

Guide sur l'application de normes d'enseignement et de formation professionnelle en météorologie et en hydrologie

Volume I – Météorologie

Édition 2023

TEMPS CLIMAT EAU



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1083

Guide sur l'application de normes d'enseignement et de formation professionnelle en météorologie et en hydrologie

Volume I – Météorologie

Édition 2023



ORGANISATION
MÉTÉOROLOGIQUE
MONDIALE

OMM-N° 1083

NOTE DE L'ÉDITEUR

La base de données terminologique de l'OMM, METEOTERM, peut être consultée à l'adresse <https://public.wmo.int/fr/meteoterm>.

Il convient d'informer le lecteur que lorsqu'il copie un hyperlien en le sélectionnant dans le texte, des espaces peuvent apparaître après <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, et après les barres obliques (/), les tirets (-), les points (.) et les séquences de caractères (lettres et chiffres). Il faut supprimer ces espaces de l'URL ainsi recopiée. L'URL correcte apparaît lorsque l'on place le curseur sur le lien. On peut aussi cliquer sur le lien et copier l'adresse qui s'affiche dans le ruban du navigateur.

OMM-N° 1083

© **Organisation météorologique mondiale, 2023**

L'OMM se réserve le droit de publication en version imprimée ou électronique ou sous toute autre forme et dans n'importe quelle langue. De courts extraits des publications de l'OMM peuvent être reproduits sans autorisation, pour autant que la source complète soit clairement indiquée. La correspondance relative au contenu rédactionnel et les demandes de publication, reproduction ou traduction partielle ou totale de la présente publication doivent être adressées au:

Président du Comité des publications
Organisation météorologique mondiale (OMM)
7 bis, avenue de la Paix
Case postale 2300
CH-1211 Genève 2, Suisse

Tél.: +41 (0) 22 730 84 03
Fax: +41 (0) 22 730 81 17
Courriel: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-21083-8

NOTE

Les appellations employées dans les publications de l'OMM et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'Organisation météorologique mondiale, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention de certaines sociétés ou de certains produits ne signifie pas que l'OMM les cautionne ou les recommande de préférence à d'autres sociétés ou produits de nature similaire dont il n'est pas fait mention ou qui ne font l'objet d'aucune publicité.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
AVANT-PROPOS	v
1. INTRODUCTION	1
1.1 PEB en contexte	1
1.2 Principales modifications apportées à la version précédente.....	3
1.2.1 Une hiérarchie des résultats d'apprentissage.....	3
1.2.2 Réduire les obstacles à l'accès.....	3
1.2.3 Aligner les PEB sur les besoins nationaux	4
1.2.4 Orienter les meilleures pratiques d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation.....	4
1.2.5 Des PEB adaptés aux évolutions futures	4
1.2.6 Processus de révision du PEB-M et du PEB-TM.....	5
1.3 Passage à la présente édition	5
1.4 Objectif et nature du PEB-M et du PEB-TM.....	6
1.5 Répondre aux besoins de la communauté météorologique.....	6
1.6 Objectif et nature du PEB-M et du PEB-TM.....	7
1.6.1 Une approche fondée sur les résultats d'apprentissage	9
1.6.2 Définir des résultats d'apprentissage	10
1.7 Conception d'activités d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation	15
1.7.1 Acquérir des connaissances déclaratives.....	16
1.7.2 Acquérir des connaissances procédurales.....	17
1.7.3 Évaluation	17
1.8 Conception du programme d'études	18
1.9 Enseignement et évaluation inclusifs	19
1.10 Études de cas sur l'application des PEB	19
1.10.1 Application du PEB-M	19
1.10.2 Application du PEB-TM	23
1.11 Les PEB aux stades ultérieurs de la carrière	23
2. PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT DE BASE POUR LES MÉTÉOROLOGISTES	25
2.1 Interprétation	25
2.2 Résultats d'apprentissage généraux	25
2.3 Prérequis en mathématiques et en physique	26
2.4 Sujets obligatoires	30
2.4.1 Météorologie physique	30
2.4.2 Météorologie dynamique.....	35
2.4.3 Systèmes et services météorologiques	37
2.4.4 Sciences du climat et services climatologiques	43
2.5 Résultats de l'apprentissage professionnel	44
2.5.1 Compétences en matière de gestion.....	45
2.5.2 Communication et travail en équipe.....	45
2.5.3 Technologies de l'information	47
2.5.4 Compétences en matière de recherche.....	49
2.5.5 Le contexte historique et scientifique de la météorologie.....	50
2.6 Spécialisations sélectives	51
3. PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT DE BASE POUR LES TECHNICIENS EN MÉTÉOROLOGIE	52
3.1 Interprétation	52
3.2 Résultats d'apprentissage généraux	52
3.3 Prérequis en mathématiques et en physique	53
3.4 Matières obligatoires	55
3.4.1 Géographie, océanographie et hydrologie de base	55
3.4.2 Météorologie physique et dynamique de base	56
3.4.3 Météorologie synoptique et à moyenne échelle de base	57
3.4.4 Climatologie mondiale et locale.....	58
3.4.5 Formation de nuages.....	58

	<i>Page</i>
3.4.6 Paramètres, instruments et méthodes d'observation météorologiques	59
3.4.7 Contrôle de base de la qualité des données climatologiques.	60
3.5 Résultats de l'apprentissage professionnel	61
3.6 Spécialisations sélectives	61
4. RÉFÉRENCES	68

AVANT-PROPOS

Le présent guide constitue la nouvelle édition du *Guide sur l'application de normes d'enseignement et de formation professionnelle en météorologie et en hydrologie* (OMM-N° 1083). Il est l'aboutissement d'un travail de trois ans qui a débuté par une réunion tenue à Genève en novembre 2018 en vue d'analyser les résultats d'une enquête et les énoncés de position de plusieurs groupes de parties prenantes. Lors de cette réunion, une équipe de révision a été créée pour examiner de quelle façon mettre en œuvre les changements relevés.

Le Guide a pour objet de favoriser une interprétation commune des aptitudes exigées de celles et ceux qui veulent être reconnus comme météorologistes ou techniciens en météorologie selon la définition énoncée dans le *Règlement technique* (OMM-N° 49), Volume I, tout en aidant les Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) à concevoir des systèmes de classification du personnel ainsi que des programmes de formation professionnelle qui satisfassent aux normes internationales. Les organismes concernés sont censés adapter ou étendre, en fonction de leurs particularités locales et régionales, les connaissances élémentaires minimales des programmes d'enseignement de base présentés dans ce guide. Les personnes qualifiées pourront ainsi appliquer les connaissances, les compétences et le comportement exigés par les tâches spécifiques de leur poste au sein de l'organisation dont elles relèvent.

La présente édition vise principalement à actualiser le Programme d'enseignement de base pour les techniciens en météorologie (PEB-TM). Les éditions précédentes mettaient l'accent sur le Programme d'enseignement de base pour les météorologistes (PEB-M), probablement en raison de sa complexité et de sa sensibilité aux facteurs externes. La présente édition traite au moins autant du PEB-TM que du PEB-M, dans le prolongement de l'enquête susmentionnée et du nombre sans précédent de remontées de la part des groupes de parties prenantes. L'objectif est d'aider les SMHN à harmoniser la classification de leurs techniciens en météorologie et à se conformer aux normes de qualification énoncées dans le *Règlement technique* (OMM-N° 49), Volume I, partie V, en s'appuyant sur les indications données dans la troisième partie du présent document.

J'exprime ma gratitude aux équipes de révision, dirigées par Colleen Rae (Afrique du Sud), Steven Callaghan (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord), Christopher Webster (Nouvelle-Zélande) et Winifred Jordaan (Afrique du Sud), pour leur engagement à long terme et leur dévouement à l'égard de cette nouvelle édition. L'OMM tient également à remercier les membres de l'équipe: Diakaria Koné (Niger), Moira Doyle (Argentine), John Peters (Territoires britanniques des Caraïbes), Noer Nurhayati (Indonésie), Anna Timofeeva (Fédération de Russie), Peter Odjugo (Nigéria), Yao Xiuping (Chine), Somenath Dutta (Inde), Kevin Scharfenberg (États-Unis d'Amérique), Peter Davidson et Mick Pope (Australie) et Isabelle Beau et Ludovic Bouilloud (France). Je tiens aussi à remercier les Conseillers Robert Riddaway, Sally Wolkowski et John Methven (Royaume-Uni), ainsi que tous ceux qui ont contribué à l'élaboration du présent document, en particulier les directeurs des centres régionaux de formation (CRF) et les autres personnes qui ont révisé les versions antérieures et dont les précieux apports ont permis d'améliorer considérablement ce document. Enfin, je remercie l'équipe de coordination du Secrétariat de l'OMM, dirigée par M. Yinka Adebayo, avec le soutien de M. Patrick Parrish (retraité), de Mme Luciane Veeck et de M. Mustafa Adiguzel, du Bureau de l'enseignement et de la formation professionnelle.



Petteri Taalas
Secrétaire général

1. INTRODUCTION

Le Programme d'enseignement de base pour les météorologistes et le Programme d'enseignement de base pour les techniciens en météorologie (ci-après respectivement dénommés PEB-M et PEB-TM) définissent les exigences en matière de formation pour les personnes qui étudient afin de devenir météorologiste ou technicien en météorologie. Pour obtenir le statut de météorologiste ou de technicien en météorologie tel que le définit le *Règlement général* (OMM-N° 49), une personne doit obtenir les résultats mentionnés dans le PEB-M et le PEB-TM. Après avoir suivi le Programme d'enseignement de base (PEB), un météorologiste ou un technicien en météorologie aura démontré – par l'étude et l'application des sciences de l'atmosphère – sa capacité d'appliquer, de développer et de communiquer cette science de manière professionnelle au profit de la société.

Les compétences et les aptitudes exigées des météorologistes qui travaillent dans divers domaines, à savoir la recherche, le conseil et la prévision opérationnelle, sont souvent circonscrites à une région, un pays, un service, etc. De la même façon, les compétences et les aptitudes attendues des techniciens en météorologie qui exercent dans différents domaines, notamment l'observation météorologique, les instruments et le traitement des données climatologiques, sont souvent adaptées aux conditions locales. Ces compétences et aptitudes évoluent rapidement, à mesure que les sciences, les technologies et la prestation de services changent. Le rôle des PEB consiste à fournir les connaissances et compétences élémentaires communes à tous les météorologistes et techniciens en météorologie qui pourront les utiliser comme socle pour développer les aptitudes et compétences nécessaires à des fonctions spécifiques et continuer de se former tout au long de leur carrière.

Cette édition reste centrée sur la description des résultats d'apprentissage requis par les météorologistes et les techniciens en météorologie de tous profils, y compris les connaissances et les compétences élémentaires communes aux cadres de compétences de l'OMM. Dans le même temps, elle laisse explicitement aux établissements, aux Membres de l'OMM et aux employeurs la possibilité d'adapter les acquis de l'apprentissage à la nature du cursus ou aux besoins nationaux. Il en résulte un large éventail d'exigences apparemment contradictoires: comment est-il possible de maintenir une norme internationale en conservant le pragmatisme et la flexibilité nécessaires?

Lors du dernier grand examen des PEB, les *Directives pour la formation professionnelle des personnels de la météorologie et de l'hydrologie opérationnelle* (OMM-N° 258) ont été remplacées par le *Guide sur l'application de normes d'enseignement et de formation professionnelle en météorologie et en hydrologie* (OMM-N° 1083), Volume I: Météorologie. Au cœur de ce changement figurait le passage d'un système de classification du personnel et des programmes d'études associés à un système fondé sur les résultats d'apprentissage – autrement dit, le passage à un système dans lequel le niveau de l'apprenant est central. Cette édition va plus loin, en extrayant l'essentiel de ce que les météorologistes et les techniciens en météorologie doivent être capables de faire pour définir un ensemble de résultats d'apprentissage généraux, tout en décrivant des résultats plus détaillés qui visent à orienter plus qu'à contraindre les établissements.

1.1 PEB en contexte

Depuis la publication de la précédente édition de ces directives, il est obligatoire d'atteindre le niveau du PEB-M¹ pour les météorologistes qui fournissent des services à l'aviation civile (en tant que prévisionnistes pour l'aéronautique), ce qui signifie naturellement que l'on se concentre davantage sur le contenu du PEB-M lui-même. Dans le même temps, de nombreux travaux ont été réalisés pour définir le rôle des compétences professionnelles et des cadres de compétences, notamment dans les domaines des prévisions et des observations aéronautiques, des autres prévisions, des services climatologiques, des instruments et des observations. La communauté a également commencé à définir des cadres de compétences, notamment dans le domaine de la météorologie par satellite et par radar. Ceux-ci figurent dans la publication de l'OMM intitulée «Compendium of WMO Competency Frameworks (WMO-No. 1209)».

¹ Ou au moins les éléments qui portent directement sur le travail des prévisionnistes pour l'aéronautique. Voir le *Règlement technique* (OMM-N° 49), Volume I, partie V.

C'est l'acquisition d'aptitudes et de compétences telles qu'elles sont décrites dans les cadres de compétences ou définies par les employeurs ou les établissements de formation comme les universités qui permettent de devenir un professionnel compétent. L'obtention des résultats d'apprentissage tels que spécifiés dans le PEB-M ou le PEB-TM est une condition préalable à l'acquisition de la compétence professionnelle. Cependant, le PEB-M et le PEB-TM ne définissent pas les compétences professionnelles et ne suffisent donc pas à eux seuls à préparer une personne à exercer un emploi particulier.

Il est admis que l'enseignement et la formation professionnelle en météorologie offrent divers moyens de devenir météorologiste ou technicien en météorologie professionnel. De nombreux programmes d'enseignement et de formation professionnelle conjuguent les fondements des sciences de l'atmosphère et d'autres résultats (issus du PEB-M et du PEB-TM) et compétences (issues des cadres de compétences). Les programmes devraient aussi probablement comprendre d'autres matières complémentaires, souvent liées aux intérêts de l'établissement, voire une part importante des compétences requises pour certains emplois (issues des cadres de compétences).

Les établissements et les employeurs doivent définir un ensemble général de résultats d'apprentissage qui répondent aux besoins nationaux, en s'appuyant sur le PEB-M ou le PEB-TM. Les Membres de l'OMM sont encouragés à collaborer avec les établissements d'enseignement pour s'assurer que les programmes sont conçus en prenant en considération l'employabilité future des étudiants et les besoins en ressources humaines des SMHN, compte tenu de la nécessité d'inclure l'application de la science telle que décrite dans les cadres de compétences.

