Critical Look." Reading-Canada-Lecture, 1:3:17-23. July, 1981.
- Pearson, P. David. "The Effects of Grammatical Complexity on Children's Comprehension, Recall and Conception of Certain Semantic Relations." Reading Research Quarterly, 10:2:155-192. 1974-75.
- Pennick, John E. "Developing Creativity as a Result of Science Instruction." In What Research Says to the Science Teacher, vol. 4. ed. Robert E. Yager. Washington: National Science Teachers Association, 1982.
- Phillips, Ron E. and C.A. Watson. Winter Investigations: Teacher Resource Manual. Winnipeg: Enviro-concerns, 1977.
- Ramanauskas, Sigita. "The Responsiveness of Cloze Readability Measures to Linguistic Variables Operating over Segments of Text Longer than a Sentence." Reading Research Quarterly, 8:1:72-91. Fall, 1972.
- Rankin, Earl, and Joseph Culhane. "Comparable Cloze and Multiple-Choice Comprehension Test Scores." Journal of Reading, 13:3:193-198. December, 1969.
- Renaud, Aldeo. "L'évaluation de la difficulté des manuels scolaires par le test de closure et une formule de lisibilité." Reading-Canada-Lecture, 1:4:15-27. May, 1982.
- Richaudeau, François. Conception et production des manuels scolaires. Paris: Unesco, 1979.
- \_\_\_\_\_. trans. "Some French Work on Prose Readability and Syntax." by Donna M. Staats. Journal of Reading, 24:6:503-508. March, 1981.

- Rush, Robert J., and George R. Klare. "Reopening the Cloze Blank Issue." Journal of Reading Behaviour, 10:2:208-210. Summer, 1978.
- Sanders, James R., and Donald J. Cunningham. "A Structure for Formative Evaluation in Product Development." Review of Educational Research, 43:2:217-236. Spring, 1973.
- Smith, Frank. Psycholinguistics and Reading. Toronto: Holt, Rinehart, and Winston, 1973.
- Smythe, James M., et al. Géographie physique. Toronto: MacMillan, 1979.
- Souque, Jean-Pascal. "Pourquoi des laboratoires." Spectre, 12:1:28-29. Octobre, 1982.
- Stake, Robert E. "Objectives, Priorities, and other Judgement Data." Review of Educational Research, 40:2:181-212. 1970.
- Stufflebeam, Daniel L. "Evaluation as Enlightenment for Decision Making." In Improving Educational Assessment and An Inventory of Measures of Affective Behaviour. Ed. Walcott H. Beatty. Washington: Association for Supervision and Curriculum Development, 1969.
- Stump, Thomas A. "Cloze and Dictation Tasks as Predictors of Intelligence and Achievement Scores," John W. Oller Jr., and Kyle Perkins, ed. Language in Education: Testing the Test. Rawley, Mass., Newbury House, 1978.
- Suhorsky, Joseph. "An Investigation of the Relationship Between Undeleted Text Preceding a Cloze Test and Cloze Test Results. Doctoral dissertation, University of Maryland, 1975. Dissertation Abstracts International, 36:3393A-3394A. 1976.
- Suzuki, David. "Science Should Start With an R." Maclean's, January 21, 1980.
- Taylor, W.L. "Cloze Procedures: A New Tool for Measuring Readability." Journalism Quarterly, 30:415-433. 1953.
- \_\_\_\_\_. "Recent Developments in the Use of 'Cloze Procedure'." Journalism Quarterly, 33:42-48, 99, 1956.
- Thelen, Judith N. "Using the Cloze Test With Science Textbooks." Science and Children, 12:3:26-27. November/December, 1974.
- Thiagarajan, Sivasailam. "Instructional Product Verification and Revision: 20 Questions and 200 Speculations." Educational Communication and Technology, 26:2:133-141. Summer, 1978.
- Torrance, E. Paul. Rewarding Creative Behaviour: Experiments in Classroom Creativity. N.J.: Prentice-Hall, 1965.

- Twelker, Paul A., et al. The Systematic Development of Instruction: An Overview and Basic Guide to the Literature. ERIC ED 059629, 1972.
- Webster's New Collegiate Dictionary. S.V. "expert".
- Welch, Wayne W. "Inquiry in School Science." In What Research Says to the Science Teacher, vol. 3. eds. Norris C. Harms & Robert E. Yager. Washington : National Science Teachers Association, 1981.
- Wiles, Marcia Z. "Educational Product Evaluation in the Health Sciences: Formative and Summative Components." Educational Technology, 19:1: 52-57, January, 1979.
- Williams, David L. "Rewritten Science Materials and Reading Comprehension." Journal of Educational Research, Volume 61:5:204-206. January, 1968.
- Wineman, John H. "Cognitive Style and Reading Ability." Educational Research Quarterly, formerly California Journal of Educational Research, 22:2:74-79. 1971.
- Wright, Jill D. "The Effect of Reduced Readability Text Materials on Comprehension and Biology Achievement." Science Education, 66:1:3-13. 1982.
- Yager, Robert E., "The Crisis in Biology Education." American Biology Teacher, 44:6:328-336. September, 1982.

APPENDIX A: EVALUATION BY EXPERTS

## Appendix A: Introductory Letter to the Expert Judges

Dans le cadre de mes études universitaires en vue de l'obtention d'une maîtrise en Education, je fais un practicum sur l'élaboration et l'évaluation de matériel didactique. Ce matériel didactique comprend deux unités modulaires: l'une, *L'écologie boréale*, développe le thème de l'écologie dans le contexte canadien; l'autre, *La terre: astre vivant*, décrit le concept de la tectonique des plaques. Ce matériel est destiné à une classe de 10<sup>e</sup> année.

L'évaluation de ces deux unités modulaires revêt deux dimensions: d'une part, une analyse du niveau de lisibilité linguistique sera effectuée; d'autre part, une évaluation formelle du matériel sera faite par deux groupes distincts: des spécialistes dans le domaine (chercheurs, professeurs universitaires, professionnels, etc.), et des enseignants.

C'est dans le cadre de cette évaluation que je vous invite à apporter votre participation: voudriez-vous s'il vous plaît lire le document sous pli en respectant les critères du questionnaire ci-joint. Je vous invite à:

- . identifier les sections problématiques dans ce matériel didactique et expliquer brièvement pourquoi (prière d'indiquer les pages pertinentes du document); et à
- . décrire comment résoudre ces problèmes.

Je vous serais très reconnaissant si vous pouviez compléter le questionnaire et me le faire parvenir avant le 10 décembre 1982 à l'adresse suivante:

60, avenue Guay  
Winnipeg, Manitoba  
R2M 0B9

Si vous désirez de plus amples renseignements, appelez-moi à votre convenance aux numéros suivants:

247-6606 (domicile)  
786-0126 (bureau)

Je vous prie d'agréer mes sentiments les meilleurs et mes remerciements anticipés.



Cher spécialiste/enseignant,

Beauchamp (1979), après avoir effectué un recensement exhaustif des écrits, a conclu qu'"il en ressort que les auteurs fournissent peu de précisions à propos de la formation et de l'expérience des experts ayant participé à leurs recherches."

Afin d'éviter ce problème, je vous invite donc à me donner ces informations personnelles en remplissant la feuille ci-bas. Je peux vous assurer que l'anonymat sera respecté dans le rapport final.

Merci de votre collaboration.

Léonard Rivard

---

Nom \_\_\_\_\_

Adresse (bureau) \_\_\_\_\_

Téléphone (bureau) \_\_\_\_\_

Formation et degré(s) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Expérience pertinente  
(nombre d'années, etc.) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Prière de faire parvenir avant le 10 décembre 1982 le questionnaire complété à l'adresse suivante:



60, avenue Guay  
Winnipeg, Manitoba  
R2M 0B9

---

Beauchamp, René. *Etude de deux modes d'évaluation formative de documents éducatifs: le mode mise à l'essai auprès du public-cible et le mode expert-tise*, thèse de doctorat, Université de Montréal, 1979, p. 32.

Name \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

QUESTIONNAIRE (TEACHER)

Title of instructional module: \_\_\_\_\_

Please respond to the following questions by using the rating scheme below and by giving specific comments whenever appropriate.

- |  | Not at<br>all | 1                       | 2 | 3 | 4                    | 5 |
|--|---------------|-------------------------|---|---|----------------------|---|
|  |               | To a moderate<br>extent |   |   | To a great<br>extent |   |
|  | 1             | 2                       | 3 | 4 | 5                    |   |
| 1. <i>Content Clarity</i> - Is the content communicated effectively to the reader? _____   | 1             | 2                       | 3 | 4 | 5                    |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| 2. <i>Content Organization</i> - Is the content organized in a meaningful fashion? _____   | 1             | 2                       | 3 | 4 | 5                    |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| 3. <i>Activities/Content Balance</i> - Is there a good balance between content and activities? _____   | 1             | 2                       | 3 | 4 | 5                    |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| 4. <i>Activities Effectiveness</i> - Are the activities effective instructional strategies? _____  | 1             | 2                       | 3 | 4 | 5                    |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| 5. <i>Problem Appropriateness</i> - In your opinion, are the questions, problems and exercises suitable and appropriate for the intended students? _____ | 1             | 2                       | 3 | 4 | 5                    |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |
| _____  |               |                         |   |   |                      |   |

- |  | Not at<br>all | To a moderate<br>extent | To a great<br>extent |   |   |
|--|---------------|-------------------------|----------------------|---|---|
|  | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 6. <i>Conceptual Difficulty</i> - In your opinion, is the level of difficulty, or conceptual level, appropriate for the intended students? _____ | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 7. <i>Readability</i> - In your opinion, is the readability appropriate for the intended students?   | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 8. <i>Relevance</i> - In your opinion, how relevant are the knowledge and skills to the student? _____   | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 9. <i>Flexibility</i> - Is the instructional module adaptable to various teaching-learning situations? _____                                     | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 10. <i>Interactiveness</i> - Does the instructional module allow for student-teacher interaction?  | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |

Nom \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

QUESTIONNAIRE (A L'INTENTION DU PROFESSEUR)

Titre du module d'enseignement: \_\_\_\_\_

Utilisez, s'il vous plaît, l'échelle d'évaluation ci-dessous lorsque vous répondez aux questions suivantes. Ecrivez vos remarques et vos commentaires.