Les principaux objectifs de la présente édition du PEB-M et du PEB-TM sont les suivants:

- Intégrer les PEB dans un système global d'enseignement et de formation professionnelle, qui englobe les bases éducatives, les aptitudes et les cadres de compétences.
- Veiller à ce que les PEB répondent aux besoins de rôles professionnels divers et en constante évolution et fournir des précisions et des conseils sur la manière d'appliquer les PEB à ces rôles, les cadres d'aptitudes et de compétences standard étant essentiels pour nombre d'entre eux.
- Répondre aux besoins de l'ensemble de la communauté météorologique mondiale, indépendamment de la taille ou du niveau de développement. Il s'agit notamment de lever tout obstacle à l'enseignement et à la formation professionnelle des météorologistes et des techniciens en météorologie, qui sont essentiels à la fourniture de services opérationnels à des secteurs clés tels que l'aéronautique.
- Être suffisamment souple pour répondre aux besoins futurs dans un monde en évolution rapide.
- Maintenir la rigueur intellectuelle des PEB de sorte que les programmes, même s'ils sont conçus pour des personnes destinées à occuper des postes liés à la recherche ou aux activités d'exploitation, restent attrayants pour les personnes qui souhaitent acquérir des connaissances de base dans une discipline des sciences de la Terre liée aux mathématiques et à la physique.
- Réduire au minimum le travail nécessaire pour valider ou modifier les programmes existants, tout en mettant clairement en évidence les changements nécessaires.

Les sections qui suivent décrivent de quelle façon ces objectifs ont été atteints.

1.2 Principales modifications apportées à la version précédente

1.2.1 Une hiérarchie des résultats d'apprentissage

Pour veiller à ce que les PEB ne soient pas perçus à tort comme une série de sujets connexes mais déconnectés, un ensemble de résultats d'apprentissage généraux² a été élaboré, qui résume les capacités démontrables des météorologistes et des techniciens en météorologie. Ces résultats généraux sont destinés à fournir le «liant» permettant de raccorder les résultats pédagogiques de l'apprentissage et à promouvoir des programmes d'enseignement et de formation professionnelle holistiques où les liens entre les différentes composantes sont rendus explicites et où l'application de notre science vise prioritairement la résolution de problèmes du monde réel.

L'intérêt pour les étudiants de contextualiser et d'appliquer leur apprentissage au fur et à mesure qu'ils progressent est largement reconnu en ce qui concerne la rétention et le transfert³. Grâce aux résultats d'apprentissage généraux, les PEB encouragent cette démarche dans la lignée des idées de Rossby (1934), selon lequel:

Il semblerait donc que la principale tâche de tout établissement d'enseignement et de recherche en météorologie consiste à faire l'interface entre le mathématicien et le praticien, c'est-à-dire faire comprendre à l'expert en météorologie la valeur d'une modeste formation théorique et inciter le théoricien à jeter de temps en temps un coup d'œil à la carte météorologique⁴.

Lors de la dernière révision majeure des PEB, une liste de sujets a été remplacée par un système de résultats d'apprentissage. Nous avons poursuivi et amplifié ce travail, et fait en sorte que les résultats d'apprentissage indiquent explicitement ce que l'on attend d'un météorologiste ou d'un technicien en météorologie à la fin d'un programme universitaire conforme au PEB-M ou au PEB-TM. Une partie de ce travail, en particulier pour ce qui concerne le PEB-M, est consacrée aux processus cognitifs d'ordre supérieur afin que l'esprit des étudiants et des instructeurs se focalise sur l'application de la science à des problèmes du monde réel dans différents domaines et à différentes échelles spatiales et temporelles.

Pour soutenir le changement d'orientation de certains résultats d'apprentissage, nous avons ajouté une courte section qui explique la philosophie sous-jacente et le sens que nous avons voulu donner à certains verbes employés dans les résultats.

1.2.2 Réduire les obstacles à l'accès

Les messages reçus des Membres de l'OMM dans le cadre de l'enquête mentionnaient la nécessité d'alléger la charge – réelle ou perçue – que les PEB imposent aux chargés d'enseignement, aux apprenants et aux employeurs. Les possibilités d'enseignement en météorologie pourraient être améliorées en réduisant les charges ou les obstacles à l'accès résultant de la situation géographique, des considérations financières ou des engagements professionnels et familiaux qui rendent impossible la participation à des cours à plein temps et hors site.

Certains Membres de l'OMM ont également souligné ce qu'ils considèrent comme un aspect trop théorique par endroits, qui, selon eux, ne correspond pas aux besoins en ressources humaines des SMHN. Les commentaires ont porté sur la taille globale des PEB ainsi que sur la pertinence et la nature de certaines sections.

² L'expression «résultats d'apprentissage généraux» est définie dans la section 1.6.

³ Voir, par exemple, Hoffman *et al.*, 2017.

⁴ Veuillez noter que la forme masculine employée dans ce document désigne aussi bien les femmes que les hommes. Le genre masculin est utilisé sans aucune discrimination et dans le seul but d'alléger le texte.

Plutôt que de supprimer des sujets en bloc (faute de consensus sur les sujets inutiles), plusieurs approches ont été adoptées:

- Les informations sur les connaissances et les capacités de réflexion requises des météorologistes et des techniciens en météorologie sont plus spécifiques.
- Un éventail de méthodes d'enseignement et d'évaluation des résultats d'apprentissage est proposé afin que le document ne soit pas normatif par inadvertance.
- D'autres options possibles pour atteindre les résultats d'apprentissage sont décrites, comme par exemple le Campus mondial de l'OMM, qui fournit une plate-forme et du matériel de référence.

Une autre façon de réduire les obstacles aux carrières dans la météorologie consiste à rendre les programmes accessibles et inclusifs pour tous les membres de la société, comme mentionné à la section 1.9 sur l'enseignement et l'évaluation inclusifs.

1.2.3 ***Aligner les PEB sur les besoins nationaux***

Des sections ultérieures de la première partie examinent la place des résultats d'apprentissage dans l'élaboration d'un programme d'études et réaffirment du même coup que la manière dont les acquis sont atteints devrait être décidée par les établissements et les instructeurs individuels en fonction de leurs besoins nationaux ou régionaux spécifiques. Cette structure permet de diversifier les modes de mise en œuvre des PEB. Par exemple, le PEB-M peut adopter des approches hautement mathématiques ou théoriques orientées vers les carrières de recherche ou bien des approches plus qualitatives mais toujours rigoureuses qui répondent aux besoins des SMHN de disposer de personnes capables d'appliquer la météorologie au service des clients sur le terrain.

Une nouvelle section (1.8) décrit brièvement un processus qui peut être utilisé pour transposer les PEB dans un programme d'études adapté aux besoins nationaux.

1.2.4 ***Orienter les meilleures pratiques d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation***

Une courte section a été ajoutée (en 1.6) pour souligner la nécessité permanente d'intégrer des pratiques d'enseignement et d'évaluation fondées sur des données factuelles dans l'enseignement et la formation professionnelle en météorologie

1.2.5 ***Des PEB adaptés aux évolutions futures***

Des sections ultérieures (2.5 et 3.5) comprennent une série de résultats de l'apprentissage professionnel destinée à renseigner les établissements dans des domaines tels que les compétences en communication et les technologies de l'information, dont les étudiants doivent apprendre certains aspects pour atteindre les résultats généraux.

Ces sections englobent également des résultats associés aux compétences des météorologistes et techniciens en météorologie actuels et futurs pour lesquels il n'existe pas de cadre de compétences distinct. Pour les météorologistes, ces compétences comprennent la recherche et la science des données. Ces sections sont destinées à étayer discussions et élaboration de cours pour répondre aux besoins de ces rôles. Les établissements sont encouragés à offrir aux étudiants la possibilité d'acquérir ces compétences et d'étudier des sujets complémentaires tels que le commerce et la gestion, qui les aideront à progresser dans leur future carrière.

1.2.6 **Processus de révision du PEB-M et du PEB-TM**

Il est important d'actualiser les PEB et les orientations dont ils sont assortis à mesure que la science, la technologie et les pratiques météorologiques évoluent. En outre, en dépit du soin méticuleux apporté à la préparation de cette édition, certaines erreurs ou omissions pourraient être découvertes après sa publication.

Pour répondre à ces besoins, un processus d'examen a été élaboré, qui permettra aux Membres de l'OMM de proposer des corrections et des modifications et de procéder régulièrement à un examen d'assurance plus proactif.

La section «Dispositions générales» du *Règlement technique* (OMM-N° 49) décrit le processus à suivre pour apporter des modifications aux pratiques normalisées, y compris les PEB. Le processus à mettre en œuvre est le suivant:

- Le Bureau de l'enseignement et de la formation professionnelle demande aux Membres de l'OMM de formuler des propositions d'amendements et les rassemble.
- S'il s'avère nécessaire ou souhaitable de modifier les PEB, le Bureau de l'enseignement et de la formation professionnelle charge une équipe d'experts d'examiner les changements et d'en faire rapport.
- Si les Membres de l'OMM n'émettent aucune proposition d'amendement, une équipe d'experts désignés effectue un examen régulier à intervalles de huit ans afin de déterminer si les PEB doivent être mis à jour.
- Si l'équipe d'experts recommande des changements, de larges consultations sont organisées à propos des PEB modifiés, et si les changements sont appuyés, ils sont soumis à l'approbation du Congrès.

Les orientations données dans ce volume ne font pas partie du *Règlement technique* (OMM-N° 49), mais les corrections ou amendements doivent être approuvés par le Conseil exécutif. Pour faciliter les changements qu'il faut apporter à ces orientations, le Bureau de l'enseignement et de la formation professionnelle:

- Rassemble les propositions de corrections ou d'amendements des Membres de l'OMM.
- Maintient et publie des mises à jour tous les deux ans pour les changements mineurs et non litigieux.
- Réalise un examen approfondi des orientations, parallèlement à l'examen des PEB tous les huit ans, comme décrit ci-dessus.

1.3 **Passage à la présente édition**

Lors de l'élaboration de cette édition du PEB-M et du PEB-TM, nous avons examiné le travail supplémentaire que les établissements pourraient avoir à accomplir pour s'assurer que leurs programmes restent conformes. De nombreux établissements n'ont adopté l'édition précédente que très récemment, au prix d'un effort considérable.

Il est à espérer qu'il ne sera pas nécessaire de modifier immédiatement les programmes existants par suite de la publication de cette édition. En revanche, les principes de l'apprentissage holistique et pragmatique résumés dans les résultats d'apprentissage généraux et les résultats éducatifs modifiés devraient être appliqués lorsque les modules, les cours ou les programmes font l'objet d'un examen de routine dans le cadre des processus locaux d'assurance qualité.

1.4 **Objectif et nature du PEB-M et du PEB-TM**

Le PEB-M et le PEB-TM définissent les connaissances essentielles que tous les météorologistes et techniciens en météorologie professionnels doivent acquérir et la manière dont ils doivent penser et agir à partir de ces connaissances. En tant que tels, ces programmes doivent tenir compte du rôle des météorologistes et des techniciens en météorologie de tous types, qu'ils fassent avancer la science ou la pratique de la météorologie ou qu'ils appliquent cette science au profit de la société.

Les professionnels de tous les domaines ne sont pas nécessairement définis par ce qu'ils font, mais plutôt par la raison pour laquelle ils le font. Ils adoptent certaines mesures plutôt que d'autres après mûre réflexion et en ayant pris une décision éclairée, fondée sur leurs connaissances du domaine et sur l'esprit critique qu'ils ont développé⁵. Pour cette raison, les PEB imposent qu'en sus des sciences de l'atmosphère, les étudiants acquièrent un ensemble de connaissances professionnelles appliquées; le PEB-M, en particulier, met l'accent sur les compétences cognitives d'ordre supérieur plutôt qu'il n'indique les savoirs à délivrer dans un programme d'études.

Les personnes qui arrivent dans un SMHN, un centre régional de formation professionnelle (CRFP), une université ou tout autre établissement pour apprendre la météorologie ont une large gamme d'apprentissages préalables, une expérience en météorologie et en climatologie ainsi que des raisons de choisir cette voie. Elles peuvent également embrasser un large éventail de carrières, tant en météorologie que dans d'autres domaines, notamment la recherche, le conseil, les instruments et la prévision. Les PEB ne peuvent pas définir un apprentissage qui réponde aux besoins individuels de tous ces apprenants ou aux exigences de tous les parcours professionnels. Par nécessité, le présent document doit émettre certaines hypothèses sur le niveau général d'éducation préalable, tout en donnant des orientations sur les domaines – tels que les mathématiques et la physique – qui sont essentiels pour mieux comprendre les sciences de l'atmosphère.

Cette publication ne peut pas, et ne tente pas, d'établir dans le détail les aptitudes et compétences attendues dans des branches particulières de la pratique professionnelle telles que la prévision, l'observation et la recherche. Pour qu'une personne soit en mesure d'exercer une fonction professionnelle sans supervision, on peut s'attendre à ce qu'un enseignement et une formation supplémentaires et plus spécifiques soient nécessaires, au-delà des PEB ou parallèlement aux PEB. D'autres publications de l'OMM exposent de façon plus détaillée la manière d'y parvenir dans certains de ces contextes, comme indiqué dans la section 1.10 intitulée «Études de cas sur l'application des PEB».

1.5 **Répondre aux besoins de la communauté météorologique**

La présente révision des PEB vise principalement à éliminer les obstacles – réels ou perçus – à l'enseignement et à la formation professionnelle des météorologistes et des techniciens en météorologie pour répondre aux besoins de la société. Parmi les obstacles repérés par les Membres de l'OMM figurait l'éventail des résultats d'apprentissage contenus dans les PEB. Certains ont estimé qu'il y avait trop de résultats ou que ceux-ci étaient trop scolaires; d'autres ont souhaité l'introduction de sujets supplémentaires ou l'approfondissement des sujets existants.