- |   | Pas du<br>tout | Moyennement |   | Très<br>bien |   |
|---|----------------|-------------|---|--------------|---|
|   | 1              | 2           | 3 | 4            | 5 |
| 1. <i>Clarté</i> - Est-ce que le sujet ici traité est exposé clairement au lecteur? _____   |                |             |   |              |   |
| _____   |                |             |   |              |   |
| _____   |                |             |   |              |   |
| 2. <i>Plan</i> - Est-ce que le sujet ici traité est présenté de façon organisée? _____  | 1              | 2           | 3 | 4            | 5 |
| _____   |                |             |   |              |   |
| _____   |                |             |   |              |   |
| 3. <i>Equilibre entre les activités proposées et le contenu</i> - Y a-t-il un bon équilibre entre le contenu et les activités proposées? _____                        | 1              | 2           | 3 | 4            | 5 |
| _____   |                |             |   |              |   |
| _____   |                |             |   |              |   |
| 4. <i>Efficacité des activités</i> - Est-ce que les activités proposées sont des stratégies d'enseignement efficaces? _____   | 1              | 2           | 3 | 4            | 5 |
| _____   |                |             |   |              |   |
| _____   |                |             |   |              |   |
| 5. <i>Applicabilité</i> - A votre avis, est-ce que les questions, les problèmes et les exercices proposés sont au niveau des élèves auxquels ils sont destinés? _____ | 1              | 2           | 3 | 4            | 5 |
| _____   |                |             |   |              |   |
| _____   |                |             |   |              |   |

6. *Difficulté conceptuelle* - D'après vous, est-ce que le niveau de difficulté, ou niveau conceptuel, est adapté aux élèves visés? \_\_\_\_\_

---



---

7. *Lisibilité* - Pensez-vous que le niveau de lisibilité soit adapté aux élèves visés? \_\_\_\_\_

---



---

8. *Pertinence* - Pensez-vous que les objectifs cognitifs et psychomoteurs fixés dans ce module sont adaptés au niveau des élèves? \_\_\_\_\_

---



---

9. *Flexibilité* - Est-ce que ce module peut s'adapter à différentes situations dans le cadre de la classe? \_\_\_\_\_

---



---

10. *Interaction* - Est-ce que ce module d'enseignement permet une interaction entre les élèves et le professeur? \_\_\_\_\_

---



---

Pas du tout	Moyennement			Très bien
1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Name \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

QUESTIONNAIRE (SUBJECT AREA SPECIALIST)

Title of instructional module: \_\_\_\_\_

Please respond to the following questions by using the rating scheme below and by giving specific comments whenever appropriate.

- |  | Not at<br>all | To a moderate<br>extent | To a great<br>extent |   |   |
|--|---------------|-------------------------|----------------------|---|---|
|  | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 1. <i>Content Clarity</i> - Is the content communicated effectively to the reader? _____   | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 2. <i>Content Organization</i> - Is the content organized in a meaningful manner? _____  | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 3. <i>Content Accuracy</i> - Is the content accurate? Describe <u>all</u> inaccuracies, if any. _____  | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 4. <i>Content Validity</i> - Is the content up-to-date given recent developments in the subject area? Describe <u>all</u> dated information; if any. _____ | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| 5. <i>Content Sampling</i> - Within the content areas sampled, are there any major omissions? Describe <u>all</u> major omissions, if any. _____           | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| _____  |               |                         |                      |   |   |
| _____  |               |                         |                      |   |   |

- |  | Not at<br>all | To a moderate<br>extent | To a great<br>extent |   |   |
|--|---------------|-------------------------|----------------------|---|---|
|  | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 6. <i>Content Sequence</i> - Are the facts, principles, and generalizations presented in a logical manner? _____<br>_____<br>_____   | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 7. <i>Content Impact</i> - In your opinion, will the instructional module result in adequate knowledge and understanding of the content area by the student? _____<br>_____<br>_____ | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 8. <i>Content Relevance</i> - Is the study of the content relevant to the student's immediate needs, interests and aspirations? _____<br>_____<br>_____                              | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 9. <i>Content Relevance</i> - Is the study of the content relevant to the student's future needs in society? _____<br>_____<br>_____   | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |
| 10. <i>Content Viability</i> - In your opinion, does the module meet a need for instructional materials in your content area? _____<br>_____<br>_____                                | 1             | 2                       | 3                    | 4 | 5 |

Nom \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

QUESTIONNAIRE (A L'INTENTION DU SPECIALISTE DANS UNE DISCIPLINE PARTICULIERE)

Titre du module d'enseignement: \_\_\_\_\_

Utilisez, s'il vous plaît, l'échelle d'évaluation ci-dessous lorsque vous répondez aux questions suivantes. Ecrivez vos remarques et vos commentaires.

- |   | Pas du<br>tout | Moyennement |   |   | Très<br>bien |
|---|----------------|-------------|---|---|--------------|
|   | 1              | 2           | 3 | 4 | 5            |
| 1. <i>Clarté</i> - Est-ce que le sujet ici traité est exposé clairement au lecteur? _____<br>_____<br>_____   |                |             |   |   |              |
| 2. <i>Plan</i> - Est-ce que le sujet ici traité est présenté de façon organisée? _____<br>_____<br>_____  | 1              | 2           | 3 | 4 | 5            |
| 3. <i>Exactitude</i> - Est-ce que le contenu est exact? Mentionnez toutes les inexactitudes, s'il y en a. _____<br>_____<br>_____   | 1              | 2           | 3 | 4 | 5            |
| 4. <i>Actualité</i> - Est-ce que le contenu est à la pointe de l'actualité, en apportant toutes les nouvelles découvertes ayant trait au sujet ici abordé? Ajoutez <u>toutes</u> les informations les plus récentes, s'il y en a. _____<br>.....<br>_____<br>.....<br>_____ | 1              | 2           | 3 | 4 | 5            |
| 5. <i>Echantillons</i> - Dans les échantillons choisis, y a-t-il des omissions importantes? Faites une liste de <u>toutes</u> les omissions importantes. _____<br>.....<br>_____<br>.....<br>_____  | 1              | 2           | 3 | 4 | 5            |



	Pas du	Moyennement			Très
	tout	2	3	4	bien
	1	2	3	4	5
6. <i>Séquence</i> - Est-ce que les faits, les principes et les généralisations sont présentés de façon logique? _____ _____ _____					
7. <i>Résultat</i> - D'après vous, est-ce que ce module d'enseignement donne à l'élève une bonne connaissance et une bonne compréhension du sujet traité? _____ _____ _____	1	2	3	4	5
8. <i>Pertinence</i> - Est-ce que l'étude de ce sujet est liée de quelque façon aux besoins immédiats, aux intérêts et aux aspirations de l'élève? _____ _____ _____	1	2	3	4	5
9. <i>Pertinence</i> - Est-ce que l'étude de ce sujet est liée de quelque façon aux besoins futurs de l'élève? _____ _____ _____	1	2	3	4	5
10. <i>Utilité</i> - Est-ce que, d'après vous, ce module répond à un besoin de matériel didactique dans votre discipline? _____ _____ _____	1	2	3	4	5

APPENDIX B: EXPERT COMMENTS

## Appendix B: Comments Made by the Various Experts

---

 Comments Made by Subject Area Specialists Evaluating  
*La terre: astre vivant*


---

## 1. Content Clarity:

- oui pour ce niveau: cependant les passages n'ont pas tous la même clarté: certains sont mieux expliqués que d'autres. Le texte est souvent entrecoupé d'exercices ce qui fait perdre, à l'occasion la suite logique. (S1)<sup>2</sup>
- le chapitre sur la géochronologie aurait besoin de modifications. (S2)

## 2. Content Organization:

- (1) dérive des continents, (2) expansion des fonds océaniques (pourquoi secousses sismiques en premier?), (3) ensuite la tectonique des plaques? (S1)
- idem: chapitre géochronologie. (S2)

## 3. Content Accuracy:

- données sur diamètre de la terre. (S1)
- voir feuille. (S2)
- quelques petites inexactitudes, voir corrections dans le texte (plusieurs pages). Erreurs de forme surtout, un peu de fond. (S3)

## 4. Content Validity:

- plus récente hypothèse: expansion du diamètre terrestre. Possibilité de recherche: lien entre néotectonique et tectonique des plaques. (S2)

## 5. Content Sampling:

- il ne m'en vient pas à l'idée. (S1)
- voir feuille. (S2)

## 6 &amp; 7. No comments.

---

<sup>2</sup>S1 - S6 are codes denoting the various specialists, while T1 - T6 are codes for the various teachers.

## 8. Content Relevance:

- dans l'absolu: oui  
dans la réalité: non, très peu d'étudiants se donnent la peine d'abstraire. (S1)
- mon gros point d'interrogation est le niveau intellectuel des étudiants visés. (S2)

## 9. Content Relevance (immediate):

- cette matière est particulière, spécialisée; l'intérêt des étudiants est plus en fonction de ce qu'ils peuvent percevoir facilement. (S1)
- idem. (S2)

## 10. Content Viability:

- à un niveau plus élevé, oui. (S1)
- à un niveau plus élevé - 12<sup>e</sup> ou 13<sup>e</sup> année.  
Variable selon les chapitres. (S2)

## Other comments:

- dans l'ensemble - Très bien! (S3)
- il faut se pencher sur mes observations en tenant compte de l'expérience que je tire actuellement de mes étudiants qui arrivent directement du secondaire: la plupart n'ont pas d'intérêt réel pour les études en général. Ils ont passé à travers les années du cours secondaire sans effort. Ils ont beaucoup de difficulté à se concentrer, établir des rapports et abstraire. Alors la tectonique des plaques ...!!! Encore une fois, ces commentaires s'appliquent à une situation donnée! (S1)
- Dans l'ensemble, votre manuel m'a semblé très bien conçu; il est organisé de façon logique, les activités d'apprentissage sont intéressantes et pertinentes, le sujet est bien compris et bien expliqué, les illustrations sont nombreuses et bien choisies. De plus, les sources d'information sont indiquées et les autorisations ont été demandées, c'est là une chose rare pour un tel document; c'est tout à votre avantage. Mon seul point d'interrogation concerne le niveau scolaire auquel il est destiné. Mes commentaires portent surtout sur le fond suivant votre demande.

En ce qui concerne le sujet traité, j'ai relevé quelques imprécisions.

p. 54 11e ligne -

"Leur origine s'explique par un contrôle saisonnier du débit des cours d'eau lié à la fonte des glaciers."

Les varves sont aussi formées de nos jours bien après les glaciers, je propose d'enlever la partie soulignée seulement.

p. 60 et 61 -

Ces deux pages me laissent perplexe en ce qui regarde le niveau de compréhension qu'en auront les étudiants: la question 2 est évidente tout en étant formulée de façon incompréhensible, comment déterminer l'âge relatif autrement qu'en lisant la légende? Je vous propose de l'éliminer car elle n'ajoute rien au chapitre et recoupe d'autres activités. La question 3 pour sa part simplifie mal un concept difficile. Les figures 10 et 11 impliquent des discontinuités stratigraphiques. Je vois mal le professeur diriger cette activité. Je vous propose de l'enlever car le rest du chapitre est plus explicite et l'activité 8 (p. 78-79) passe mieux le même concept.

p. 70 2e ligne -

"Selon les géologues, toutes ces régions constituaient autrefois des montagnes."

La phrase implique simultanément de l'orogénèse (toutes, autrefois), et ubiquité des montagnes (toutes), ce qui est incorrect. Je vous propose:

Les géologues s'accordent à dire que la plupart de ces régions ont porté des montagnes et ce, une ou plusieurs fois dans les quatre milliards d'années de l'histoire de la terre.

p. 134

Je verrais l'utilité de faire une note sur l'exagération verticale de la figure et un lien avec les pages 89 et 90. Ce genre de figure très exagérée donne une très mauvaise appréhension de la valeur des pentes sous-marines. Ces valeurs de pente sont importantes pour comprendre le mouvement relatif des plaques.

p. 143 12e ligne -

"Donc la direction du champ magnétique terrestre est enregistrée dans la roche."

Je préciserais ainsi:

La direction des anciens champs magnétiques terrestres est ainsi enregistrée dans une roche lorsque celle-ci se refroidit.

La question 2 à la page 118 est à mon avis d'un style littéraire trop complexe pour des étudiants de 10e année. Le premier chapitre sur la géochronologie aurait à mon avis besoin de retouches car des notions très complexes voisinent des faits élémentaires. En comparaison des autres chapitres qui sont bien balancés et très bien expliqués, ce premier chapitre laisse à désirer.

J'espère que ces quelques commentaires vous seront utiles et s'il demeurait des imprécisions, n'hésitez pas à communiquer avec moi. (S2)

---

Comments Made by Teachers Evaluating *La terre: astre vivant*

---

1. Content Clarity:

- some parts difficult for 101. ex. pp. 66-67, 80-81, 133, and 157-158. (T1)
- the explanations are not sufficient at times (e.g. Descartes, p. 47). Certain terms should be more fully defined. More local references would be interesting. Some information is superfluous given that the overall goal is to teach concepts (stratigraphy). Why not include some references to historical events (circumference of the earth and Eratosthenes). Illustrations of rock types would also be helpful. Certain activities were not clearly described. Certain activities assume that the student has had prior experiences. (T2)
- il y a quelques activités qui ne sont pas trop claires. Plus d'explications (ou directives) sont requises. (T3)

2. Content Organization:

- needs chapter numbers. (T1)
- first part is not as well organized as the last part. (T2)
- devrait peut-être avoir des numéros de chapitre, de sections. Bien organisé, l'ordre est très bien. (T3)

3. Activities/Content Balance:

- many experiments not practical for me. e.g. pp. 53, 55, 68, 69, 90, 93, 130, and 158. (T1)
- pour la sorte de contenu, il y a un très bon nombre et de bonnes activités. (T3)
- too many activities for the amount of content in the first part. (T2)

4. Activities Effectiveness:
  - voir # 3. (T1)
  - activité # 1 ("marques" - pas claire). Activité 23 n'est pas efficace. Généralement bien. (T3)
5. Problem Appropriateness:
  - généralement assez difficile. (T2)
  - il y a un bon rapport de questions difficiles et moins difficiles. Je ne suis pas d'accord avec l'usage de questions "vrai et faux" (un élève a tendance de se rappeler des idées fausses et sur un prochain il va donner la mauvaise réponse). (T3)
6. Conceptual Difficulty:
  - voir # 1. (T1)
  - information load is very heavy. The material appears rather difficult for the students. They are being asked to think - difficult for them! (T2)
  - il y a certain concept qui serait mieux compris par des élèves de 11e ou 12e, mais en générale oui. Quelque chose comme p. 61 ou activité 8 à la p. 78 - très difficile. (T3)
7. Readability:
  - voir # 1. (T1)
  - comme ci, comme ça. Marginale pour certaines parties - ça dépend du groupe d'élèves. (T3)
  - pas mal, assez bien. (T2)
8. Relevance:
  - début (moins), fin (plus); la première partie est bonne comme information supplémentaire et devrait être retenu mais seulement la dernière partie devrait être recommandé dans un curriculum. (T3)
  - relevant to the student - contemporary problems like Mount St-Helen, earthquakes, etc. (T2)
9. Flexibility:
  - très, très bien. Il serait facile de prendre seulement certaines sections aux besoins ou comme la situation le demande. (T3)
10. Interactiveness:
  - il serait très facile de compléter avec discussions, projet de média ou bien d'autres choses. (T3)

## Other comments:

- of all the sections in the document, I preferred the chapter on "*La terre en évolution*". (T2)
- d'après mes études en géologie, je dirais que le contenu est très bien et très bien présenté. (T3)

---

Comments Made by Subject Area Specialists Evaluating  
*L'écologie boréale*

---

## 1. Content Clarity:

- see attached sheet. (S4)
- vocabulaire présente des images très concrètes et précises. Nouvelles idées sont interprétées. Exception: décidue n'est pas défini dans le texte (caduque est employée aussi dans le texte). (S5)

## 2. Content Organization:

- excellent! (S4)
- suite très logique est évidente. (S5)

## 3. Content Accuracy:

- see attached sheet. (S4)
- quelques mentions ne sont pas faites. Les musaraignes sont des insectivores - pas des herbivores. Aussi, le pékan n'est pas mentionné. (S5)

## 4. Content Validity:

- there is more information of importance on invertebrates in winter ecology available. (S4)
- une recherche très approfondie est évidente. (S5)

## 5. Content Sampling:

- N/C

## 6. Content Sequence:

- matière très bien agencée. (S5)

## 7. Content Impact:

- see attached sheet. (S4)



## 8. Content Relevance:

- yes, when we have snow! We also need more winter ecological work done, and this may inspire some pupils. (S4)
- je ne suis pas professeur, alors c'est difficile pour moi à dire - par contre, ce matériel devrait être distribué sur une base assez importante. (S5)

## 9. Content Relevance:

- I should hope so. Should have mentioned winter survival mechanisms, i.e. building a quinzhee and its inside temperature, etc. (S4)
- une bonne préparation pour ceux qui choisiront de poursuivre des études plus spécialisées en écologie. (S5)

## 10. Content Viability:

- Already present at University of Manitoba with WP & RR. Needed elsewhere though-in parks, schools, wildlife management, museums. (S4)
- matériel très important - répond aux besoins importants de l'élève à connaître son milieu. (S5)

## Other Comments:

- I hope that this module will become available on a national scale; it certainly merits that distribution! (S4)
- No mention was made of the prairie and/or aspen parkland ecotone area. Their agricultural importance is of major economic value in this country, and is affected by snow cover. If a farmer will leave high stubble (a minimum of 20 cm), that a field will then accumulate snow more than a bare field. As a consequence, the soil stays warmer on the stubble field and collects more snow cover. In spring, it follows from the snow properties you have covered, that the stubble field, with less dense cover, will melt more quickly and provide more moisture to a warmer soil than a harrowed field.

I mention this because it is not an accepted agricultural practice, to the detriment of our economy - and our soil. Short mention of such a simple procedure, following the properties of snow cover, could help turn the minds of our populace to better agricultural practices. Another instance where ignorance of snow cover is causing possible disaster to our arable regions.

Now for specifics:

pp. 199 Figure 9 -

water crystal formation and shapes are much more complicated than snow.

p. 206 a) ligne 4:

"l'action de la chaleur" doit lire "l'action de la chaleur géothermique et de l'air".

b) fin du 2e paragraphe:

"plus compacte" → "plus compacte et plus dense".

p. 209 -

Might make reference as to the compacting effect of snow-mobiles, etc. on snow and being very detrimental to small mammals, plants and invertebrates due to tremendous heat loss.

p. 209 Figure 32:

Not completely characteristic of snow cover around Winnipeg, but a good example of the effects of snow metamorphosis.

p. 213 Section B:

what sort of thermometer is being used? I found an 8" (20 cm) stemmed, dial thermometer (down to -25°C) best.

p. 216 Figure 17:

should be mentioned that these are Alaskan conditions.

p. 218 Section C1:

can also use a plastic container, i.e. an old vitamin bottle with top cut off.

p. 226 paragraphe 2, ligne 5:

"dissous" → "dessous".

p. 227 -

With respect to light penetration into snow cover, there is much evidence for this phenomenon: seeds can germinate and grow underneath it (I have some references).

p. 230 Paragraph 3:

Solar intensity doesn't increase - spring because of longer days, but because of the increasing angle of incidence of solar radiation as well the length of exposure of the snow cover to the sun is longer.

Paragraph 4:

Pukak is also as important for invertebrates as for small mammals.

p. 236 activité 13, paragraphe 5:

"peite" → "petite".

p. 247 ligne 5:

"etc." should not be used in such a text, could use "et autres choses" or delete.

p. 249 -

Invertebrates may use a number of mechanisms to prevent freezing of body fluids, an accumulation of glycerol (and/or other polyhydric alcohols) represents just one mechanism; other mechanisms include the accumulation of free sugars and/or some proteins.

p. 255 -

re "piège à chute": No direct mention is made of the subnivean space. You have mentioned its importance, but left it unnamed. Also some inverts are active on and in snow on warm (near 0°C), sunny days with little wind and are often characteristic of the subnivean fauna. These inverts may well form the base of a subnivean food chain, with the larger ones being eaten by shrews (see my reprint list; I have a paper in press on this subject, and a copy can be made available to you). It must be mentioned that the portable cylinders are only placed on the ring and lid above the trap when it is being emptied (otherwise they would cause anymanya).

p. 256 Paragraph 1:

Much of this paragraph is incorrect, and the last sentence very confusing. The function of the cylinders is to aid in emptying the traps with a minimum of disturbance to the snow cover; neither cylinder is attached to the ring or lid. The external cylinder retains ther surrounding snow cover, while the internal one on the lid allows a column of undisturbed

snow to be removed when emptying the trap. They are put in place immediately prior to emptying and removed after the trap is emptied and lid replace.

Paragraph 2:

the traps contain a mixture of ethylene glycol (EG) and water, not just EG.

Figure 40:

"practensis" → "pratensis"; "Cersticelus" → "Cer-  
aticelus"

p. 257 Figure 41:

"pro~~du~~re" → "collembole"

re questions on activité: It is very difficult to ask pupils to answer what species are present; it would be better to ask what groups. "Even I have great difficulties with species, as some are new and undescribed). (Any collected material may well be valuable and is probably of great interest to the Biosystematics Research Institute, after sorted to major groups.)

p. 258 ligne 3: "etc." encore.

p. 265 Figure 50:

tirée de quel article?

p. 283 Diagram after paragraph 1:

Shouldn't fish be included? algues ←— invertébrés ←—  
poissons ←— phoques ←— ours polaires. Many seals do not eat invertebrates.

p. 284 -

"porc-épic" is not an arctic animal but rather a boreal one, sometimes found in subarctic regions. Insects and other invertebrates could be included in your list here, not just the larger and more visual animals.

p. 288 -

"anymanya" is really written aymaya.

p. 289 -

The word "subnival" (subnivean) is not included. (S4)

- Thank you so much for letting me see the advanced copy of "Boreal Ecology". I only wish my knowledge of the language was sufficient to allow me to do an adequate job of review.