Étant donné que le temps disponible pour les programmes d'enseignement et de formation professionnelle est limité, les considérations liées à l'équilibre à trouver entre champ d'étude et approfondissement prennent une importance cruciale dans la conception des programmes d'études. La couverture complète d'un vaste programme d'études serait coûteuse, et une grande partie des connaissances transmises ne seraient que brièvement abordées et rapidement oubliées. Le psychologue du développement Howard Gardner a déclaré (Brandt, 1993) que «le plus grand ennemi de la compréhension est le champ couvert. Tant que vous êtes déterminé à tout couvrir, vous pouvez en fait être sûr que la plupart des gens [...] ne comprendront pas».

⁵ Voir, par exemple, Biggs et Tang, 2011, pp. 160 et 161.

Aujourd'hui, l'un des besoins pressants de la communauté de l'OMM est la pénurie de prévisionnistes qualifiés par le PEB-M⁶, en particulier dans le secteur aéronautique. Les pays les moins avancés notamment, mais aussi de nombreux autres pays, s'appuient sur les formations universitaires dispensées dans des pays plus développés pour éduquer et former les personnes qui pourront répondre à leurs besoins urgents en prévisionnistes. Dans le cadre du PEB-M et du PEB-TM, l'étude de la météorologie en tant que discipline universitaire reste essentielle pour maintenir le dynamisme de la recherche météorologique et le développement des pratiques météorologiques. Le système global d'enseignement et de formation professionnelle doit donc être suffisamment souple pour répondre aux besoins en ressources humaines, tant de la recherche que des activités d'exploitation.

La présente édition des PEB a été conçue pour être appliquée de manière flexible et répondre ainsi pleinement à cet épineux problème. Certains résultats d'apprentissage généraux, applicables à tous les pays, sont obligatoires. En ce qui concerne les résultats plus spécifiques, les Membres de l'OMM et leurs établissements d'enseignement sont clairement tenus de les appliquer avec souplesse pour répondre à leurs besoins particuliers; vous trouverez ci-dessous des indications détaillées sur la manière de procéder.

Il incombe à la communauté mondiale de l'enseignement et de la formation professionnelle de s'assurer que les programmes d'études répondent aux besoins de ceux qui s'appuient sur la science météorologique pour satisfaire aux exigences des personnes, des entreprises et de la société dans les nombreuses fonctions de prestation de services, y compris celles qui sont traditionnellement considérées comme relevant de la responsabilité du prévisionniste ou du technicien. Dans le cas du PEB-M, peu d'universités offrent des cours portant sur la prévision ou d'autres domaines appliqués de la météorologie (Hoffman *et al.*, 2017, p. 55), comptant sur la formation après emploi pour combler le vide, si tant est que les employeurs aient la capacité de la fournir. Il est à espérer que l'assouplissement des PEB permettra l'émergence d'un plus grand nombre de programmes visant à combler le fossé entre les études universitaires et les compétences acquises en cours d'emploi.

1.6 Objectif et nature du PEB-M et du PEB-TM

Un nouvel ensemble de résultats d'apprentissage généraux⁷ a été élaboré, qui expose en termes généraux la philosophie du PEB-M et du PEB-TM, en définissant les connaissances et l'ensemble des capacités qui sont communes à tous les météorologistes et celles qui sont communes à tous les techniciens en météorologie. Ces résultats sont obtenus par l'apprentissage et l'évaluation des sciences de l'atmosphère et des sujets connexes.

La version précédente du PEB-M regroupait les résultats d'apprentissage sous cinq rubriques: notions fondamentales de mathématiques, de physique et de matières complémentaires; météorologie physique; météorologie dynamique; météorologie synoptique et à moyenne échelle; climatologie. Cette division des principaux résultats d'apprentissage reste utile et logique et est largement retenue par commodité (à quelques nuances près). Néanmoins, des changements ont été apportés aux résultats figurant dans ces sections en matière de contenu et de niveau cognitif.

La version précédente du PEB-TM regroupait les résultats d'apprentissage sous cinq rubriques: notions fondamentales de mathématiques, de physique et de matières complémentaires; météorologie physique et dynamique de base; météorologie synoptique et à moyenne échelle de base; climatologie de base; instruments et méthodes d'observation météorologiques. Comme pour le PEB-M, les notions fondamentales sont en grande partie conservées, mais avec un changement de priorité. Les résultats d'apprentissage restants sont réorganisés en huit matières obligatoires: géographie et océanographie de base; hydrologie de base; météorologie physique, dynamique, synoptique et à moyenne échelle de base; climatologie mondiale

⁶ Les termes «prévisionniste» et «météorologiste du service d'exploitation» sont traités ici comme des synonymes. Par souci de concision, les termes «prévisionniste» et «prévision» sont utilisés. Il est largement admis que le rôle des prévisionnistes a évolué. Les prévisionnistes accomplissent désormais un plus grand nombre de tâches, dont beaucoup vont au-delà de celles traditionnellement considérées comme des tâches de prévision.

⁷ L'expression «résultats d'apprentissage généraux» est définie dans la section 1.6.1.

et locale; formation des nuages; communication; compétences informatiques; paramètres météorologiques; contrôle de la qualité des données climatologiques. Il existe en outre des spécialisations sélectives: technicien en météorologie (généralement sur la base des critères de compétence pertinents), observateur en météorologie aéronautique, technicien en instruments météorologiques, technicien en instruments de mesure de la qualité de l'air, observateur en météorologie maritime, contrôleur de données climatologiques et technicien en prévisions destinées au public/maritimes.

La hiérarchie des résultats est présentée dans la figure 1 a) et la figure Voir 1 b). Au sommet de la hiérarchie se trouvent les cadres de compétences, tels que définis dans le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209). Le *Guide sur les compétences* (OMM-No 1205) décrit de façon plus détaillée le rapport entre les compétences requises pour un rôle professionnel donné et les qualifications nécessaires pour embrasser une profession. Les cadres de compétences devraient être le principal critère pour évaluer si un individu est compétent pour un rôle donné, et il convient de consulter le *Guide sur les compétences* (OMM-N° 1205) pour des indications sur leur utilisation.

Bien que les résultats d'apprentissage soient présentés dans plusieurs sections distinctes, il existe des liens au sein de ces sections et entre elles. Par exemple, les météorologistes et les techniciens en météorologie doivent être en mesure de synthétiser les connaissances au-delà des périmètres propres aux diverses sections pour résoudre des problèmes et créer des solutions. Il importe donc de garder à l'esprit que la division des résultats d'apprentissage en sections distinctes ne signifie pas qu'ils doivent être enseignés séparément. La réflexion transdisciplinaire doit être encouragée et peut être explicitement incluse dans les programmes d'études.

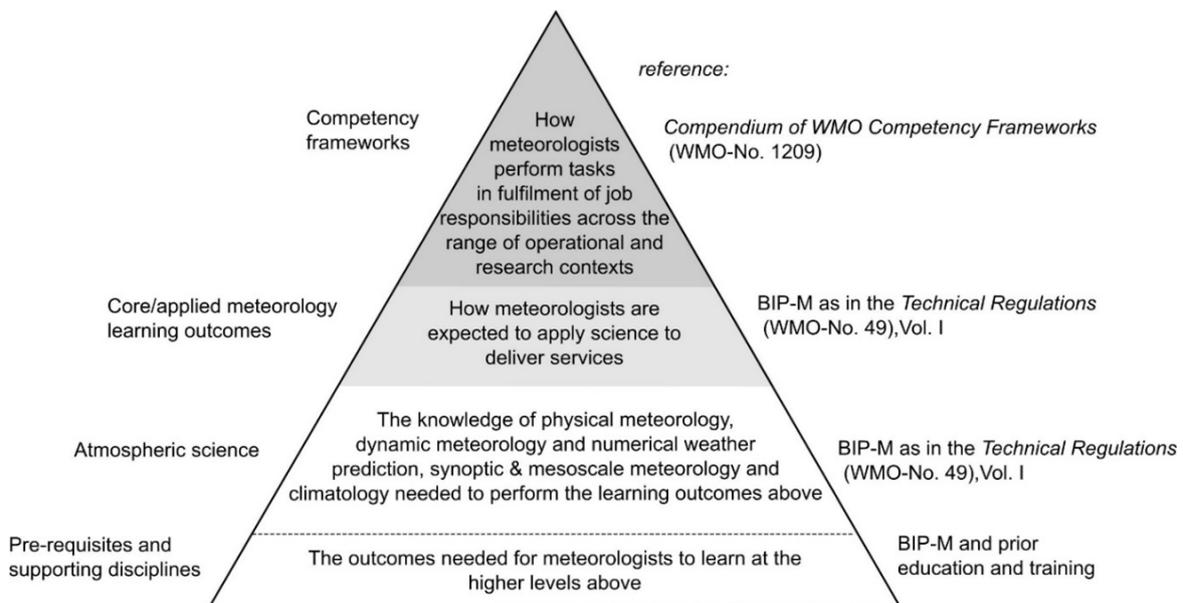


Figure 1 a). Hiérarchie de l'enseignement et de la formation professionnelle pour les météorologistes

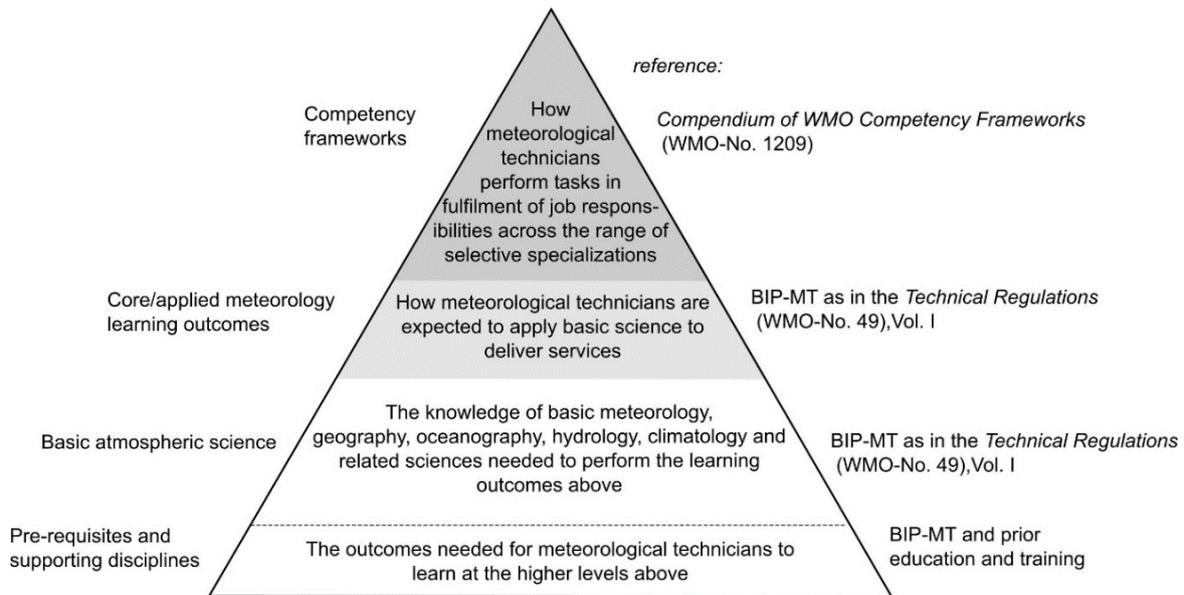


Figure 1 b). Hiérarchie de l'enseignement et de la formation professionnelle pour les techniciens en météorologie

1.6.1 ***Une approche fondée sur les résultats d'apprentissage***

La principale innovation introduite dans la dernière édition des PEB a été le passage d'un programme de cours à un système de résultats d'apprentissage. Les raisons de ce changement restent très pertinentes aujourd'hui, comme l'explique l'édition 2015 du *Guide sur l'application de normes d'enseignement et de formation professionnelle en météorologie et en hydrologie* (OMM-N° 1083):

[L]'accent est mis sur les résultats obtenus par l'apprenant plutôt que sur les intentions de l'instructeur ou sur les sujets à assimiler selon le programme d'enseignement. Les résultats escomptés précisent l'objet du programme, ce qui est utile à l'instructeur comme à l'étudiant. Ils permettent aussi de déterminer avec plus de sûreté si l'apprentissage voulu a bien été acquis.

Ce changement a profité aux PEB, qui décrivent plus facilement de quelle façon les étudiants en météorologie doivent démontrer qu'ils ont effectivement acquis les connaissances requises. La version actuelle des PEB va plus loin, en définissant leurs objectifs généraux à partir des résultats d'apprentissage et en indiquant clairement que les établissements doivent aligner les résultats des PEB sur ceux de leurs propres programmes et cours, et les activités d'enseignement et d'évaluation sur les résultats des cours et des PEB.

Les résultats d'apprentissage ont été judicieusement classés (voir, par exemple, Krathwohl et Payne (1971)) selon les trois niveaux de spécificité ci-après, bien qu'en réalité ils forment un tout homogène:

- Résultats généraux⁸
- Résultats éducatifs
- Résultats pédagogiques

⁸ Appelés «résultats globaux» par Krathwohl et Payne (1971). Ici, on utilise plutôt l'expression «résultats généraux» pour prévenir toute confusion avec l'autre signification de «global» utilisée.

Le PEB-M et le PEB-TM comprennent un ensemble de résultats généraux qui, regroupés, définissent la philosophie et la vision des PEB. Ces résultats généraux constituent la finalité souhaitée; les moyens d'y parvenir devraient être l'étude et l'évaluation des résultats éducatifs concernant les sciences de l'atmosphère.

Pour des raisons de commodité et de cohérence avec les éditions précédentes, les résultats éducatifs du PEB-M sont regroupés en quatre grands thèmes: météorologie physique; météorologie dynamique; systèmes et services météorologiques⁹; variabilité, changement et services en matière climatique¹⁰. Étant donné que la présente édition porte davantage sur la révision du PEB-TM, les résultats éducatifs du PEB-TM sont regroupés dans une série de sujets obligatoires liés à la science météorologique, ainsi que dans des spécialisations sélectives liées aux compétences qui définissent et décrivent les aptitudes essentielles, ainsi que les connaissances indispensables à chacun de leurs emplois spécifiques.

Ce sont les résultats d'apprentissage généraux et éducatifs (tels que définis dans le *Règlement technique* (OMM-N° 49)) qui définissent les PEB. Des extraits de ce règlement sont fournis dans les parties 2 et 3, où ils sont clairement distingués des résultats pédagogiques indicatifs et où un texte explicatif est inclus à titre d'orientation.