My comments concern content only, not presentation. I may have mis-translated sometimes so possibly my comments themselves are in error.

Should you mention the two films "Techniques in Boreal Ecology", parts A and B? They would be pertinent to the module. Perhaps they will be mentioned in a "Teachers Manual" later on.

I enclose reprints of two recent papers that may be of interest to you. There are two more papers soon to appear - one in the Don Gill Memorial volume from University of Alberta Press and one by Cheryl Penny and me in Bulletin of the Carnegie Museum about the study of sub-nivean carbon dioxide in relation to small mammals.

Figure 1 (as reproduced) shows almost all of Alaska and Yukon as tundra. This is erroneous.

Figure 5 lacks legend.

On p. 188, line 13 up - The extremes of temperature are more marked in the forest-tundra than in the true tundra. Actually the extremes are more marked in the taiga. The "Cold Poles" of both North American and Eurasia are in the taiga. Tundra temperatures average lower than in the forest-tundra or taiga but extremes are not as marked. Undoubtedly this is because of reduced wind in the taiga, resulting in cold air drainage. Both Snag Creek (Y.T.) and Oimyakon in Yakutia are in puddles of cold air drainage.

Figure 17 is credited to Bayly of Carelton but it looks to me like a figure from H. McClure Johnson's (1953?) thesis on Alaska microclimates.

P. 216, line 6 up. The density of freshwater ice is 0.92. The difference from unity is of extreme importance. An exercise I sometimes throw at students is for them to write a paper describing the world as it would be if water were at its densest at 0° rather than + 4°.

P. 219, line 2. I have now found that quick-reading dial, stemmed thermometres are better for my research than armoured thermometres. Maybe for Grade X armoured are safer!

P. 219-220. A good pedagogical technique is to elaborate on why a set of instantaneous supra- and subnivean temperatures are misleading. It's a good way to introduce heat flow as a concept to replace mere temperature.

P. 228 - Anniu (spelling)

P. 236, Activity B. Maybe colour all the spheres in each size-category one colour. This would expose differential transport. One should have an anemometre; MOT readings are too far removed from an actual site to be reliable. Dwyer "Windicators" are cheap enough.

Figure 27. Maybe the description of snow drift sequence in my UNESCO paper would be more pertinent than description of sand drifts. (The paper in the Gill Memorial volume should have photos illustrating snow drift types).

P. 240. I think the plastic-ruler would change stiffness with lower temperatures. You need to cobble up a device like the "Multi-Purpose Instrument" on p. 66 of the Efton-science catalogue.

P. 244. One should not over-emphasize the importance of winter temperature in adapting to boreal conditions. Other factors of even more importance are summer temperatures, short summer season requiring overlapping moult, pregnancy and lactation and possible migration. S.S. Shvartz had several important papers on this subject. I think we develop a warped view of boreal adaptations with our preoccupation with temperature and winter conditions. Do you have Shvartz's work?

P. 264-265. You might consider comparing my results from Alaska and Erkki Pulliainen's from Finland (on the larger Sciurus vulgaris) and with Ron Paul's work on red squirrels here in Winnipeg. It make a nice series.

P. 272 et seq. I am sure you will get some good ideas from the new book on "Hairs of European Mammals" (in French, yet). Their SEM photos are magnificent.

These comments in no way detract from the great value of your work. I hope it is published and distributed widely. If I can help, let me know. Thank you again for letting me review it. (S6)

---

Comments Made by Teachers Evaluating  
*L'écologie boréale*

---

1. Content Clarity:

- les graphiques et les illustrations ajoutent à la clarté. (T6)
- fort intéressant, mais pourrait être accompagné d'un solutionnaire pour faire suite aux exercices et activités. (T4)
- les chapitres sont claires et bien distincts. (T5)

2. Content Organization:

- oui. La présentation suit une séquence logique. (T4)

3. Activities/Content Balance:

- il y a une abondance d'activités. (T6)
- très bon équilibre. Peut-être trop élaboré, trop long pour un module d'environ 5-6 semaines. (T4)
- les activités proposées sont très bien. Il y a beaucoup de texte cependant. (T5)

4. Activity Effectiveness:

- le professeur aurait à modifier ici et là, d'après la portée de ces élèves. (T6)
- oui. Elles dirigent les élèves d'une façon telle qu'ils pourront généralement arriver aux conclusions souhaitées. (T4)
- quelques unes peuvent être difficiles à réaliser dans le contexte scolaire. (T5)

5. Problem Appropriateness:

- ce module pourrait servir au niveau '01' ainsi que '00'. (T6)
- certains problèmes sont au-delà des attentes 10<sup>e</sup> année. (T4)
- quelques activités exigent une bonne connaissance de la mesure. Une revue serait peut-être nécessaire. (T5)

6. Conceptual Difficulty:

- certaines sections pourraient présenter des difficultés. (T6)
- certains concepts sont trop avancés à mon avis (ex.: interprétation d'un climatogramme ou figure 9 qui font intervenir 3 composantes, chacun). (T4)
- je crois que les concepts sont au niveau des élèves. (T5)

## 7. Readability:

- les données sont précises et bien illustrées. (T6)
- il y a beaucoup de nouveau vocabulaire qui intervient. (T4)
- je crois que les élèves 101 auraient de la difficulté à comprendre. (T5)

## 8. Relevance:

- s'exposer aux "éléments" est une bonne façon de connaître la neige, si les activités sont viables. (T5)
- encore une fois, certains sont trop ambitieux pour le niveau. (T4)
- l'étude de la neige est très poussée. Les élèves se retrouveraient plus aisément dans la section sur la communauté biotique. (T5)

## 9. Flexibility:

- plusieurs activités peuvent se faire soit à l'intérieur ou à l'extérieur de la classe. (T6)
- certainement! On pourrait, à la limite, choisir les sections d'intérêt seulement. (T4)
- un professeur pourrait facilement adapter aux besoins. (T5)

## 10. Interactiveness:

- les sorties de la classe se prête bien à cette interaction. (T6)
- beaucoup! Du fait qu'il suggère de nombreuses activités, la suite doit en être assurée par des discussions élèves-élèves ou élèves-professeur. (T4)
- module est basé sur l'observation, (donc) interaction élève-élève et élève-professeur. (T5)

## Other comments:

- bref: module très bien agencé et développé, mais trop avancé sous certains aspects. (T4)
- le texte est plus difficile aux p. 193-241 (étude de la neige). Le texte est technique, le vocabulaire nouveau et cette section pourrait poser un problème. Si le professeur avance tranquillement avec les élèves à travers cette section, le problème peut être surmonté. (T5)



APPENDIX C: CLOZE PROCEDURE

- 1 - Attendez que le groupe d'élèves soit bien installé dans la salle d'examen avant de commencer.
- 2 - Présentez-vous: "Bonjour, je m'appelle Léonard Rivard. Je travaille au Bureau de l'Education française comme conseiller pédagogique. Je tiens à vous remercier d'avance pour votre aide précieuse dans le cadre de cette étude importante. A l'aide des résultats de cette étude, nous espérons découvrir le genre de texte ou de manuel scolaire qui vous conviendra le mieux. Plus précisément, nous voulons déterminer le niveau de lisibilité linguistique, c'est-à-dire la difficulté de la lecture, de divers textes en science."
- "Pour faire cet exercice, vous avez besoin d'un crayon ou d'un stylo, à votre choix."
- 3 - Distribuez les livrets aux élèves et mentionnez: "S'il vous plaît, ne commencez pas ce travail avant qu'on vous ait donné toutes les directives."

Attendez que tous les élèves aient reçu le livret. "L'exercice devant vous a été rédigé en éliminant ou rayant chaque 5<sup>e</sup> mot du texte en commençant par le 10<sup>e</sup> mot. Un espace en blanc ou un "blanc" remplace tous ces mots biffés. On vous demande de remplir chaque blanc avec le mot qui convient; celui-ci dépendra du contexte, c'est-à-dire du sens de la phrase."

"La longueur du blanc n'est pas un indice de la longueur, de la complexité, ou du type de mot à ajouter. Le mot pourrait être un verbe, un nom, un adjectif, aussi bien qu'un article. La plupart des blancs peuvent être remplacés par des mots ordinaires, toutefois, certains pourraient être des:

- \* chiffres comme . . . . . 3,427 ou 12\$ ou 1982
- \* mots élidés comme . . . . . l', d', n'
- \* abréviations comme . . . . . C pour Celsius  
km pour kilomètre
- \* une partie d'un mot composé . . . . . au-dessus, celle-ci

Mais la plupart sont des mots ordinaires.

"Un seul mot est requis pour chaque blanc. Les fautes d'orthographe ne seront pas pénalisées si la réponse est assez claire. Essayez de remplir chaque blanc mais ne vous attardez pas sur un blanc qui vous paraît difficile. Vous devriez plutôt remplir autant de blancs que possible pendant la durée du test. Rien ne vous empêche de deviner en cas de doute."

"Vous ne devriez pas vous attendre à remplir 80% ou 100% des blancs. Ceci ne serait pas réaliste. Ces exercices ne sont pas comme les épreuves ou les examens auxquels vous êtes habitués donc vos attentes ne devraient pas être les mêmes."

- 4 - "Voudriez-vous, s'il vous plaît, compléter l'exemple de la première page."

L'exemple:

L'énergie du soleil

En plus de la lumière, la terre reçoit du soleil<sup>1</sup> d'autres sortes d' énergie<sup>2</sup>. Une grande partie de l'<sup>3</sup> énergie solaire se transforme en<sup>4</sup> chaleur en arrivant sur la<sup>5</sup> terre. Sans cette chaleur, la<sup>6</sup> terre serait très froide. Les       <sup>7</sup> plantes et les animaux ne<sup>8</sup> pourraient pas y vivre.

Corrigez l'exemple avec les élèves.

"Avez-vous des questions à me poser avant de faire l'exercice?"

- 5 - "Le livret que vous avez devant vous est composé d'un exemple à la première page suivi d'une série de trois extraits tirés de divers textes. Vous avez un maximum de 45 minutes pour compléter la série. Lorsque la période de 45 minutes est écoulée, on vous demandera alors de remettre le livret à M. \_\_\_\_\_.  
Merci de votre collaboration."