Le PEB-M et le PEB-TM n'intègrent pas de résultats pédagogiques en tant que tels, mais certains sont présentés dans les tableaux des parties 2 et 3 de ce guide pour suggérer le champ d'application et le degré d'approfondissement des résultats que les établissements pourraient développer. Les résultats d'apprentissage pédagogiques sont les éléments détaillés de l'apprentissage définis par module ou par activité d'apprentissage dans le cadre du processus de conception de ces activités et sont destinés à aider les étudiants à atteindre les résultats escomptés au niveau du cours ou du module. Ils étoffent les résultats éducatifs pour englober les connaissances déclaratives et les connaissances procédurales de niveau inférieur requises pour valider les résultats éducatifs de niveau supérieur (voir la section suivante pour les définitions).

Le tableau 1.1 résume les liens entre les résultats d'apprentissage généraux, éducatifs et pédagogiques.

Tableau 1.1. Niveau de spécificité des résultats d'apprentissage. D'après Anderson *et al.* (2001)

	Niveau de résultat		
	Général	Éducatif	Pédagogique
Portée	Grande	Moyenne	Limitée
Temps nécessaire à l'apprentissage	Une ou plusieurs années	Quelques semaines ou mois	Quelques heures ou jours
Objectif ou fonction	Fournir une vision	Concevoir un programme d'études local	Élaborer des plans de cours/d'évaluation
Exemple d'utilisation	Planifier un programme global d'études et de formation	Planifier des modules ou des unités d'enseignement	Planifier les activités quotidiennes, les leçons, les exercices
Inclus dans les PEB?	Oui	Oui	Non (mais des orientations sont données)

1.6.2 Définir des résultats d'apprentissage

Comme indiqué précédemment, les théories modernes sur la manière dont l'apprentissage se déroule ne sont plus centrées sur les intentions de l'instructeur, mais insistent plutôt sur le rôle et la participation active de l'apprenant. Les apprenants ne sont pas des destinataires passifs des

⁹ Précédemment: «météorologie synoptique et à moyenne échelle».

¹⁰ Précédemment: «climatologie».

connaissances qui leur sont transmises au moyen de cours et de manuels, entre autres méthodes, mais sont des agents actifs qui s'engagent dans les activités d'apprentissage par le biais de divers processus cognitifs et métacognitifs¹¹, en leur donnant un sens à l'aune de leurs acquis antérieurs et de leur vécu.

Nous devons donc déterminer et spécifier explicitement l'ensemble des connaissances qu'un météorologiste ou un technicien en météorologie sont censés acquérir, ainsi que les types de processus cognitifs qu'ils doivent appliquer pour les utiliser. Pour s'assurer de l'emploi d'un langage commun pour décrire clairement les résultats d'apprentissage, et par souci de cohérence avec l'édition précédente, nous avons utilisé la version révisée de la taxonomie de Bloom, qui est largement utilisée dans ce domaine (Anderson *et al.*, 2001).

La taxonomie comporte deux dimensions: celle du processus cognitif et celle de la connaissance. Ces deux dimensions sont nécessaires pour décrire exactement ce que nous attendons d'un étudiant et de quelle manière il doit faire la preuve de l'acquisition de ces connaissances. Dans cette section, nous abordons brièvement ces dimensions et la manière de les appliquer aux PEB.

Il faut veiller à ne pas interpréter la taxonomie de manière hiérarchique. L'acquisition de connaissances déclaratives et procédurales est tout aussi importante. En outre, les processus cognitifs tels que la mémorisation ou la compréhension ne doivent pas être considérés comme moins pertinents que l'application ou l'évaluation, mais plutôt comme des processus complémentaires; en effet, la mémorisation d'un ensemble de connaissances déclaratives relatives au domaine est nécessaire pour les processus d'ordre supérieur.

La dimension de la connaissance

Les premières versions de ces directives consistaient pour l'essentiel en plans de cours, c'est-à-dire une liste de haut niveau des sujets qu'un météorologiste ou un technicien en météorologie devait étudier au cours de sa formation initiale. Depuis, bien que les principes fondamentaux des sciences de l'atmosphère aient effectivement évolué, des transformations profondes ont eu lieu dans les domaines technologiques de l'informatique omniprésente, des observations radar et par satellite, de la modélisation numérique, etc. Le contexte sociétal et économique dans lequel évoluent les météorologistes et les techniciens en météorologie a aussi radicalement changé.

Alors que le domaine de l'expertise météorologique s'est élargi, la science cognitive a transformé notre connaissance des processus permettant aux humains d'apprendre, c'est-à-dire la manière dont nous organisons et structurons les connaissances.

Les connaissances déclaratives peuvent être décomposées en connaissances factuelles et en connaissances conceptuelles.

Les connaissances factuelles englobent les termes et les faits de base que les météorologistes et les techniciens en météorologie utilisent pour communiquer au sujet de leur discipline. Elles sont très spécifiques, car elles peuvent être isolées sous forme de «bits» atomiques d'information. L'apprentissage des connaissances factuelles est essentiel tant pour l'acquisition des types de connaissances générales nécessaires que pour leur application sur le lieu de travail, mais il faut veiller à ce que les étudiants (ou les instructeurs) n'y attachent pas trop d'importance. Les étudiants doivent apprendre à établir des liens entre et parmi les différents faits, en construisant les schémas qui caractérisent les connaissances d'un «expert» de la science. Un problème que les étudiants comme leurs instructeurs doivent aborder est la capacité

¹¹ Il s'agit de la «réflexion sur la réflexion», c'est-à-dire la connaissance que les gens ont d'eux-mêmes en tant qu'apprenants, des processus et techniques qu'ils peuvent employer pour apprendre et du moment où ils peuvent le faire. La métacognition est régie par la planification, le suivi et l'évaluation conscients du processus d'apprentissage (Schraw, 1998).

de transférer ou d'appliquer les faits aux situations plus complexes qu'un professionnel rencontre, et non simplement d'acquérir un ensemble de connaissances factuelles dites «inertes».

Les connaissances conceptuelles se composent de schémas, de théories et de modèles mentaux ou conceptuels plus généraux qui englobent les relations réciproques entre et parmi les faits du sujet traité. Une connaissance approfondie du sujet, assortie d'une compréhension mentale claire de la myriade de faits, est un trait caractéristique d'un expert dans un domaine donné et permet un transfert des connaissances en cas de situations nouvelles. La plupart des résultats d'apprentissage définis dans le PEB-M et le PEB-TM sont liés à des formes de connaissances conceptuelles.

Les connaissances procédurales désignent le savoir relatif à la manière d'accomplir une action, comme résoudre une équation quadratique, interpréter une carte synoptique ou tracer une série chronologique de données en utilisant Python.

La dimension du processus cognitif

S'il est vrai que la rétention des connaissances est un objectif éducatif important, le transfert de ces connaissances est essentiel pour les qualifications professionnelles telles que les PEB, en particulier le PEB-M. Transférer des connaissances signifie en avoir une compréhension profonde et pouvoir les appliquer de différentes manières à une série de tâches et de problèmes, y compris dans des situations nouvelles.

Une brève explication de chacun des processus cognitifs de la taxonomie est présentée ci-dessous, y compris la définition du processus (Anderson *et al.*, 2001), des exemples simples et des notes sur la façon dont est représenté le processus dans les résultats d'apprentissage du PEB. Comme nous l'avons déjà dit, il n'y a pas de hiérarchie inhérente à cette liste de processus (se souvenir d'un matériau complexe est mentalement plus exigeant que créer quelque chose de simple), et les verbes sélectionnés dans les résultats sont destinés à décrire l'application la plus courante des connaissances relatives au sujet.

Se souvenir signifie «récupérer des connaissances pertinentes dans la mémoire à long terme», c'est-à-dire être en mesure de reconnaître des informations présentées comme des connaissances préalables ou se rappeler des informations pertinentes. Les résultats d'apprentissage associent généralement le processus cognitif «se souvenir» aux connaissances factuelles et sont importants pour tester l'apprentissage significatif des faits empiriques fondamentaux et de la terminologie d'une discipline.

Voici des exemples de résultats d'apprentissage utilisant le processus «se souvenir»:

- «Identifier un cyclone tropical sur la carte synoptique présentée.»
- «Retenir la définition de la température potentielle.»

Bien que nous ne sous-estimions pas l'importance de la mémorisation des faits pour l'apprentissage, nous avons tenté d'éviter l'utilisation de tels résultats d'apprentissage dans les PEB, en particulier dans le PEB-M. Nous nous sommes plutôt concentrés sur les processus cognitifs d'ordre supérieur et avons laissé les processus annexes d'ordre inférieur comme implicites, afin de représenter clairement les capacités mentales d'ordre supérieur que les professionnels de la météorologie sont tenus d'avoir.

Comprendre signifie «construire du sens à partir de messages pédagogiques, y compris la communication orale, écrite et graphique». Dans ce contexte, la «compréhension» désigne l'établissement de connexions entre les concepts des messages pédagogiques, d'une part, et les schémas existants dans la mémoire à long terme, d'autre part, ce qui donne à l'étudiant la capacité d'appliquer les nouveaux concepts, conjointement avec les connaissances et concepts existants, à l'exécution de tâches mentales telles que l'interprétation, l'exemplification, la classification, la récapitulation, la déduction, la comparaison et l'explication.

La capacité de comprendre les concepts, telle que définie ici, constitue le plus grand sous-ensemble de résultats présenté dans les PEB, notamment le PEB-M, en particulier pour ce qui concerne les sujets les plus fondamentaux tels que la météorologie physique et les parties les plus élémentaires de la météorologie dynamique. Lorsqu'il est nécessaire d'avoir à la fois des processus de compréhension et des processus d'ordre supérieur, nous avons présenté le processus d'ordre supérieur, assorti du résultat de compréhension sous-entendu. Un grand nombre de ces résultats imposent à l'étudiant d'expliquer un concept. Le verbe «expliquer» ne signifie pas simplement décrire les éléments constitutifs d'un concept. Les étudiants doivent comprendre les interconnexions et les rétroactions entre les diverses parties du système ou du concept et être en mesure de réfléchir à des problèmes de cause à effet.

De nombreux membres du personnel enseignant déplorent que des objectifs d'apprentissage tels que «la compréhension, par l'étudiant, de la force de Coriolis» ne soient pas utiles. La «compréhension» étant un processus cognitif interne qu'il est impossible d'observer et de tester, nous n'avons pas utilisé la forme verbale de ce mot dans les résultats.

Appliquer signifie «exécuter ou utiliser une procédure dans une situation donnée». Souvent employés avec les connaissances procédurales, ces résultats sont utilisés lorsque la capacité d'effectuer une tâche est requise, comme dans un calcul. À ce niveau, ils peuvent être classés dans l'une des deux catégories ci-après. Premièrement, «exécuter» ou «réaliser» une procédure connue en vue d'une tâche familière. C'est le cas des exercices en situation d'apprentissage, où il existe une «recette» pour réaliser une tâche et où des exemples circonstanciés sont présentés. Deuxièmement, «mettre en œuvre» une procédure inconnue, exigeant de l'étudiant qu'il détermine les connaissances conceptuelles à utiliser pour élaborer une stratégie qu'il utilise ensuite pour trouver une solution. C'est le cas des problèmes en situation d'apprentissage, où l'étudiant doit trouver comment résoudre le problème.

Analyser signifie «décomposer un matériau en ses éléments constitutifs et déterminer comment ces éléments sont liés les uns aux autres et à une structure globale». L'analyse peut être considérée comme une extension de la «compréhension», en cela qu'elle désigne le processus utilisé pour déterminer comment les idées sont liées les unes aux autres, étayer les conclusions par des preuves et distinguer le matériau pertinent du matériau dépourvu de pertinence. Les verbes utilisés qui contraignent les apprenants à appliquer le processus d'«analyse» sont notamment les verbes «sélectionner», «intégrer» et «exposer».

Évaluer signifie «porter des jugements fondés sur des critères et des normes». Dans l'enseignement de la météorologie, une évaluation pertinente consiste en particulier à détecter les incohérences dans un pronostic, mais aussi entre celui-ci et les nouvelles données disponibles, et à définir la méthode probablement la plus appropriée pour résoudre un problème donné.

Créer est un processus cognitif qui est souvent considéré, à tort, comme nécessitant la genèse d'idées ou de processus nouveaux. En réalité, ce processus englobe des fonctions qui sont omniprésentes dans le domaine de la météorologie, même pendant l'enseignement, comme la production d'hypothèses pour expliquer les phénomènes observés, la planification d'un travail succinct de recherche ou même l'élaboration d'un exposé météorologique axé sur le client.

Nous avons également défini certains des autres mots et expressions employés dans les résultats d'apprentissage pour aider le lecteur à mieux comprendre l'intention des auteurs.

Tableau 1.2. Définition des mots employés dans les résultats d'apprentissage

<i>Mot ou expression</i>	<i>Sens voulu</i>
Et (lorsque ce mot est utilisé pour joindre deux clauses dans une phrase)	Par souci de concision, nous avons parfois inclus plusieurs résultats distincts dans une seule phrase, auquel cas l'étudiant doit atteindre le résultat dans toutes les clauses.
Par exemple	Placé devant une liste de sujets ou d'options possibles.
Comme, tel que	
Notamment, y compris	

Évolution des résultats d'apprentissage du PEB (exemple relatif au PEB-M)

Pour illustrer la manière dont le contenu du PEB-M (et de ses versions antérieures) a évolué au cours des 50 dernières années, un exemple d'ensemble de résultats relatifs au domaine de la météorologie dynamique est présenté dans le tableau 1. Le passage d'une liste de sujets à des résultats d'apprentissage évaluable est clairement représenté, tout comme le passage d'une perspective purement théorique à une perspective fondée sur l'application de la science. Les deux dernières rangées illustrent l'application de l'approche décrite ci-dessus en matière d'utilisation de compétences mentales d'ordre supérieur.