Veillez remplir chaque espace en blanc ou "blanc" avec le mot qui convient; celui-ci dépendra du contexte de la phrase. La longueur du blanc n'est pas un indice de la longueur, de la complexité, ou du type de mot à ajouter. Le mot pourrait être un verbe, un nom, un adjectif aussi bien qu'un article. La plupart des blancs peuvent être remplacés par des mots ordinaires, toutefois, certains pourraient être des:

- \* chiffres . . . . . 3,427 ou 12\$ ou 1982
- \* mots élidés . . . . . l', d', n'
- \* abréviations . . . . . C pour Celsius,  
km pour kilomètre
- \* une partie d'un mot composé . . . . . au-dessus, celle-ci

Mais la plupart sont des mots ordinaires.

---

Complétez l'exemple ci-dessous.

L'énergie du soleil

En plus de la lumière, la terre reçoit du \_\_\_\_\_<sub>1</sub> d'autres sortes  
d'\_\_\_\_\_<sub>2</sub>. Une grande partie de \_\_\_\_\_<sub>3</sub> énergie  
solaire se transforme \_\_\_\_\_<sub>4</sub> chaleur en arrivant sur  
\_\_\_\_\_<sub>5</sub> terre. Sans cette chaleur, \_\_\_\_\_<sub>6</sub> terre  
serait très froide. \_\_\_\_\_<sub>7</sub> plantes et les animaux  
\_\_\_\_\_<sub>8</sub> pourraient pas y vivre.

Merci de votre collaboration.

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ %correcte = \_\_\_\_\_ X 100 = \_\_\_\_\_ %  
 c 56 c

Structure de la terre

On peut mesurer expérimentalement la vitesse des ondes P \_\_\_\_\_ dans \_\_\_\_\_  
 différentes roches. La comparaison \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ vitesses mesurées avec \_\_\_\_\_  
 celles \_\_\_\_\_ déduites \_\_\_\_\_ des sismogrammes mène aux \_\_\_\_\_ conclusions \_\_\_\_\_ suivantes:  
 la croûte continentale \_\_\_\_\_ est \_\_\_\_\_ granitique, la croûte océanique  
 basaltique \_\_\_\_\_, le manteau est formé \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ péridotites. Le  
 Moho correspond \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ un changement de composition  
 chimique \_\_\_\_\_. Vers - 70 km, \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ vitesse des ondes S  
 passe \_\_\_\_\_ de 4,8 à 4,3 \_\_\_\_\_ km \_\_\_\_\_ /s. Elle reste pratiquement  
 constante \_\_\_\_\_ jusqu'à - 250 \_\_\_\_\_ km \_\_\_\_\_. Cette discontinuité est  
 attribuée \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ l'existence d'une \_\_\_\_\_ couche \_\_\_\_\_ partiellement  
 fondue (1 à \_\_\_\_\_ % de liquide): l' \_\_\_\_\_ asthénosphère \_\_\_\_\_. Par ailleurs,  
 la différence \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ masse volumique entre les \_\_\_\_\_ deux \_\_\_\_\_  
 types de croûte permet, \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_ vertu du principe d'Archimède \_\_\_\_\_,  
 d'expliquer la position \_\_\_\_\_ variable \_\_\_\_\_ du Moho (- 15 \_\_\_\_\_ km \_\_\_\_\_  
 sous les océans, - \_\_\_\_\_ km sous les continents).  
 L' \_\_\_\_\_ ensemble de ces données \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ permis de construire  
 le \_\_\_\_\_ modèle \_\_\_\_\_ suivant: au-dessus d' \_\_\_\_\_ une \_\_\_\_\_ asthénosphère vis-  
 queuse flotte un \_\_\_\_\_ ensemble \_\_\_\_\_ rigide, la lithosphère, de \_\_\_\_\_  
 à 100 km d' \_\_\_\_\_ épaisseur \_\_\_\_\_.

Données physico-chimiques sur \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ zones internes \_\_\_\_\_

La nature \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ roches en profondeur n' \_\_\_\_\_ est \_\_\_\_\_  
 connue qu'indirectement. La \_\_\_\_\_ masse \_\_\_\_\_ volumique des roches accessibles  
 à \_\_\_\_\_ l'observation directe ne \_\_\_\_\_ dépasse \_\_\_\_\_ pas 3,6 g/cm<sup>3</sup>;  
 celle \_\_\_\_\_ de la Terre étant \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 5,5 g/cm<sup>3</sup>, force  
 est \_\_\_\_\_ d'admettre l'existence \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_ profondeur de roches \_\_\_\_\_

beaucoup plus <sup>43</sup> denses. L'étude des météorites <sup>44</sup> fournit  
 une première indication sur <sup>45</sup> la nature possible des  
roches <sup>46</sup> profondes. D'après leur masse <sup>47</sup> volumique et leur  
 composition chimique <sup>48</sup>, on en distingue trois sortes <sup>49</sup>: celles  
 proches du granite, celles <sup>50</sup> proches des péridotites, la  
dernière <sup>51</sup> catégorie représente 58% des <sup>52</sup> météorites;  
 leur masse volumique atteint <sup>53</sup> 7,5 g/cm<sup>3</sup> et elles <sup>54</sup> renferment  
 90% de fer <sup>55</sup> allié à du nickel <sup>56</sup> et <sup>56</sup> du cobalt.



La plaque indienne commence un voyage rapide (10 cm/an)  
 vers le Nord, ouvrant l'Océan Indien dont les  
 plus anciennes traces datent de - 75 MA. Les  
 basaltes du Dekkan s'épanchent, lors du passage  
 au-dessus du point chaud de la Téthys; ce dernier  
 continue à fonctionner, créant ensuite le seuil Tchagos-Laquedives.  
 On situe vers - 45 MA la collision indo-eurasienne.



Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte = \_\_\_\_\_ X 100 = \_\_\_\_\_ %  
c 51 c

Preuves à l'appui de la dérive des continents

On peut grouper les preuves apportées à la dérive \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_  
1  
continents d'après les \_\_\_\_\_ rubriques \_\_\_\_\_ qui suivent.  
2

1. La corrélation \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ littoraux. L'examen de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_  
3 4  
figure révèle une corrélation \_\_\_\_\_ très \_\_\_\_\_ précise entre la découpe  
5  
de \_\_\_\_\_ la côte orientale de \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ Amérique du  
6 7  
Sud et \_\_\_\_\_ celle \_\_\_\_\_ de la côte occidentale \_\_\_\_\_ d' \_\_\_\_\_  
8 9  
Afrique, vers 1 000 m \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ profondeur. C'est cette  
10  
complémentarité \_\_\_\_\_ quasiment parfaite qui a, \_\_\_\_\_ dès \_\_\_\_\_  
11 12  
l'origine, intrigué Wegener \_\_\_\_\_ car \_\_\_\_\_ elle était trop  
13  
parfaite \_\_\_\_\_ pour \_\_\_\_\_ que l'on songe \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_  
14 15  
une pure coïncidence. Il \_\_\_\_\_ est \_\_\_\_\_ possible d'établir  
16  
une \_\_\_\_\_ corrélation \_\_\_\_\_ semblable entre les côtes \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_  
17 18  
les talus des autres \_\_\_\_\_ masses \_\_\_\_\_ continentales.  
19

2. La concordance géologique. \_\_\_\_\_ Un \_\_\_\_\_ travail soigné  
20  
de la \_\_\_\_\_ part \_\_\_\_\_ des géochronologues - ceux qui  
21  
étudient \_\_\_\_\_ le passé ancien de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ Terre-  
22 23  
a mis en \_\_\_\_\_ relief \_\_\_\_\_ une concordance géologique frappante  
24  
entre \_\_\_\_\_ l'Amérique du Sud \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_ l'Afrique.  
25 26  
Comme le \_\_\_\_\_ montre \_\_\_\_\_ la figure, les zones \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
27 28  
boucliers ainsi que les \_\_\_\_\_ autres \_\_\_\_\_ zones coïncident quand  
29  
les \_\_\_\_\_ deux \_\_\_\_\_ continents sont emboîtés l' \_\_\_\_\_ un \_\_\_\_\_  
30 31  
dans l'autre. La \_\_\_\_\_ même \_\_\_\_\_ concordance géologique existe  
32  
entre \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ Amérique du Nord, l' \_\_\_\_\_ Europe \_\_\_\_\_  
33 34  
et l'Afrique du \_\_\_\_\_ Nord \_\_\_\_\_.  
35

3. Paléoclimatologie. La paléoclimatologie est \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_  
science des climats anciens. \_\_\_\_\_ C' \_\_\_\_\_ est elle qui four-  
nit \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ preuves les plus étoffées \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_  
l'appui de la \_\_\_\_\_ dérive \_\_\_\_\_ continentale. On sait, par  
exemple \_\_\_\_\_, que les dépôts de \_\_\_\_\_ houille \_\_\_\_\_ du  
Carbonifère doivent leur \_\_\_\_\_ existence \_\_\_\_\_ à des conditions  
climatiques \_\_\_\_\_ d' \_\_\_\_\_ exceptionnelle chaleur et humidité.  
Comment \_\_\_\_\_, alors, expliquer la localisation \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
ces champs de houille \_\_\_\_\_ dans \_\_\_\_\_ les parties subpolaires  
de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ Sibérie, du Canada et \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
l'Antarctique, sans faire \_\_\_\_\_ appel \_\_\_\_\_ à l'hypothèse de  
\_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ dérive des continents?  
\_\_\_\_\_

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte =  $\frac{\quad}{50} \times 100 = \quad\% \quad c$

### La tectonique des plaques

Notre exposé sur la tectonique des plaques doit commencer \_\_\_\_\_ par \_\_\_\_\_  
 la redéfinition de deux \_\_\_\_\_ termes \_\_\_\_\_ déjà utilisés. En premier \_\_\_\_\_  
 lieu \_\_\_\_\_, nous devons élargir la \_\_\_\_\_ notion \_\_\_\_\_ de lithosphère  
 présentée d' \_\_\_\_\_ abord \_\_\_\_\_ comme synonyme d'écorce \_\_\_\_\_ terrestre \_\_\_\_\_,  
 pour y inclure la \_\_\_\_\_ partie \_\_\_\_\_ rigide du manteau supérieur. \_\_\_\_\_  
 s'ensuit donc que \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ écorce terrestre ne comprend \_\_\_\_\_ plus \_\_\_\_\_  
 maintenant que la portion \_\_\_\_\_ située \_\_\_\_\_ au-dessus de la \_\_\_\_\_ discontinuité \_\_\_\_\_  
 de Mohorovicic (Moho). A \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ base de la lithosphère, \_\_\_\_\_  
 à \_\_\_\_\_ une profondeur moyenne de \_\_\_\_\_ 100 \_\_\_\_\_ km, les conditions  
 de \_\_\_\_\_ température \_\_\_\_\_ et de pression ont \_\_\_\_\_ créé \_\_\_\_\_ une portion moins  
 rigide \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ manteau, sorte de zone \_\_\_\_\_ plastique \_\_\_\_\_ ou visqueuse  
 appelée asthénosphère. \_\_\_\_\_