Ce tableau montre qu'il est désormais possible de concevoir des cours du PEB-M tout au long d'un spectre allant du plus théorique au plus appliqué, comme indiqué précédemment, tous les cours étant d'égale valeur. Tous les programmes devraient être conçus en tenant compte des besoins de l'employeur et utiliser une série de méthodes d'enseignement fondées sur des données probantes afin d'optimiser au mieux le transfert de l'apprentissage

Tableau 1.3. Analyse des résultats d'apprentissage dynamiques tels qu'énoncés dans quatre versions du PEB-M

<i>Version</i>	<i>Exemples de résultats/sujets</i>	<i>Description des connaissances</i>	<i>Niveau cognitif</i>	<i>Caractère</i>
OMM-N° 258, 1969	Équations du mouvement sous forme vectorielle, dérivées de la deuxième loi de Newton; étude de la force de pression et de la gravitation; transformation de systèmes de coordonnées non rotatifs en systèmes de coordonnées rotatifs; étude de l'accélération centripète et de la force de Coriolis; le concept de gravité.	– (liste de sujets)	–	Plus théorique
	Équations du mouvement en coordonnées cartésiennes (approximation du plan tangent) et en coordonnées sphériques; ordres de grandeur des différents termes (fondés sur des observations) conduisant aux équations simplifiées.			
OMM-N° 258, 2001	Champs scalaires et vectoriels; théorèmes de Gauss et de Stokes; cinématique des champs d'écoulement; dérivée matérielle; taux de variation eulérien et lagrangien; conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie; équations de Navier-Stokes; cadres de référence rotatifs; équations du mouvement sous forme de coordonnées: coordonnées sphériques; approximations préliminaires des équations sous forme de coordonnées sphériques; paramètre de Coriolis; géométrie du plan tangent; approximations des plans α et β .	(liste de sujets)	–	Plus théorique

<i>Version</i>	<i>Exemples de résultats/sujets</i>	<i>Description des connaissances</i>	<i>Niveau cognitif</i>	<i>Caractère</i>
OMM-N° 1083, 2015	Expliquer la base physique des équations du mouvement (forces et référentiels), procéder à une analyse d'échelle pour déterminer les processus dynamiques propres aux écoulements équilibrés, décrire les caractéristiques de ces écoulements et utiliser les équations du mouvement pour expliquer la quasi-géostrophie, l'agéostrophie ainsi que la structure et la propagation des ondes dans l'atmosphère.	Concepts	Comprendre	Théorique
La présente édition	Décrire l'application des concepts de force, d'accélération et de référentiels à la physique de la dynamique atmosphérique, telle qu'elle est illustrée dans les équations du mouvement. Appliquer les modèles conceptuels issus de la météorologie dynamique pour expliquer et prévoir l'évolution de l'atmosphère dans la zone d'intérêt. Évaluer le degré de concordance entre les modèles conceptuels et la réalité. Utiliser les sorties des modèles numériques pour représenter les phénomènes étudiés, en fonction des caractéristiques établies du système de modélisation, des échelles spatiales et temporelles examinées et de la nécessité de représenter l'incertitude.	Concepts, procédures	Comprendre, appliquer, évaluer	Mélange de théorie et d'application

Depuis la première édition des *Directives pour l'enseignement et la formation professionnelle du personnel de la météorologie* (OMM-N° 258), le PEB-TM a subi moins de modifications que le PEB-M. La principale raison en est la plus grande portée du PEB-M, et donc le plus grand besoin de le mettre à jour. La présente édition porte au moins autant sur le PEB-TM, qui a fait l'objet, de la part de la communauté mondiale, du retour d'information le plus important jamais reçu depuis sa création en 1969 dans le cadre de l'ancien système de «Classe de personnel».

1.7 **Conception d'activités d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation**

Traditionnellement, l'enseignement et la formation en milieux universitaire et professionnel reposaient sur les cours magistraux pour transmettre les informations. Ces cours étaient complétés par des travaux dirigés et des travaux de laboratoire afin d'approfondir la compréhension et l'application des connaissances par les étudiants. De même que notre approche de la conception des programmes d'études a évolué, passant d'un descriptif des connaissances à acquérir à une approche centrée sur l'apprenant et fondée sur les résultats, il est devenu courant de proposer un éventail plus diversifié d'activités d'apprentissage dans lesquelles l'étudiant applique activement ses connaissances.

Compte tenu des résultats d'apprentissage bien définis exposés dans la section précédente, il devrait être assez facile de concevoir des méthodes d'enseignement et d'apprentissage et des

méthodes d'évaluation qui permettent aux étudiants d'atteindre ces résultats. Malheureusement, les méthodes traditionnelles telles que le cours magistral, qui restent très répandues, ne sont souvent pas bien adaptées à l'apprentissage ou à l'évaluation de nos résultats.

Ce processus est illustré par le concept d'alignement constructif (Biggs et Tang, 2011), comme le montre le schéma ci-après.

Figure 2.¹² La méthode de l'alignement constructif se fonde sur le constructivisme et affirme que, pour que l'apprentissage soit efficace, trois éléments doivent être à la fois appropriés et pertinents les uns par rapport aux autres:

- Les résultats d'apprentissage.
- Les activités d'apprentissage et d'enseignement qui permettent aux apprenants d'atteindre ces résultats.
- Les méthodes d'évaluation par lesquelles les apprenants peuvent montrer qu'ils ont atteint ces résultats.

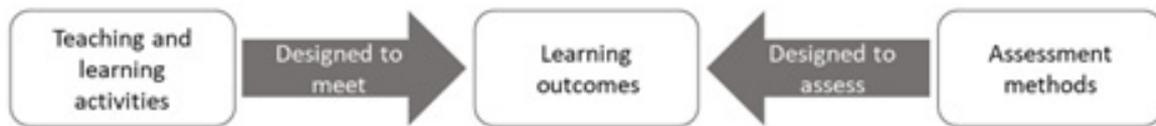


Figure 2. Alignement constructif entre les résultats et les activités

1.7.1 **Acquérir des connaissances déclaratives**

Prenons l'exemple d'un cours conçu pour atteindre l'un des résultats d'apprentissage du PEB-M en climatologie, à savoir «Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, les mécanismes responsables de la variabilité du climat et du changement climatique». Dans ce résultat d'apprentissage, le verbe d'action est «expliquer», ce qui, comme décrit ci-dessus, impose à l'étudiant de dire à quelqu'un comment les composantes du système climatique interagissent les unes avec les autres dans une chaîne de causalité complexe pour produire les phénomènes observés. Le résumé du tableau 4 est le résultat de l'analyse du cours visant à déterminer les activités réalisées par l'instructeur, d'une part, et par les étudiants, d'autre part¹³.

Tableau 1.4. Analyse des activités de cours

Activité de l'instructeur	Activité des étudiants
Présenter	Écouter
Expliquer	Prendre des notes
Approfondir	Comprendre (mais l'étudiant comprend-il correctement et de manière suffisamment approfondie?)
Montrer quelques diapositives et une vidéo	Regarder, prendre des notes
Questions figurant sur les diapositives	Rédiger des réponses aux questions
Conclure	Écouter et poser éventuellement une question

Dans cet exemple, l'étudiant a un rôle passif. Le résultat souhaité est que l'étudiant soit capable d'«expliquer» quelque chose, mais celui-ci n'a pas l'occasion ou la motivation de donner de quelconques «explications» dans ce contexte. Les «explications» de l'enseignant peuvent être

¹² Imperial College London (non disponible)

¹³ Biggs et Tang (2011, p. 134).

pertinentes, mais les apprenants sont occupés à recevoir des connaissances déclaratives dont ils s'efforcent de «se souvenir». Un étudiant discipliné, doté d'une bonne technique d'étude et d'une charge cognitive suffisante, peut construire intérieurement le schéma, y compris les connexions entre les informations qu'il reçoit, et expliquer l'ensemble; dans le cas contraire, le résultat réel est totalement différent du résultat escompté («se souvenir» contre «expliquer»).

Pour faciliter l'acquisition de l'ensemble des connaissances déclaratives nécessaires en météorologie, il faut préférer, aux expériences passives, des activités dans lesquelles l'étudiant est actif et a la maîtrise de son apprentissage. Il est possible de combiner l'apprentissage dirigé par un instructeur et l'apprentissage autonome. L'essentiel est que l'étudiant, qu'il écoute un cours, lise activement ou participe à des discussions de groupe, utilise les bonnes compétences métacognitives pour s'approprier et utiliser activement les connaissances requises. Si le résultat d'apprentissage consiste à se souvenir d'un certain fait, alors l'étudiant devrait apprendre à mieux «se souvenir»; si le résultat consiste à expliquer, l'étudiant devrait apprendre à mieux «expliquer»; dans les deux cas, l'activité d'enseignement et d'apprentissage doit être alignée sur le résultat d'apprentissage.

1.7.2 **Acquérir des connaissances procédurales**

Dans les PEB, en particulier le PEB-M, de nombreux résultats d'apprentissage sont rédigés en termes d'aptitudes cognitives d'ordre supérieur; les connaissances procédurales associées aux catégories «appliquer», «analyser», «évaluer» et «créer» de la taxonomie définissent réellement les compétences d'un météorologiste ou d'un technicien en météorologie professionnel.

Les activités d'enseignement et d'apprentissage doivent activer ces processus cognitifs chez l'étudiant pour que celui-ci puisse maîtriser à la fois la connaissance et l'utilisation de ces mêmes processus. Parmi les exemples d'activités d'enseignement et d'apprentissage qui favorisent ou requièrent l'utilisation des processus en question figurent l'apprentissage par l'étude de cas, les projets collectifs et individuels et l'apprentissage sur le lieu de travail (sous la forme de stages en entreprise, de formation pratique, etc.).

Le développement des capacités métacognitives nécessaires, par exemple pour la résolution de problèmes, est probablement bénéfique à l'apprentissage des connaissances procédurales, mais fait malheureusement peu souvent l'objet explicite de l'enseignement.

1.7.3 **Évaluation**

Tout comme les méthodes utilisées dans l'enseignement et l'apprentissage, les moyens d'évaluer l'apprentissage doivent être alignés sur les résultats d'apprentissage. Des résultats d'apprentissage clairs, qui précisent les connaissances et le processus cognitif nécessaires, doivent être mis à la disposition des apprenants pour leur permettre de s'auto-évaluer et de mesurer les progrès réalisés. Un alignement constructif entre le résultat d'apprentissage et l'élément d'évaluation devrait rendre la conception de ces éléments d'évaluation beaucoup plus facile, mais pourrait nécessiter une innovation dans la méthodologie d'évaluation.

S'il est demandé aux étudiants d'expliquer une partie des connaissances, ceux-ci devraient pouvoir s'appuyer sur les éléments d'évaluation. De même, des résultats d'apprentissage qui demandent aux étudiants d'évaluer une situation doivent être évalués de manière à pouvoir tester le raisonnement critique et la capacité d'analyse des étudiants. Il est souvent plus facile de tester la capacité des étudiants à se souvenir de connaissances déclaratives que la façon dont ils appliquent des connaissances procédurales, mais si le résultat exige de telles connaissances, c'est ce qui doit être testé.

Comme indiqué dans la sous-section précédente, des activités telles que l'élaboration d'études de cas, de projets de recherche individuels, etc. et la présentation des résultats sont utiles pour l'apprentissage, mais aussi pour l'évaluation d'une série de processus cognitifs d'ordre supérieur.

1.8 Conception du programme d'études

Il n'en demeure pas moins que les établissements doivent définir leurs propres résultats détaillés au niveau du programme, des modules et des activités d'apprentissage/évaluation. Les établissements utilisent les PEB comme l'une des bases pour y parvenir et doivent permettre aux apprenants d'atteindre les résultats généraux et éducatifs; toutefois, les PEB doivent nécessairement être adaptés aux besoins régionaux, nationaux et locaux.

Lorsqu'ils élaborent de nouveaux programmes d'études ou révisent les programmes existants, les établissements doivent adopter une approche systématique, telle que celle présentée à la figure 3.

Ils peuvent ainsi s'assurer que chaque programme répond aux exigences des PEB et permet aux étudiants potentiels et à leurs futurs employeurs de comprendre clairement comment le programme leur sera utile. Une approche holistique et systématique de la conception du programme d'études doit également garantir que les liens et les interdépendances entre les diverses composantes sont rendues explicites et que les activités sont conçues de manière à exploiter ces liens. Cela donne aux étudiants une image globale du fonctionnement du système climatique et météorologique et de ce que les SMHN et les autres prestataires de services météorologiques et climatologiques peuvent apporter à la société.

Le présent guide ne fournit pas les résultats pédagogiques complets au niveau des modules qui comprennent les indications détaillées dont ont besoin les instructeurs qui élaborent le matériel pédagogique et les évaluations. En effet, ces résultats dépendent des besoins locaux, des pratiques éducatives nationales et des approches pédagogiques retenues. Cette conception très précise des activités d'apprentissage et d'évaluation a une importance cruciale et doit être une démarche mûrement réfléchie, qui tire parti des pratiques d'enseignement et d'évaluation fondées sur les faits, des technologies éducatives, etc.

Compte tenu du large éventail des modalités du programme, des objectifs, des formations préalables des étudiants, etc., le PEB-M et le PEB-TM ne définissent pas une durée de programme recommandée. Comme indiqué précédemment, ce n'est qu'en atteignant les résultats prévus qu'on peut être reconnu en tant que météorologiste ou technicien en météorologie, et non par le temps qu'on aura consacré aux activités d'apprentissage et d'évaluation.