La \_\_\_\_\_ tectonique des plaques part \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ principe  
 que cette lithosphère \_\_\_\_\_ élargie \_\_\_\_\_ est constituée d'un \_\_\_\_\_ certain \_\_\_\_\_  
 nombre de plaques rigides \_\_\_\_\_ qui \_\_\_\_\_ glissent continuellement sur la  
 zone \_\_\_\_\_ plastique comme des blocs \_\_\_\_\_ autonomes \_\_\_\_\_. Le mouvement  
 des plaques \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ unes par rapport aux \_\_\_\_\_ autres \_\_\_\_\_ peut  
 se manifester de \_\_\_\_\_ trois \_\_\_\_\_ façons: (a) elles peuvent diverger; (b)  
 elles \_\_\_\_\_ peuvent converger; (c) l'une \_\_\_\_\_ peut \_\_\_\_\_ glisser  
 et dépasser l' \_\_\_\_\_ autre \_\_\_\_\_. Chacune de ces situations \_\_\_\_\_ met \_\_\_\_\_  
 en branle un processus \_\_\_\_\_ géologique \_\_\_\_\_ extrêmement différent. C'est  
 ce \_\_\_\_\_ qu'illustre la figure. \_\_\_\_\_

(a) \_\_\_\_\_ Mouvement \_\_\_\_\_ de divergence: formation de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_  
 plaque. Sous la plupart \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ bassins océaniques du monde,  
 \_\_\_\_\_

les \_\_\_\_\_ plaques de la lithosphère \_\_\_\_\_ opèrent \_\_\_\_\_ un mouvement  
39 \_\_\_\_\_ 40  
de divergence \_\_\_\_\_ graduel \_\_\_\_\_. Dans les fissures, ou \_\_\_\_\_ crevasses  
41 \_\_\_\_\_ 42  
géantes engendrées par ce \_\_\_\_\_ mouvement \_\_\_\_\_, il se produit des  
43  
montées \_\_\_\_\_ du magma qui se \_\_\_\_\_ refroidit \_\_\_\_\_ au contact de  
44 \_\_\_\_\_ 45  
l' \_\_\_\_\_ eau \_\_\_\_\_ pour former une nouvelle \_\_\_\_\_ croûte \_\_\_\_\_ océanique.  
46 \_\_\_\_\_ 47  
Ces nouveaux matériaux \_\_\_\_\_ viennent \_\_\_\_\_ s'ajouter dans la \_\_\_\_\_ traînée  
48 \_\_\_\_\_ 49  
de chaque plaque de \_\_\_\_\_ façon \_\_\_\_\_ plutôt spectaculaire.  
50

## EXTRAIT #5

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ %correcte = \_\_\_\_\_ X 100 = \_\_\_\_\_ %  
 c 53 c

Lithosphère et asthénosphère

Au-delà de 300 km, les conditions de pression \_\_\_\_\_ sont \_\_\_\_\_ telles que  
 1  
 la température \_\_\_\_\_ n' \_\_\_\_\_ atteint pas celle nécessaire \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_  
 2 3  
 la fusion; le manteau \_\_\_\_\_ redevient \_\_\_\_\_ solide, ce qui explique  
 4  
 l' \_\_\_\_\_ augmentation de vitesse des \_\_\_\_\_ ondes \_\_\_\_\_ s.  
 5 6

En conclusion, nous \_\_\_\_\_ voyons \_\_\_\_\_ que les données sismiques  
 7  
 rejoignent \_\_\_\_\_ celles de l'isostasie \_\_\_\_\_ pour \_\_\_\_\_ indiquer l'existence,  
 8 9  
 au \_\_\_\_\_ sein \_\_\_\_\_ du manteau supérieur, d' \_\_\_\_\_ une \_\_\_\_\_ couche relative-  
 10 11  
 ment visqueuse qu' \_\_\_\_\_ on \_\_\_\_\_ a appelée asthénosphère. La  
 12  
 structure \_\_\_\_\_ superficielle du globe peut \_\_\_\_\_ alors \_\_\_\_\_ être présentée  
 13 14  
 ainsi:

\* la \_\_\_\_\_ couche \_\_\_\_\_ externe, appelée lithosphère, épaisse \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
 15 16  
 70 km (sous les \_\_\_\_\_ océans \_\_\_\_\_) à 120-150 km ( \_\_\_\_\_ sous \_\_\_\_\_ les  
 17 18  
 continents), est rigide. \_\_\_\_\_ Elle \_\_\_\_\_ comprend la totalité de  
 19  
 la \_\_\_\_\_ croûte plus une partie \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ manteau  
 20 21  
 supérieur.

\* Sous la \_\_\_\_\_ lithosphère \_\_\_\_\_, existe l'asthénosphère qui \_\_\_\_\_ n' \_\_\_\_\_ est  
 22 23  
 pas rigide mais \_\_\_\_\_ plastique \_\_\_\_\_, capable de fluer sous \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
 24 25  
 faibles contraintes. Ses propriétés \_\_\_\_\_ mécaniques \_\_\_\_\_ font qu'elle ne  
 26  
 peut \_\_\_\_\_ se briser en produisant \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ séismes.  
 27 28

La différence fondamentale \_\_\_\_\_ entre \_\_\_\_\_ lithosphère et asthénosphère  
 29  
 réside \_\_\_\_\_ dans \_\_\_\_\_ le fait qu'à \_\_\_\_\_ leur \_\_\_\_\_ limite, on se trouve  
 30 31  
 à \_\_\_\_\_ la température de fusion \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ roches qui consti-  
 32 33  
 tuent le \_\_\_\_\_ manteau \_\_\_\_\_, si bien qu'on \_\_\_\_\_ assiste \_\_\_\_\_, en descendant, à  
 34 35  
 leur \_\_\_\_\_ liquéfaction \_\_\_\_\_ partielle, suffisante pour diminuer \_\_\_\_\_ leur \_\_\_\_\_  
 36 37  
 rigidité.

La multiplication des observatoires a permis d'avoir, vers  
 la fin des années 1960, une image très précise de  
 la sismicité du globe. Nous voyons que les foyers sismiques  
 ne sont pas répartis de façon quelconque, mais disposés  
selon des ceintures bien délimitées.

On peut reconnaître:  
 46

\* une zone sismique très étroite, suivant fidèlement  
 47

l' axe des dorsales océaniques,  
 48

\* une zone sismique péri-Pacifique où les  
 49 50

séismes sont associés à de profondes fosses océaniques  
 51

(fosse des Kouriles, du Japon, du Chili, etc.).  
 52 53



à 18 cm par an pour les plus rapides (plaque de Nazca).  
46 47

Il faut bien comprendre que plaque n' est pas  
48 49  
synonyme de continent.  
50





Remuez vigoureusement <sup>36</sup> la boîte et ensuite enlevez <sup>37</sup> de la  
boîte seulement les <sup>38</sup> marqueurs qui pointent vers le <sup>39</sup>  
côté marqué. Supposons que ces <sup>40</sup> "atomes" se sont désintégrés.  
Prenez en note le nombre <sup>41</sup> d' <sup>42</sup> atomes qui restent  
dans la <sup>43</sup> boîte.

Répétez l'opération en <sup>44</sup> tenant compte du nombre d' <sup>45</sup>  
atomes qui restent à chaque <sup>46</sup> fois.

Continuez jusqu'à ce <sup>47</sup> que la boîte soit vide <sup>48</sup>.

Construisez un graphique comparant le <sup>49</sup> nombre de marqueurs  
dans la <sup>50</sup> boîte à chaque arrêt.

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte =  $\frac{\quad}{49} \times 100 = \frac{\quad}{c} \%$

### La radiochronologie

En 1907, l'Américain B.B. Boltwood découvrit que \_\_\_\_\_ l'uranium  
se désintégrait naturellement \_\_\_\_\_ formant \_\_\_\_\_ du plomb. Il conclut  
que \_\_\_\_\_ l'âge d'un \_\_\_\_\_ minéral \_\_\_\_\_ donné pouvait être établi  
si \_\_\_\_\_ on connaissait la quantité \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ l'élément-  
parent, la \_\_\_\_\_ qualité \_\_\_\_\_ de l'élément-fils, \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_ pro-  
duit de la désintégration, \_\_\_\_\_ ainsi \_\_\_\_\_ que la vitesse de désintégration  
de l'élément-parent.

Une \_\_\_\_\_ méthode de datation est \_\_\_\_\_ basée \_\_\_\_\_ sur la  
désintégration de \_\_\_\_\_ l'uranium qui subit \_\_\_\_\_ transformations  
ou changements avant de \_\_\_\_\_ devenir \_\_\_\_\_ du plomb. Au fur \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_  
à mesure que la \_\_\_\_\_ désintégration \_\_\_\_\_ de l'uranium se \_\_\_\_\_ produit \_\_\_\_\_, la  
quantité de plomb \_\_\_\_\_ s' \_\_\_\_\_ accroît. La vitesse de \_\_\_\_\_ la  
désintégration de l'uranium, \_\_\_\_\_ ainsi \_\_\_\_\_ que d'autres éléments  
instables \_\_\_\_\_, a été établie précisément. \_\_\_\_\_ En \_\_\_\_\_ plus, la  
recherche démontre \_\_\_\_\_ que \_\_\_\_\_ la vitesse caractéristique d' \_\_\_\_\_ un  
élément radioactif n'a \_\_\_\_\_ pas \_\_\_\_\_ changé au cours de \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_  
histoire géologique.

Après la \_\_\_\_\_ formation \_\_\_\_\_ d'un minéral contenant \_\_\_\_\_ des  
atomes d'uranium, les \_\_\_\_\_ produits \_\_\_\_\_ de la désintégration commencent  
à \_\_\_\_\_ s'accumuler. L'âge \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ minéral est calculé  
en \_\_\_\_\_ déterminant \_\_\_\_\_ la proportion entre l' \_\_\_\_\_ élément \_\_\_\_\_ -parent  
(l'uranium) et \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_ produit final (le plomb). \_\_\_\_\_ Cette  
analyse exige de l' \_\_\_\_\_ équipement \_\_\_\_\_ très spécialisé. Cette méthode  
présume \_\_\_\_\_ que le plomb, une \_\_\_\_\_ fois \_\_\_\_\_ formé, ne s'échappe  
pas \_\_\_\_\_ du minéral, que le \_\_\_\_\_ plomb \_\_\_\_\_ ne s'incorpore pas  
de \_\_\_\_\_ l'extérieur, et qu' \_\_\_\_\_ il \_\_\_\_\_ n'y avait pas





Selon ce 34 modèle, la croûte continentale est 35  
 essentiellement composée de granite, tandis 36 que la croûte océanique  
est 37 constituée de basalte. La couche 38 basaltique  
 s'étend de façon 39 continue tout autour du globe 40.  
 Ceci explique, en partie, pourquoi 41 la croûte terrestre est  
plus 42 épaisse sous les continents. Le 43  
 Moho, nommé d'après son 44 découvreur, Andréja Mohorovičić, un  
sismologue 45 yougoslave, est situé entre la 46 basaltique  
 et la couche 47 composée de péridotite. Le Moho 48 est  
 plutôt une surface de 49 discontinuité ou une ligne  
de 50 démarcation entre la croûte océanique 51 de basalte  
 et la couche 52 de péridotite qui possède une 53  
 plus haute densité.



oiseaux \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_ les animaux sont mal  
à \_\_\_\_\_ 39 l'aise, les arbres \_\_\_\_\_ se  
40 \_\_\_\_\_ 41  
balancent, les portes et \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ lustres  
42  
oscillent légèrement.