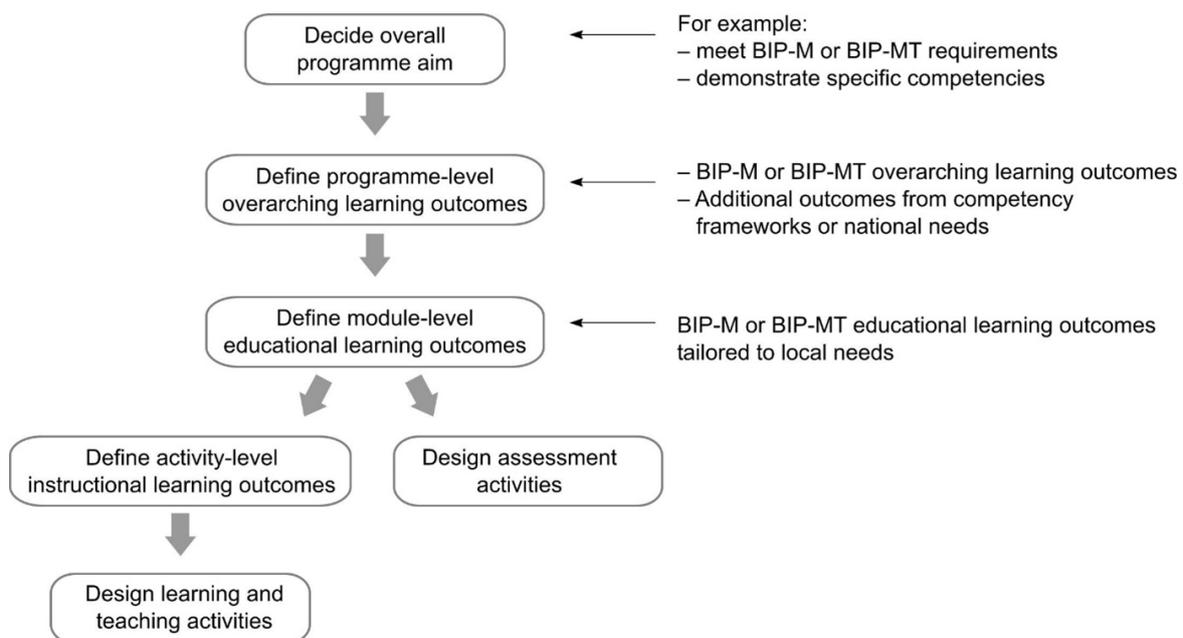


Figure 3. Mise en correspondance des PEB avec les résultats de programme

1.9 Enseignement et évaluation inclusifs

L'objectif 5.3 du *Plan stratégique de l'OMM 2020-2023* (OMM-N° 1225) consiste à «[p]romouvoir une participation égalitaire, effective et inclusive à la gouvernance, à la prise de décisions et à la coopération scientifique». Selon ce plan:

Les organisations qui respectent la diversité et valorisent l'égalité des sexes sont mieux administrées, plus efficaces et plus innovantes. L'égalité des sexes et l'autonomisation des femmes sont cruciales pour garantir l'excellence scientifique, relever les défis que posent le changement climatique, la prévention des catastrophes et le développement durable et atteindre l'objectif de développement durable 5.

Pour contribuer à la réalisation de cet objectif et obtenir les avantages décrits, il est important que l'égalité d'accès aux programmes d'enseignement et de formation professionnelle soit assurée et que le matériel d'apprentissage et d'enseignement ainsi que les évaluations soient pleinement accessibles à tous et représentatifs de la diversité de l'effectif étudiant. Les programmes qui sont inclusifs et accessibles aux étudiants à temps partiel, notamment pour ceux qui ont des enfants à garder, sont particulièrement bénéfiques pour l'égalité des sexes, comme l'a montré la pandémie de maladie à coronavirus (COVID-19). Ce constat s'applique également au personnel de l'éducation et de la formation

Comme nous l'avons déjà évoqué, le fait de disposer de résultats d'apprentissage clairs, associés à des politiques d'évaluation transparentes et équitables, favorise la réussite des étudiants et contribue à une culture plus inclusive.

1.10 Études de cas sur l'application des PEB

Les sections consacrées au PEB-M et au PEB-TM ne sont pas destinées à imposer une structure de cours ou à définir de façon stricte le contenu d'un programme d'études. Chaque Membre de l'OMM, SMHN, université ou autre établissement de formation ayant ses propres exigences, ses propres systèmes de réglementation et ses propres méthodes d'enseignement, il convient d'élaborer des programmes de cours et des résultats qui tiennent compte de ces particularités. Les cours doivent également comprendre des contenus (d'autres matières complémentaires, par exemple) visant à répondre aux intérêts des établissements considérés en matière de recherche ou d'exploitation et à garantir une formation équilibrée pour leurs diplômés.

1.10.1 Application du PEB-M

Les programmes-cadres décrits ci-dessous illustrent la manière dont le PEB-M pourrait être mis en œuvre, même si d'autres structures sont tout aussi valables

Cas 1 – Programme d'étude de premier cycle en météorologie

Une façon de mettre en œuvre le PEB-M consiste à le placer au cœur d'un programme de premier cycle de trois ou quatre ans en météorologie, comme l'illustre l'exemple ci-dessous. Dans cet exemple, on suppose que les étudiants possèdent les qualifications du secondaire en mathématiques et en physique requises pour accéder aux programmes de premier cycle plus avancés dans ces domaines.

Tant que le programme diplômant n'intègre pas de cours spécifiques sur les prévisions météorologiques ou d'autres domaines spécialisés, qu'ils soient dispensés à l'université ou en partenariat avec le SMHN, il ne prépare pas un diplômé à exercer un rôle de prévisionniste sans formation supplémentaire.

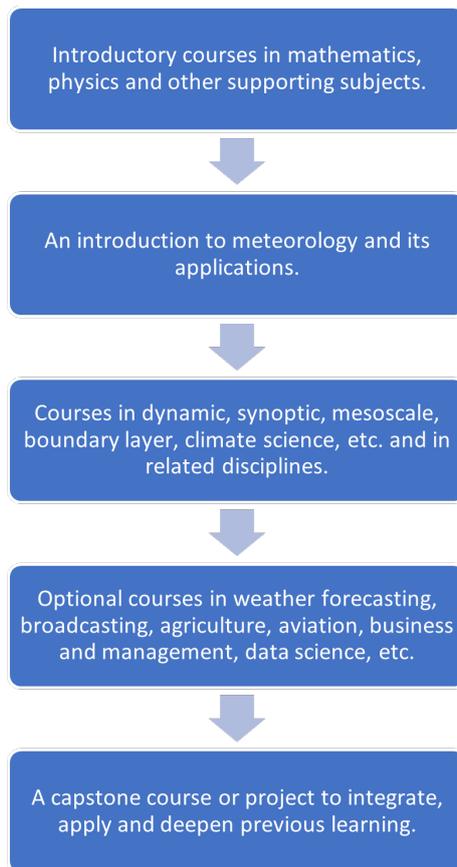


Figure 4. Schéma d'un programme d'étude de premier cycle en météorologie

Une autre façon classique de mettre en œuvre le PEB-M consiste à le placer au cœur d'un programme d'étude de deuxième ou troisième cycle de niveau master en météorologie, généralement sur une période d'un an, comme l'illustre l'exemple ci-dessous. Dans cet exemple, on suppose que les étudiants sont titulaires d'un premier diplôme dans une matière qui, entre autres atouts, les a dotés de la maturité et des connaissances mathématiques et physiques nécessaires pour progresser à ce niveau et à cette intensité d'études.

Tant que le programme diplômant n'intègre pas de cours spécifiques sur les prévisions météorologiques ou d'autres domaines spécialisés, qu'ils soient dispensés à l'université ou en partenariat avec le SMHN, il ne prépare pas un diplômé à exercer un rôle de prévisionniste sans formation supplémentaire.

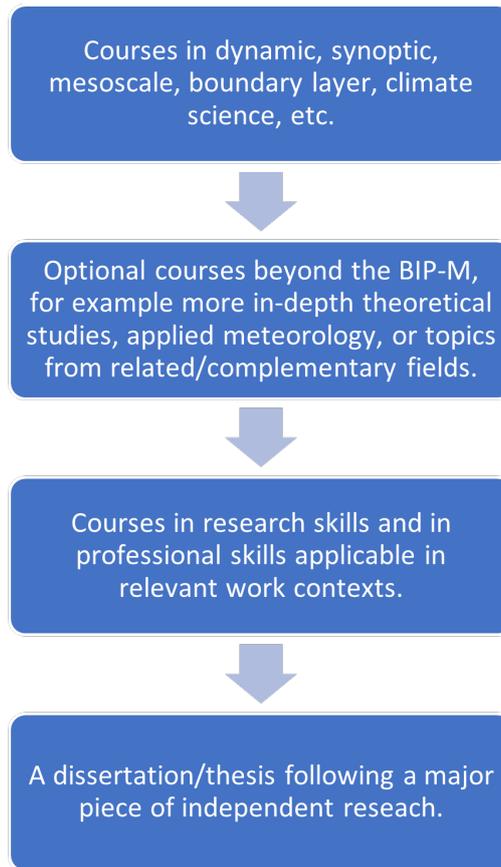


Figure 5. Schéma d'un programme d'étude de deuxième et troisième cycles en météorologie

Cas 3 – Cours de prévision pour les diplômés ou les employés du SMHN

Cet exemple concerne un cours dispensé dans un centre de formation du SMHN ou un CRFP. On suppose que les étudiants sont soit des diplômés en sciences physiques, soit des membres du personnel employés en tant que techniciens en météorologie ou dans d'autres fonctions, qui possèdent la formation préalable, éventuellement acquise en cours d'emploi (par exemple par le biais de programmes en ligne agréés ou dans des établissements d'enseignement postsecondaire locaux).

Bien que le niveau d'instruction nécessaire pour suivre les cours du PEB-M soit nécessairement équivalent à des études de premier cycle, ces programmes ne donnent généralement pas lieu à l'attribution de crédits universitaires ou d'un diplôme.

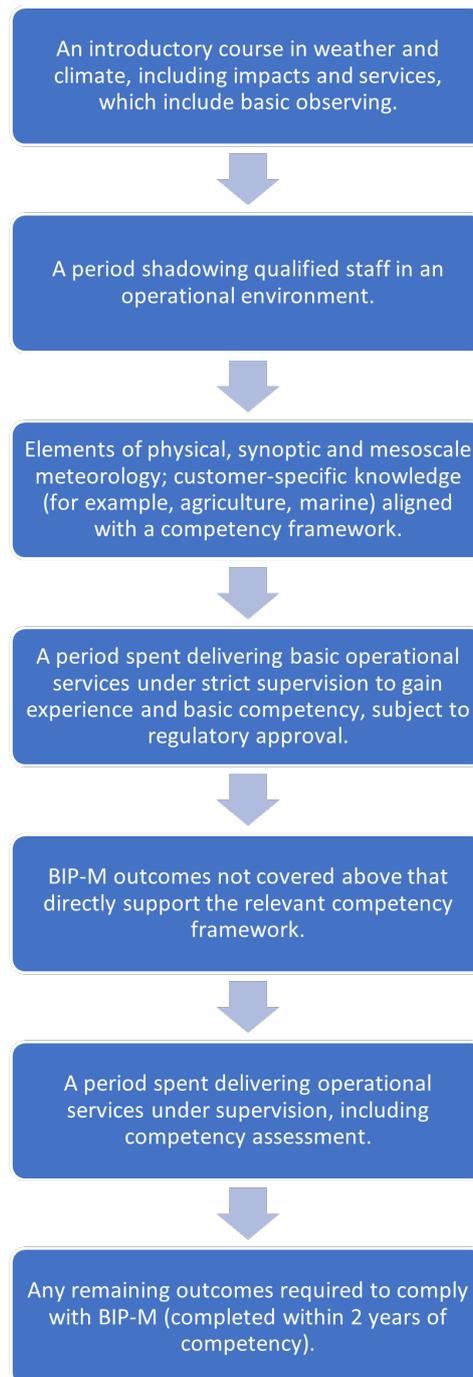


Figure 6. Schéma d'un cours de prévision pour les diplômés ou les employés du SMHN

Cas 4 – Parcours de qualification individuel mixte

L'initiative du Campus mondial de l'OMM encourage les établissements d'enseignement à offrir des possibilités d'enseignement et de formation qui sortent des cadres universitaires et professionnels traditionnels. La technologie actuelle permet de combiner les méthodes d'apprentissage – synchrone et asynchrone, autonome et dirigé par un instructeur – au moment et à l'endroit qui conviennent le mieux aux apprenants. Une voie possible vers la qualification PEB-M serait d'accéder à l'apprentissage nécessaire soit auprès d'un prestataire unique, soit auprès d'une série de prestataires différents.

Cette voie permettrait d'ouvrir accès à l'enseignement de la météorologie aux personnes qui en sont généralement empêchées en raison de leur lieu de résidence, de leur statut professionnel, de leurs obligations familiales ou d'autres raisons.

En l'absence de système d'enregistrement international pour la profession, il incombe à l'organisation qui emploie le météorologiste de prouver que celui-ci a atteint les résultats d'apprentissage du PEB-M. Pour faciliter la présentation d'éléments probants, les établissements sont encouragés à faire en sorte que leur brochure d'inscription et leurs certificats et relevés de notes indiquent clairement quels sont les résultats du PEB-M que leurs cours permettent d'atteindre et dans quelle mesure.

1.10.2 **Application du PEB-TM**

Les Membres ont adopté diverses approches en matière d'enseignement et de formation professionnelle pour former leurs techniciens en météorologie, depuis les programmes spécifiques d'éducation formelle en météorologie dans une école technique, un CRFP, un établissement d'enseignement postsecondaire ou une université, jusqu'à la formation professionnelle et sur le tas (ou une combinaison des deux) en matière d'observations et de mesures météorologiques. Quelle que soit l'approche retenue, les établissements doivent répondre aux exigences du PEB-TM.

Les exigences propres au PEB-TM sont normalement remplies lorsqu'un programme d'études postsecondaires est mené à bien dans un établissement tel que le centre de formation professionnelle d'un SMHN, un CRFP ou un établissement d'enseignement postsecondaire.

Le PEB-TM doit être conçu de telle façon que les personnes qui suivent le programme d'études puissent:

- Faire état d'une connaissance appropriée des concepts et principes fondamentaux associés à leur domaine d'études.
- Présenter, évaluer et interpréter des données qualitatives et quantitatives leur permettant de porter un jugement pertinent selon les théories et les notions de base de leur domaine d'études.
- Évaluer divers moyens de résoudre des problèmes liés à leur domaine d'études.
- Transmettre les résultats de leurs études de façon précise et fiable.
- Approfondir leur formation et acquérir de nouvelles aptitudes dans un cadre structuré et bien administré.

1.11 **Les PEB aux stades ultérieurs de la carrière**

Normalement, toute personne suivant un programme d'études initial dispensé dans une université ou un établissement de formation professionnelle peut répondre aux exigences énoncées pour le PEB-M et le PEB-TM, telles qu'elles ont été présentées. Cela se produit généralement avant ou peu après le début d'une entrée en fonctions dans un SMHN. Toutefois, dans la pratique, il est possible de répondre aux exigences posées pour être météorologiste ou technicien en météorologie en cours de carrière.