II. Ressenti \_\_\_\_\_ par \_\_\_\_\_ quelques personnes au  
43  
repos, \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_ particulier dans les étages  
44  
\_\_\_\_\_ supérieurs \_\_\_\_\_ des habitations.  
45

III. Ressenti à \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ intérieur des maisons,  
46  
mais \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ plupart des gens n' \_\_\_\_\_ identifient  
47 \_\_\_\_\_ 48  
pas un tremblement de \_\_\_\_\_ terre \_\_\_\_\_ : vibrations  
49  
analogues à celles \_\_\_\_\_ que \_\_\_\_\_ provoque un petit  
50  
camion.



Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte =  $\frac{53}{c} \times 100 =$  \_\_\_\_\_ %

Les cristaux de neige

Les cristaux formés d'une seule aiguille sont \_\_\_\_\_ tout \_\_\_\_\_ aussi  
fréquents. Si, durant \_\_\_\_\_ leur \_\_\_\_\_ chute ou à la \_\_\_\_\_ faveur  
d'un courant d' \_\_\_\_\_ air \_\_\_\_\_ ascendant, ces cristaux traversent  
\_\_\_\_\_ une \_\_\_\_\_ région dans laquelle la \_\_\_\_\_ température \_\_\_\_\_ avoisine  
-15° \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_, une plaquette ou une \_\_\_\_\_ étoile \_\_\_\_\_ se forme à  
chacune \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ leurs extrémités. Quand les \_\_\_\_\_ aiguilles  
sont coiffées de ces \_\_\_\_\_ plaquettes \_\_\_\_\_, les cristaux qui en \_\_\_\_\_ résultent  
sont appelés cristaux en " \_\_\_\_\_ bouton \_\_\_\_\_ de manchettes" en raison  
\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ leur forme. Dans un \_\_\_\_\_ tel \_\_\_\_\_ cristal, la  
longueur de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ colonne centrale et le \_\_\_\_\_ diamètre  
des plaquettes situées aux \_\_\_\_\_ extrémités \_\_\_\_\_ peuvent varier dans  
n' \_\_\_\_\_ importe \_\_\_\_\_ quel rapport. En particulier, \_\_\_\_\_ quand  
la colonne centrale est \_\_\_\_\_ courte \_\_\_\_\_, l'une des extrémités  
\_\_\_\_\_ est \_\_\_\_\_ généralement beaucoup plus grosse \_\_\_\_\_ que  
l'autre. Cette structure \_\_\_\_\_ apparaît \_\_\_\_\_ probablement quand les deux  
\_\_\_\_\_ extrémités \_\_\_\_\_ sont si proches que \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ bords des  
plaquettes entrent \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_ compétition pour s'approprier  
\_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ vapeur d'eau nécessaire \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ leur  
croissance.

Une proportion \_\_\_\_\_ importante \_\_\_\_\_, peut-être même la majorité  
des \_\_\_\_\_ cristaux ramifiés sont en \_\_\_\_\_ réalité \_\_\_\_\_ des  
cristaux "en bouton \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ manchette", bien qu'ils \_\_\_\_\_ aient  
\_\_\_\_\_

une colonne centrale extrêmement courte <sup>35</sup>. En fait, cette colonne  
centrale <sup>36</sup> correspond peut-être à la gouttelette <sup>37</sup> d'eau  
d'origine, gelée <sup>38</sup> en un seul cristal, avec <sup>39</sup> une  
plaquette ou une étoile <sup>40</sup> à chacune des extrémités de <sup>41</sup>  
l'axe de symétrie hexagonale <sup>42</sup>. Quand les deux extrémités  
sont <sup>43</sup> distantes de moins d'un <sup>44</sup> millimètre, la  
compétition entre elles <sup>45</sup> devient très forte et le <sup>46</sup>  
résultat sera des cristaux ramifiés <sup>47</sup> à moins de six branches <sup>48</sup>.  
A partir d'une des <sup>49</sup> extrémités plates, il se forme <sup>50</sup>  
une, deux ou trois des <sup>51</sup> six branches, les autres  
se <sup>52</sup> développant à partir de l' <sup>53</sup> autre  
extrémité.



soit \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_ processus de multiplication des \_\_\_\_\_ cristaux  
40  
existe mais il a \_\_\_\_\_ résisté \_\_\_\_\_ jusqu'à présent à \_\_\_\_\_ toutes  
42 43  
nos investigations. Quand de \_\_\_\_\_ tels \_\_\_\_\_ processus seront connus, il  
44  
\_\_\_\_\_ sera \_\_\_\_\_ possible de les prévoir \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_ de les  
45 46  
modifier.

Concluons \_\_\_\_\_ par \_\_\_\_\_ un bref calcul portant \_\_\_\_\_ sur  
47 48  
le problème bien connu \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ savoir s'il existe \_\_\_\_\_ ou \_\_\_\_\_ non  
49 50  
deux cristaux de \_\_\_\_\_ neige \_\_\_\_\_ identiques.  
51







Expose le 33 réservoir d'un thermomètre au 34  
souffle d'un ventilateur pendant 35 20 minutes. Note la température 36  
avant et après. Que s' 37 est-il passé?

Le rôle 38 du vent dans la sensation 39 de froid que  
nous éprouvons 40 ne s'exerce pas par 41 un abaissement  
direct de la 42 température de l'air, mais 43 par  
ce que l'on 44 appelle l'effet de refroidissement 45 éolien.  
Cette action s'exerce 46 réellement et est loin d' 47 être  
une simple impression. En 48 effet, la force du vent 49  
renouvelle continuellement l'air extérieur 50 glacé qui vient en  
contact 51 avec notre peau et chasse 52 au fur et à  
mesure 53 la mince couche d' 54 air réchauffée par notre  
corps 55.



EXTRAIT #15

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte =  $\frac{53}{c} \times 100 = \frac{452}{c} \%$

Des avalanches en retard

Une partie des avalanches de neige récente ne se \_\_\_\_\_ déclenche \_\_\_\_\_ pas  
 au moment de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ chute mais dans les \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ jours \_\_\_\_\_ sui-  
 vants, bien que la \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ température \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_ n'ait pas été \_\_\_\_\_ suffisante \_\_\_\_\_ pour  
 amorcer la fonte. \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ La \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ responsable de ce curieux \_\_\_\_\_ retard  
 est maintenant bien connue. ~~\*\*\*\*\*L'\*\*\*\*\*~~ L'une des \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_ trois \_\_\_\_\_ 7  
 grandes métamorphoses de la \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_ neige \_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_, la métamorphose d'isothermie.  
 \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ Au \_\_\_\_\_ moment où elle se \_\_\_\_\_ dépose \_\_\_\_\_, la neige est consti-  
 tuée \_\_\_\_\_ 11 \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 12 \_\_\_\_\_ cristaux très variés. Quelques \_\_\_\_\_ jours \_\_\_\_\_ plus  
 tard on ne \_\_\_\_\_ 13 \_\_\_\_\_ retrouve \_\_\_\_\_ 14 \_\_\_\_\_ plus que des morceaux \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ formes  
 initiales lissés et \_\_\_\_\_ 15 \_\_\_\_\_ arrondis \_\_\_\_\_ 16 \_\_\_\_\_ comme s'ils avaient \_\_\_\_\_ fondu \_\_\_\_\_.  
 On parle alors de " \_\_\_\_\_ 17 \_\_\_\_\_ particules \_\_\_\_\_ 18 \_\_\_\_\_ reconnaissables" que l'on \_\_\_\_\_ symbolise  
 par le signe  $\lambda$ . \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_\_ Plus \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ tard encore on ne \_\_\_\_\_ retrouvera \_\_\_\_\_ plus  
 que de petits \_\_\_\_\_ 21 \_\_\_\_\_ grains \_\_\_\_\_ 22 \_\_\_\_\_ ronds de quelques dixièmes \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
 millimètres de diamètre, les " \_\_\_\_\_ 23 \_\_\_\_\_ grains \_\_\_\_\_ 24 \_\_\_\_\_ fins", symbolisés par le  
 \_\_\_\_\_ 25 \_\_\_\_\_ signe  $\bullet$ . Que s'est-il \_\_\_\_\_ 26 \_\_\_\_\_ passé? La neige a  
 \_\_\_\_\_ 27 \_\_\_\_\_ d' \_\_\_\_\_ une part subi une \_\_\_\_\_ action \_\_\_\_\_ mécanique. Au fur et  
 \_\_\_\_\_ 28 \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ 29 \_\_\_\_\_ mesure qu'elles s' \_\_\_\_\_ enfouissent \_\_\_\_\_ les couches de neige  
 \_\_\_\_\_ 30 \_\_\_\_\_ doivent \_\_\_\_\_ 31 \_\_\_\_\_ supporter le poids des \_\_\_\_\_ couches \_\_\_\_\_ supérieures,  
 ce qui provoque \_\_\_\_\_ 32 \_\_\_\_\_ une \_\_\_\_\_ 33 \_\_\_\_\_ destruction des cristaux. Cette  
 \_\_\_\_\_ 34 \_\_\_\_\_ destruction \_\_\_\_\_ est accélérée si la \_\_\_\_\_ précipitation \_\_\_\_\_ a eu lieu avec  
 \_\_\_\_\_ 35 \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ 36 \_\_\_\_\_ vent qui, en transportant \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ cristaux,  
 \_\_\_\_\_ 37 \_\_\_\_\_ les brise et \_\_\_\_\_ 38 \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ réduit en miettes. Elle  
 \_\_\_\_\_ 39 \_\_\_\_\_ peut \_\_\_\_\_ être aussi accélérée artificiellement \_\_\_\_\_ par  
 \_\_\_\_\_ 40 \_\_\_\_\_ le damage (tassement de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ neige sur les pistes \_\_\_\_\_ 41 \_\_\_\_\_ de  
 ski). Cette métamorphose a \_\_\_\_\_ 42 \_\_\_\_\_ d' \_\_\_\_\_ 43 \_\_\_\_\_ abord été appelée "destructive".  
 \_\_\_\_\_ 44 \_\_\_\_\_

Une 45 telle action mécanique ne suffit 46 pourtant  
pas à expliquer l' 47 allure arrondie et lissée des 48  
fragments de cristaux ni la 49 formation ultérieure des grains  
fins 50. Un autre mécanisme, thermodynamique cette 51  
fois-ci, entre en jeu 52.





EXTRAIT #17

456

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte = \_\_\_\_\_ X 100 = \_\_\_\_\_ %  
c 49 c

Le vieillissement de la neige

Comme toute autre chose, les cristaux de neige subissent \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_  
effets du vieillissement. Les \_\_\_\_\_ cristaux \_\_\_\_\_ ne sont pas des \_\_\_\_\_ corps \_\_\_\_\_  
stables. Ils se transforment \_\_\_\_\_ donc \_\_\_\_\_ progressivement sous l'action  
\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ la chaleur, de la \_\_\_\_\_ pression \_\_\_\_\_ et même du vent.  
\_\_\_\_\_ L' \_\_\_\_\_ ensemble des phénomènes qui \_\_\_\_\_ donnent \_\_\_\_\_ lieu à  
cette transformation \_\_\_\_\_ est \_\_\_\_\_ appelé métamorphose, terme emprunté  
\_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ la biologie et qui \_\_\_\_\_ désigne \_\_\_\_\_ un changement  
radical de \_\_\_\_\_ forme \_\_\_\_\_ ou d'aspect.  
\_\_\_\_\_

Une \_\_\_\_\_ couverture \_\_\_\_\_ de neige composée de \_\_\_\_\_ cristaux \_\_\_\_\_ étoilés  
est très légère. \_\_\_\_\_ Cette \_\_\_\_\_ couverture résulte de la \_\_\_\_\_ formation \_\_\_\_\_  
d'un réseau complexe \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_ fragile qui relie les \_\_\_\_\_ branches \_\_\_\_\_  
délicates des cristaux étoilés. \_\_\_\_\_ La \_\_\_\_\_ perturbation de cette neige  
\_\_\_\_\_ par \_\_\_\_\_ le vent peut briser \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ branches délicates  
des cristaux. \_\_\_\_\_ En \_\_\_\_\_ conséquence, les fragments de \_\_\_\_\_ ces \_\_\_\_\_  
cristaux forment une masse \_\_\_\_\_ amorphe \_\_\_\_\_ beaucoup plus compacte.  
\_\_\_\_\_

La \_\_\_\_\_ chaleur \_\_\_\_\_ est un autre facteur \_\_\_\_\_ important \_\_\_\_\_ qui entraîne  
la métamorphose \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ manteau nival, c'est-à-dire de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_  
couverture de neige. La \_\_\_\_\_ transformation \_\_\_\_\_ sous l'action de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_  
chaleur peut se dérouler \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ l'intérieur de la \_\_\_\_\_ couverture \_\_\_\_\_  
nivale même lorsque la \_\_\_\_\_ différence \_\_\_\_\_ de température entre une  
\_\_\_\_\_ couche \_\_\_\_\_ de neige et une \_\_\_\_\_ autre \_\_\_\_\_ est imperceptible.  
Lorsque la \_\_\_\_\_ couverture \_\_\_\_\_ de neige se caractérise \_\_\_\_\_ par \_\_\_\_\_  
une température à peu \_\_\_\_\_ près \_\_\_\_\_ uniforme, les cristaux les  
\_\_\_\_\_ plus \_\_\_\_\_ complexes prennent graduellement une \_\_\_\_\_ forme \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

sphérique. C'est la métamorphose<sup>41</sup> d'isothermie. Cette transformation  
est<sup>42</sup> rapide lorsque la température est<sup>43</sup> proche  
du point de congélation<sup>44</sup>. Par contre, les changements sont<sup>45</sup>  
presque négligeables à une température<sup>46</sup> de  $-40^{\circ}$  C<sup>47</sup>.  
Cette transformation est aussi appelée<sup>48</sup> métamorphose destructive  
puisque les formes<sup>49</sup> cristallines sont détruites.

Nombre de réponses correctes  $\frac{\quad}{c}$  %correcte =  $\frac{54}{c}$  X 100 =  $\quad$  %

Diverses apparences de la neige

Cet endroit, l'anymanya, est connu par les autochtones comme  
 étant un bon endroit pour tendre un piège ou placer  
 une trappe. Puisque la neige est peu profonde, les animaux  
 viennent manger la végétation exposée. Des chercheurs finlandais ont  
démontré que l'anymanya est très important dans la vie  
de la perdrix et du lièvre.

L'intensité du soleil devient de plus en plus forte  
 au printemps car les jours allongent. Le soleil agit  
sur la neige entraînant la fonte de la couche supérieure.  
 Pendant les nuits froides, celle-ci gèle de nouveau.  
 Ce cycle de gel-dégel forme une croûte dure de neige  
tôlée, le siqoqtoaq. Par ailleurs, si les conditions  
 météorologiques changent radicalement amenant un refroidissement général,  
le siqoqtoaq ne se dégèle pas pendant la journée.  
 On sait que les caribous interrompent leur migration  
 pendant cette période de refroidissement. Une fois que  
ce régime de froid intense est passé et que le  
soleil a réchauffé la couverture de neige, dégelant  
 le siqoqtoaq, la migration des caribous reprend.

Est -ce possible que les caribous interrompent leur mi-  
 gration parce qu' ils souffrent trop à chaque pas qui  
 perce le siqoqtoaq? Le mot pukak décrit le givre de  
 profondeur qui se forme dans la couche inférieure de la  
 couverture de neige sous l'action de la métamorphose.

Extrait #18

459

Avec le temps, \_\_\_\_\_ cette \_\_\_\_\_ neige pourrie peut devenir \_\_\_\_\_ une \_\_\_\_\_  
43 44  
caverne de très grande \_\_\_\_\_ étendue \_\_\_\_\_ supportée par des treillis  
45  
\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ glace fragiles et protégés \_\_\_\_\_ des \_\_\_\_\_ conditions clima-  
46 47  
tiques rigoureuses qui \_\_\_\_\_ règnent \_\_\_\_\_ à l'extérieur. Le \_\_\_\_\_ pukak  
48 49  
permet donc aux petits \_\_\_\_\_ mammifères \_\_\_\_\_ de la taïga tels \_\_\_\_\_ que \_\_\_\_\_  
50 51  
les campagnols, les musaraignes \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_ les lemmings de se  
52  
\_\_\_\_\_ nourrir \_\_\_\_\_ de la végétation au \_\_\_\_\_ sol \_\_\_\_\_ .  
53 54





se succèdent par stades ou étapes  
 41 42  
 de développement jusqu'à ce que le "climax" s'  
 43  
établit, c'est-à-dire qu'une communauté  
 44 45  
 bien adaptée aux conditions précises du site s'installe.  
 46

Le  poids du qali peut   casser   
 47 48  
 les épinettes, plantes "climax"  de   la taïga. Dès   
 49  
 que,  dans  un endroit donné, un  bon   
 50 51  
 nombre de conifères sont  cassés  par ce mécanisme, plus  
 52  
 le  rayonnement solaire pénètre la  forêt .  
 53 54

EXTRAIT #20

Nombre de réponses correctes \_\_\_\_\_ % correcte =  $\frac{462}{50} \times 100 = \frac{\quad}{c} \%$

La communauté biotique

L'hiver canadien impose des conditions de vie extrêmement  
\_\_\_\_\_ difficiles \_\_\_\_\_ aux populations qui y \_\_\_\_\_ habitent \_\_\_\_\_. Les  
1 animaux qui hivernent \_\_\_\_\_ dans \_\_\_\_\_ la toundra canadienne  
2 doivent \_\_\_\_\_ subir \_\_\_\_\_ le froid polaire. Le \_\_\_\_\_ facteur  
3 de refroidissement des vents \_\_\_\_\_ permanents \_\_\_\_\_ soufflant à grande  
4 vitesse \_\_\_\_\_ est \_\_\_\_\_ tel qu'il met \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ l'épreuve  
5 les animaux \_\_\_\_\_ polaires \_\_\_\_\_, d'autant plus que \_\_\_\_\_ la  
6 toundra offre peu d' \_\_\_\_\_ abri \_\_\_\_\_. Les animaux de la  
7 taïga \_\_\_\_\_, par contre, bénéficient d' \_\_\_\_\_ un  
8 régime de température un \_\_\_\_\_ peu \_\_\_\_\_ plus doux car la  
9 forêt \_\_\_\_\_ de conifères les abrite \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ vent.  
10 Cependant les populations \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ la taïga doivent s'  
11 adapter \_\_\_\_\_ à la présence de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ neige. La  
12 neige modifie \_\_\_\_\_ radicalement \_\_\_\_\_ le jeu écologique. Les  
13 animaux \_\_\_\_\_, prédateurs et proies, doivent \_\_\_\_\_ se  
14 déplacer en dépit de \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ couche de neige. Ce  
15 déplacement \_\_\_\_\_ peut exiger une dépense \_\_\_\_\_ considérable  
16 d'énergie. Pour certains, \_\_\_\_\_ la \_\_\_\_\_ neige recouvrant le sol  
17 cache \_\_\_\_\_ la nourriture enfouie. Un \_\_\_\_\_ effort  
18 spécial est donc requis \_\_\_\_\_ pour \_\_\_\_\_ s'alimenter.  
19

Pour les \_\_\_\_\_ animaux \_\_\_\_\_ boréals, l'hiver est \_\_\_\_\_ le  
20 principal obstacle à surmonter \_\_\_\_\_ au \_\_\_\_\_ cours de leur cycle  
21 de \_\_\_\_\_ vie. Le froid glacial, \_\_\_\_\_ les \_\_\_\_\_ vents  
22

violents, la sècheresse, \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_ la neige permanente  
 caractérisent \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ hiver et exigent des \_\_\_\_\_ habitants  
 des régions froides qu' \_\_\_\_\_ ils \_\_\_\_\_ s'y adaptent. Certaines  
 \_\_\_\_\_ espèces \_\_\_\_\_ s'y sont adaptées \_\_\_\_\_ au \_\_\_\_\_ cours  
 des siècles en \_\_\_\_\_ développant \_\_\_\_\_ des mécanismes biologiques, d'  
 \_\_\_\_\_ autres \_\_\_\_\_ s'y sont adaptées \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_ dévelop-  
 pant des mécanismes ayant \_\_\_\_\_ trait \_\_\_\_\_ soit au comportement  
 de \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ individu soit à celui \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ la  
 population entière. La \_\_\_\_\_ survie \_\_\_\_\_ d'une espèce pendant  
 \_\_\_\_\_ l' \_\_\_\_\_ hiver dépend étroitement de \_\_\_\_\_ son \_\_\_\_\_  
 adaptation. Les individus mal \_\_\_\_\_ préparés \_\_\_\_\_ ou inadaptés périssent.