Par exemple, les techniciens en météorologie qui ont acquis une bonne connaissance de la météorologie fondée sur leur formation initiale, une formation continue et une expérience sur le terrain peuvent vouloir suivre un programme d'études qui leur permette d'être classés comme météorologistes. Dans ce cas, ils auront déjà atteint bon nombre de résultats d'apprentissage définis dans le PEB-M. À partir du moment où les acquis préalables peuvent être formellement établis et enregistrés, le programme d'études peut porter uniquement sur les résultats d'apprentissage qui n'ont pas encore été validés. L'établissement et l'enregistrement des acquis

préalables peuvent être entrepris par les responsables de la formation au sein d'un SMHN, lorsque celui-ci est désigné (si l'organisme de réglementation ou le département de l'éducation nationale l'exige) comme centre de «validation des acquis». Il en va de même pour les personnes dont la formation initiale ne couvre pas l'ensemble du PEB-TM mais qui, en cours de carrière, souhaitent être classés comme techniciens en météorologie.

Ce sont la réglementation et les exigences nationales ou institutionnelles qui déterminent si le pays autorise un reclassement qui tienne compte des acquis préalables.

2. PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT DE BASE POUR LES MÉTÉOROLOGISTES

Cette partie du document contient des indications sur la façon de mettre en œuvre les résultats d'apprentissage du PEB-M qui figurent dans le *Règlement technique* (OMM-N° 49). On y trouve quelques explications sur les intentions qui sous-tendent les résultats tels qu'ils sont rédigés et des indications plus détaillées sur les sujets qui peuvent être inclus dans un programme d'études pour atteindre les résultats d'apprentissage. Il convient de rappeler que les détails donnés dans ce chapitre ne sont ni exhaustifs ni contraignants à l'égard des Membres de l'OMM pour ce qui est de la définition des programmes. En d'autres termes, ce sont les résultats d'apprentissage présentés dans les listes qui définissent le PEB-M, et non les explications détaillées figurant dans les tableaux situés sous ces listes.

En tant que professionnels, les météorologistes doivent être capables de résoudre des problèmes de manière créative et complexe, de réfléchir de manière critique, de produire des analyses incisives et d'effectuer des tâches routinières et non routinières de façon autonome. Ce sont ces processus cognitifs d'ordre supérieur et une compréhension profonde des processus atmosphériques que les diplômés des programmes PEB-M doivent développer.

C'est pourquoi les capacités de réflexion de niveau inférieur, associées au niveau «se souvenir» de la taxonomie¹ (reconnaître et se rappeler), sont évitées dans la mesure du possible. Bien entendu, il existe une grande quantité de connaissances déclaratives – à la fois des connaissances empiriques et de la terminologie – que les météorologistes doivent impérativement connaître et qui constituent une base essentielle pour les compétences d'ordre supérieur. Dans la plupart des cas, ces connaissances factuelles sont implicites plutôt qu'explicitement énoncées ici.

Nous avons également été circonspects quant à l'utilisation des verbes associés au niveau du processus cognitif de «compréhension», tels que «expliquer» et «décrire». Ces verbes sont souvent mal compris par les étudiants et les instructeurs, qui pensent qu'il faut simplement réciter une explication, une dérivation, etc., alors qu'il s'agit en fait de la capacité de construire des modèles de systèmes de cause à effet pour démontrer sa compréhension d'un concept. Les définitions données dans le chapitre précédent doivent être utilisées pour déterminer la signification des verbes présents dans ces résultats dans le contexte du PEB-M.

2.1 Interprétation

Dans ce chapitre, tout texte figurant dans un encadré grisé comme celui-ci comprend des extraits à insérer dans la prochaine édition du *Règlement technique* (OMM-N° 49), Volume I, partie VI. De tels textes ont la valeur réglementaire de pratiques et de procédures normalisées.

La suite de la deuxième partie comprend un descriptif et propose des résultats d'apprentissage destinés à guider les Membres de l'OMM dans la mise en œuvre du PEB-M, mais n'a pas de valeur réglementaire.

2.2 Résultats d'apprentissage généraux

Cette section décrit les attributs et les compétences clés qui distinguent les météorologistes professionnels, quel que soit le rôle qu'ils sont susceptibles de jouer. Comme indiqué ci-dessus, ces résultats d'apprentissage généraux sont également destinés à résumer la philosophie générale du PEB-M en décrivant comment les météorologistes professionnels pensent et comment ils utilisent les données et les outils dont ils disposent à des fins professionnelles.

Les résultats présentés ici n'ont pas pour but de décrire un rôle spécifique et ne font aucune suggestion quant au contexte dans lequel une personne pourrait finalement être employée. Ils ne sont pas nécessairement destinés à correspondre point par point aux modules ou aux unités d'études. Ils devraient plutôt se retrouver dans l'ensemble du programme d'études et être utilisés

¹ Voir la section 1.6.2 «Définir les résultats d'apprentissage».

pour évaluer ce dernier afin de s'assurer que les unités d'études individuelles contribuent à l'objectif plus large du programme, qui est d'ancrer la réflexion et la pratique météorologiques et d'établir des liens entre la théorie, l'atmosphère réelle et la prestation de services scientifiques et professionnels au profit de la société.

Les météorologistes doivent être capables:

- De combiner systématiquement toutes les sources de données d'observation pertinentes qui sont disponibles, afin de produire des analyses cohérentes de l'état de l'atmosphère aux échelles spatiales et temporelles concernées.
- De formuler des hypothèses raisonnables sur l'évolution de l'atmosphère dans la région considérée en matière de processus dynamiques et physiques et de modèles conceptuels.
- De prévoir l'évolution de l'état de l'atmosphère et le degré d'incertitude de ces prévisions, en combinant des produits de modèles numériques pertinents avec des réflexions d'ordre physique et dynamique et des méthodes empiriques à un niveau de précision adapté aux échelles spatiales et temporelles considérées et aux sources d'incertitude connues.
- De comparer les prévisions aux observations, en utilisant des méthodes qualitatives ou quantitatives pour évaluer les hypothèses et garantir la qualité des services et en mettant notamment en évidence les changements à apporter dans les hypothèses, les produits et les services.
- De communiquer de manière claire et précise les informations pertinentes aux collègues, aux clients et aux autres parties prenantes, par une variété de moyens et en faisant état des incertitudes et des impacts.
- De déterminer la sensibilité de la société aux phénomènes météorologiques et climatiques en faisant appel à d'autres disciplines si nécessaire, afin de s'assurer que la détermination des impacts météorologiques et climatiques, ainsi que les alertes à leur sujet, sont au cœur de leur travail.
- D'évaluer les produits de leur travail en les comparant à des normes appropriées, de prendre des mesures correctives si nécessaire et de contribuer à l'élaboration de systèmes et de processus de travail.
- De réfléchir à leurs pratiques d'apprentissage et de travail, d'évaluer de manière critique leurs performances et d'utiliser différentes approches pour développer continuellement leurs connaissances et leurs compétences professionnelles.

Ces résultats d'apprentissage devraient être atteints par l'apprentissage et l'évaluation des sujets relatifs aux sciences de l'atmosphère décrits plus loin dans la partie 2, complétés si nécessaire par les résultats d'apprentissage professionnel et autres résultats requis pour répondre aux besoins nationaux et soutenus par les avis relatifs aux mathématiques et à la physique de base que l'on trouve également dans cette partie du guide.

2.3 Prérequis en mathématiques et en physique

La météorologie, qui est une science physique, s'appuie sur la physique de base pour décrire mathématiquement les processus à l'œuvre dans l'atmosphère. Il est donc nécessaire que les météorologistes aient des notions solides en mathématiques et en physique avant d'étudier les spécificités de la physique atmosphérique, d'autant que même les ouvrages d'introduction utilisent un langage mathématique pour décrire succinctement la science. En même temps, il faut garder à l'esprit que le PEB-M n'est pas conçu pour former des mathématiciens ou des physiciens à part entière: les mathématiques sont un moyen par lequel les gens peuvent apprendre à maîtriser les concepts météorologiques plutôt qu'une fin en soi.

Pour toutes ces raisons, le PEB-M comprend des résultats d'apprentissage en mathématiques et en physique, mais uniquement dans les domaines qui soutiennent directement d'autres résultats d'apprentissage. Rien de tout cela n'empêche les établissements d'aller au-delà de ce qui est exposé ici afin de soutenir leur approche de l'enseignement des sciences de l'atmosphère, de tirer parti des cours d'introduction aux mathématiques standard dans le cadre de leur offre ou de préparer les étudiants à des études plus avancées.

Les résultats de cette section peuvent être atteints de nombreuses façons, notamment en utilisant une ou plusieurs des options suivantes:

- Définir les prérequis auxquels les étudiants doivent satisfaire avant de s'engager dans les études de sciences atmosphériques. Cela peut se faire en associant des modules d'enseignement secondaire² et des modules d'introduction au premier cycle universitaire.
- Inclure des modules spécifiques d'introduction aux mathématiques et à la physique dans un programme intégré de météorologie.
- Intégrer la formation dans le programme de météorologie de base (par exemple en intégrant le transfert par rayonnement électromagnétique de base dans un module de télédétection).

Les météorologistes doivent être capables:

- D'interpréter et d'appliquer le langage, les concepts et les techniques mathématiques utilisés dans la littérature et le matériel pédagogique d'introduction à la météorologie.
- De mettre en pratique leurs connaissances en mathématiques pour prendre des décisions logiques et raisonnées visant à résoudre des problèmes; de reconnaître un raisonnement incorrect; et d'expliquer clairement leur raisonnement en utilisant le langage mathématique.
- D'appliquer et d'interpréter les mesures statistiques de base servant à synthétiser les données météorologiques et les produits de la prévision et d'analyser les erreurs.
- De représenter mathématiquement des situations physiques et météorologiques, en appréhendant la relation entre le monde réel et le modèle mathématique et en interprétant de façon judicieuse les résultats.
- D'appliquer les lois élémentaires de la physique pour résoudre des problèmes liés à la mécanique, à la thermodynamique, au mouvement ondulatoire et au rayonnement électromagnétique.

Les indications des tableaux 2.1 et 2.2 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif. Elles présentent plutôt, à titre informatif, le champ et le type des connaissances nécessaires pour satisfaire aux prérequis des études de météorologie:

Tableau 2.1. Résultats pédagogiques proposés pour répondre aux exigences en matière de prérequis en mathématiques

Mathématiques	
Trigonométrie	Résoudre des problèmes géométriques simples en utilisant les définitions du sinus, du cosinus et de la tangente et leurs fonctions inverses, en degrés et en radians.
	Décrire les fonctions sinus, cosinus et tangente et leurs graphiques, symétries et périodicité.
	Expliquer et appliquer l'approximation des petits angles.
Logarithmes et exponentielles	Manipuler et interpréter des expressions contenant des logarithmes et des exponentielles.
	Utiliser les graphiques logarithmiques pour estimer les coefficients des équations exponentielles.

² Un grand nombre des résultats d'apprentissage en mathématiques et en physique requis ici font partie des qualifications de l'enseignement secondaire telles que le diplôme d'études secondaires, le baccalauréat international et le programme d'orientation avancé (Advanced Placement).

Algèbre et fonctions	Manipuler des équations polynomiales, notamment en développant les crochets, en rassemblant les termes semblables et en appliquant la factorisation.
	Résoudre des équations simultanées à deux variables par élimination ou substitution.
	Lire et interpréter des graphiques de fonctions et tracer des courbes définies par des polynômes simples.
	Mesurer la pente et l'ordonnée à l'origine d'un graphique linéaire.
Vecteurs et algèbre linéaire	Représenter les vecteurs sous forme graphique et à l'aide de la notation vectorielle, et passer d'une forme à l'autre.
	Calculer la magnitude et la direction d'un vecteur et convertir la forme «composantes» en forme «magnitude/direction».
	Additionner et soustraire des vecteurs et multiplier un vecteur par un scalaire. Faire ces opérations algébriquement et graphiquement.
	Calculer le produit scalaire (point) et le produit vectoriel (croix) de vecteurs bidimensionnels.
Nombres complexes	Résoudre les équations quadratiques à coefficients réels, y compris celles à racines complexes.
	Expliquer les termes «partie réelle» et «partie imaginaire».
Calcul différentiel et intégral	Interpréter la dérivée d'une fonction comme la pente de la tangente en un point de la courbe correspondante et comme le taux de variation de cette fonction.
	Expliquer l'interprétation de la dérivée seconde d'une fonction comme étant le taux de variation de la pente et l'utiliser pour identifier les maxima, minima et points d'inflexion.
	Interpréter la signification physique des équations différentielles ordinaires et partielles contenant des dérivées spatiales et temporelles.
	Interpréter l'intégrale d'une fonction comme l'aire sous une courbe et comme la limite d'une somme.
	Utiliser les séries de Taylor pour déterminer par approximation une fonction au voisinage d'un point d'intérêt.
Calcul vectoriel	Tracer une représentation des champs scalaires d'une fonction donnée et des champs vectoriels montrant la translation, la déformation, la divergence ou le tourbillon.
	Définir les opérateurs gradient, divergence et rotationnel et interpréter les résultats de ces opérateurs sur des champs scalaires ou vectoriels.
Statistiques	Interpréter les mesures de base de la tendance centrale, de l'étendue et de la dispersion des données.
	Interpréter les données représentées sous forme d'histogramme.
	Expliquer les concepts de probabilité et de probabilité conditionnelle.
	Interpréter les graphiques de la fonction de distribution de probabilité, de la fonction de masse de probabilité et de la fonction de densité de probabilité.
	Appliquer la régression à une ou plusieurs variables et évaluer l'adéquation du modèle résultant aux problèmes de prévision.

Tableau 2.2. Résultats pédagogiques proposés pour répondre aux exigences en matière de prérequis en physique

Physique	
Mécanique	Décrire le concept de force; expliquer et appliquer la première loi de Newton.
	Additionner les forces graphiquement ou algébriquement pour trouver la force résultante d'un système.
	Décrire et appliquer la deuxième loi du mouvement de Newton pour résoudre des problèmes simples.
	Résoudre des problèmes en utilisant le principe de conservation de la quantité de mouvement (linéaire).
	Expliquer les notions de cadres de référence eulérien et lagrangien et savoir quand utiliser chacun d'eux et comment passer de l'un à l'autre.
	Expliquer le principe d'accélération centripète et décrire le mouvement circulaire dans un système en mettant en rapport la force résultante et l'accélération centripète.
	Appliquer le principe de conservation de la quantité de mouvement angulaire aux systèmes en rotation.
	Expliquer les concepts de travail, d'énergie cinétique, d'énergie potentielle et d'énergie interne.
	Résoudre des problèmes simples en utilisant le principe de conservation de l'énergie.
	Résoudre des problèmes simples en utilisant la relation entre puissance, travail et force.
Cinématique	Utiliser le langage de la cinématique pour décrire les systèmes physiques: position, déplacement, distance, vitesse, vitesse et accélération.
	Résoudre des problèmes en utilisant les équations décrivant le rapport entre la distance, la vitesse, l'accélération et le temps pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré.
	Utiliser les vecteurs et le calcul différentiel pour décrire le mouvement en une et deux dimensions.
Mécanique des fluides	Expliquer le concept de pression hydrostatique, la transmission de pression dans un fluide et la loi de Pascal; expliquer pourquoi la pression diminue avec la hauteur dans l'atmosphère.
	Expliquer le principe de la poussée hydrostatique et le principe d'Archimède.
	Décrire le concept de viscosité.
	Décrire un champ de vent ou un autre champ de vecteurs en termes de translation, déformation, divergence et tourbillon.
	Décrire et appliquer les notions de fonction d'écoulement et de potentiel de vitesse.
	Expliquer la relation entre les lignes de courant et les trajectoires.
Transmission de la chaleur.	Expliquer la base physique de la transmission de la chaleur par conduction, convection et rayonnement.

Thermodynamique de base.	Décrire la théorie cinétique des gaz et expliquer les bases physiques de la température.
	Appliquer les principes fondamentaux de la thermodynamique aux systèmes gazeux, y compris les lois des gaz pour l'air sec et l'air humide, les première et deuxième lois de la thermodynamique et la loi de Dalton.
	Expliquer la base physique de la chaleur sensible, de la chaleur spécifique, de la chaleur latente, de la tension de vapeur et de la saturation.
	Expliquer la base physique des processus réversibles et irréversibles, de l'entropie et de l'enthalpie.
	Décrire les changements de phase de l'eau dans un système gazeux et leurs effets sur les autres parties du système.
Ondes	Décrire les propriétés des oscillations et des ondes et expliquer le mouvement harmonique simple; résoudre des problèmes en utilisant la relation entre la vitesse, la fréquence et la longueur d'onde des ondes.
	Expliquer la différence entre les ondes longitudinales et les ondes transversales.
	Expliquer les principes fondamentaux du déplacement des ondes, y compris les notions de réflexion, de réfraction et de diffraction, la vitesse de phase d'interférence et de groupe, ainsi que la dispersion et le déferlement des ondes.
Optique	Expliquer les notions de réflexion, de réfraction, de diffraction et de diffusion de la lumière.
Rayonnement électromagnétique	Expliquer les principes fondamentaux du rayonnement électromagnétique et notamment le spectre électromagnétique, le rayonnement des corps noirs, la loi de Planck, la loi de Wien et la loi de Stefan-Boltzmann ainsi que la diffusion, l'absorption et l'émission de rayonnement.

2.4 Sujets obligatoires

Cette section présente les résultats d'apprentissage des sujets qui sont obligatoires pour le PEB-M. Ces résultats couvrent les notions fondamentales de la science météorologique.

2.4.1 Météorologie physique

La météorologie physique porte sur l'explication scientifique des phénomènes atmosphériques fondamentaux. Elle s'appuie sur les acquis de la physique, en appliquant les lois physiques de base pour expliquer la nature de l'atmosphère observée. Les concepts de cette section comprennent la structure thermodynamique de l'atmosphère, le rayonnement solaire et terrestre, les processus de la couche limite, la physique des nuages et les principes des instruments et des mesures. D'une certaine manière, ces concepts sont des éléments de base qui facilitent la compréhension des phénomènes à grande échelle, mais aussi la résolution de nombreux problèmes en météorologie.

Les météorologistes doivent être capables:

- D'utiliser leurs connaissances sur la composition de l'atmosphère et le transfert radiatif pour expliquer la structure de l'atmosphère, le bilan énergétique global et l'effet de serre, ainsi que les phénomènes optiques courants.
- D'utiliser les lois de la thermodynamique pour expliquer la stratification stable de l'atmosphère et les effets des processus adiabatiques et non adiabatiques, y compris les effets de l'eau; d'utiliser un diagramme thermodynamique pour évaluer les propriétés et la stabilité de l'atmosphère.
- De faire la synthèse des processus microphysiques qui interviennent dans la formation des nuages, les précipitations et les phénomènes électriques et d'utiliser un diagramme thermodynamique pour établir un diagnostic et prévoir ces phénomènes.
- De se fonder sur les connaissances relatives aux flux de turbulence et de surface pour expliquer la structure et les caractéristiques des couches limites de l'atmosphère et le comportement des contaminants.
- De choisir des instruments permettant d'observer les phénomènes atmosphériques de surface et de la haute atmosphère, compte tenu de leurs principes physiques de fonctionnement, des sources et des caractéristiques des erreurs et incertitudes et des procédures de contrôle de la qualité utilisées.
- D'utiliser les systèmes de télédétection terrestre et spatiale appropriés pour procéder à une observation qualitative et quantitative des phénomènes atmosphériques et de surface; d'expliquer comment les mesures du rayonnement sont effectuées, puis transformées en données atmosphériques, et quelles sont les utilisations et les limites de ces données.

Les indications du tableau 2.3 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en météorologie physique, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 2.3. Résultats pédagogiques proposés en météorologie physique

Composition de l'atmosphère, rayonnement et phénomènes optiques	
Structure et composition de l'atmosphère	Résumer les caractéristiques des régions atmosphériques (troposphère, tropopause, stratosphère) les plus pertinentes pour les météorologistes, en se référant à leurs principaux constituants, à leur température et à leur teneur en humidité.
	Résumer la composition de l'atmosphère, notamment les gaz à l'état de traces, les aérosols, les poussières minérales, les cendres volcaniques et les polluants, en indiquant notamment les effets de ces constituants.
Rayonnement de l'atmosphère.	Expliquer les effets que la variance de la distribution des constituants atmosphériques (y compris les aérosols, la vapeur d'eau, les nuages, les gaz à effet de serre et les gaz réactifs) et les conditions de surface (humidité, végétation, couverture neigeuse) peuvent avoir sur le rayonnement incident et sortant.
Bilan énergétique global	Expliquer les variations latitudinales et saisonnières du climat dues au bilan énergétique radiatif global, à la variation du flux solaire et aux caractéristiques orbitales de la Terre.
Phénomènes optiques	Expliquer la transparence de l'atmosphère et la physique des phénomènes optiques courants (arcs-en-ciel, halos, couronnes, couleur du ciel, couleur des nuages, etc.) et décrire les conditions météorologiques qui favorisent leur occurrence.
Thermodynamique et physique des nuages	
Thermodynamique appliquée	Appliquer les lois de la thermodynamique pour résoudre des problèmes de base en se fondant sur la compréhension de la notion de particule d'air, y compris la description des processus diabatiques et adiabatiques, des mouvements adiabatiques de l'air humide saturé ou de l'air sec et des quantités conservées correspondantes.

Humidité de l'atmosphère	Expliquer la base physique et les applications des paramètres courants utilisés pour représenter la quantité d'humidité dans l'atmosphère; décrire comment ces quantités sont mesurées et indiquer les relations entre elles.
	Utiliser les connaissances en thermodynamique pour décrire les processus de changement de phase de l'eau, y compris les effets de ces changements de phase sur une particule d'air hypothétique et sur des processus à plus grande échelle.
Stabilité de l'atmosphère	Résumer les caractéristiques des régions stables, neutres et instables du point de vue hydrostatique en termes de variation de densité et de comportement d'une particule perturbée.
	Utiliser les connaissances de la thermodynamique pour décrire et appliquer les concepts d'instabilité conditionnelle, latente et convective/potentielle.
	Sélectionner les paramètres thermodynamiques les plus pertinents pour évaluer les mesures de la stabilité des données, en utilisant la connaissance de la base physique desdits paramètres.
	Prévoir comment les mesures de la stabilité hydrostatique pourraient changer sous l'effet de processus diabatiques et adiabatiques (par exemple le rayonnement solaire descendant, le dégagement de chaleur latente et le flux incliné).
Diagrammes thermodynamiques	Utiliser un diagramme thermodynamique pour déterminer ou calculer les paramètres courants employés pour décrire l'état thermodynamique de l'atmosphère, y compris la stabilité, à partir d'un sondage.
	Tirer des informations des diagrammes thermodynamiques sur la structure de l'atmosphère (comme la présence de nuages et de précipitations) et les processus à l'échelle synoptique.
Nuages et précipitations	Décrire les processus microphysiques entraînant la formation, la croissance et la dissipation des hydrométéores atmosphériques, y compris les gouttelettes de nuages chauds et froids et les particules d'une taille propice aux précipitations.
	Décrire la structure macroscopique et la dynamique essentielle des principaux types de nuages froids et chauds.
	En s'appuyant sur l'analyse des conditions synoptiques et à moyenne échelle, prévoir la probabilité d'occurrence de divers types de nuages et de précipitations, de la rosée, du givre, de la gelée et de divers types de brouillard; expliquer comment les conditions locales peuvent favoriser ou entraver le développement de ces phénomènes.
Phénomènes électriques	Décrire les mécanismes à l'origine des phénomènes électriques dans l'atmosphère et évaluer la probabilité de ces phénomènes dans une situation synoptique et à moyenne échelle donnée.
Météorologie de la couche limite et micrométéorologie	
Processus turbulents	Décrire en quoi la nature des écoulements turbulents diffère de celle des écoulements laminaires; décrire les mécanismes de genèse et de dissipation de la turbulence; décrire le rôle de la viscosité dans la genèse de conditions aux limites inférieures restreignant les écoulements de la couche limite.
	Expliquer les raisons pour lesquelles les mesures statistiques sont utilisées pour décrire les écoulements turbulents, les méthodes de calcul de la moyenne couramment utilisées et la base physique de la décomposition des variables d'écoulement en éléments moyens et fluctuants.
	Expliquer, d'un point de vue qualitatif, comment les écoulements turbulents de masse, de chaleur, d'humidité et de quantité de mouvement apparaissent et comment ils agissent pour redistribuer ces quantités.
	Prévoir l'évolution de la couche limite en matière de masse, de chaleur, d'humidité et de quantité de mouvement sur la base des flux de ces quantités en fonction de la distribution verticale de leurs valeurs moyennes.

Échanges d'énergie dans la couche limite	Décrire le bilan d'énergie à proximité de la surface de la Terre et les processus d'échange d'énergie (thermique et cinétique) avec la couche de surface.
	Décrire le bilan d'énergie et de masse au sommet des couches limites nuageuses et non nuageuses, y compris le rôle de la turbulence, de l'entraînement et du transfert radiatif.
Structure et variation de la couche limite	Utiliser les connaissances sur la turbulence, les processus de surface et les processus au sommet de la couche limite pour expliquer la structure et la variation diurne des couches limites stables, neutres et instables.
Vents locaux	Expliquer les incidences du terrain, des côtes et des zones urbaines sur les écoulements de la couche limite, y compris celles des circulations d'origine thermique (brises de mer et de terre, effets de lacs et brises d'aval, par exemple); prévoir l'occurrence de ces effets pour un lieu particulier dans une situation synoptique et à moyenne échelle donnée.
	Expliquer l'origine, la signification et les limites de la spirale d'Ekman et l'hypothèse de la longueur de mélange et utiliser cette dernière pour estimer la structure verticale du vent dans la couche de surface, à partir d'une observation pertinente.
Contaminants de l'air	Utiliser les connaissances sur les contaminants communs et leurs sources, puits, comportement et effets pour prévoir comment les contaminants peuvent être dispersés en fonction des conditions météorologiques, y compris la stabilité, et comment cela peut affecter la qualité de l'air et la visibilité.
Observations et instruments <i>in situ</i>	
Mesures en surface <i>in situ</i>	Expliquer les principes physiques sur lesquels reposent les instruments servant à effectuer des mesures en surface de la température, de l'humidité, de la pression, des précipitations, du vent, de la hauteur des nuages, de la visibilité, de l'ensoleillement et du rayonnement ainsi que de la hauteur des vagues, et indiquer les limites et la sensibilité de ces instruments.
	Décrire la façon dont les nuages, la visibilité et les types de temps sont classés et observés, ainsi que les utilisations et les limites des données.
Mesures en altitude	Expliquer les principes physiques sur lesquels reposent les instruments servant à enregistrer des mesures en altitude de la position géographique, de la pression, de la température, de l'humidité et du vent ainsi que de l'ozone et d'autres constituants de l'atmosphère, comme la poussière et les cendres volcaniques.
	Évaluer l'utilité des instruments embarqués sur des ballons et des aéronefs pour fournir des informations sur un lieu donné, compte tenu des caractéristiques de vol et de la fréquence de transmission de ces plates-formes.
Caractéristiques des instruments	S'appuyer sur les caractéristiques connues des instruments d'observation en surface et en altitude, afin de sélectionner la meilleure source de données sur les paramètres ou les phénomènes intéressants.
Incertitude et erreurs dues aux instruments	Utiliser les connaissances sur les sources courantes d'incertitude et d'erreurs dues aux instruments et aux techniques d'observation standard pour évaluer la fiabilité d'une mesure donnée, y compris les effets locaux qui influent sur la représentativité d'une observation.
Applications et limites des observations	Décrire les applications et les limites des observations traditionnelles pour ce qui concerne la surveillance du temps et du climat et l'établissement de prévisions.
Normes mondiales en matière d'instruments et collaboration	Expliquer l'importance de respecter les normes de mesure nationales et internationales et d'observer les meilleures pratiques pour étalonner les instruments avec précision.
	Décrire le rôle de la collaboration internationale dans la réalisation et le partage des observations, en mettant l'accent sur les composantes du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM.

Téledétection	
Ces résultats de l'apprentissage visent à donner au météorologiste une connaissance essentielle des systèmes de téledétection courants et la capacité d'utiliser intelligemment ces données dans toute une série de situations. D'autres apprentissages sont nécessaires pour utiliser les données de téledétection sur le lieu de travail. Les cours construits autour du PEB-M, en particulier ceux qui attirent des étudiants entrant dans la profession de prévisionniste, devraient prendre en compte les cadres de connaissances et de compétences pour la météorologie satellitaire et radar contenus dans le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), qui s'appuient sur ceux présentés ici.	
Principes de la téledétection	Utiliser les données de téledétection provenant de radars, de satellites et d'autres systèmes, ainsi que des observations <i>in situ</i> , des prévisions numériques du temps (PNT) et des conseils pour élaborer une image globale de l'état de l'atmosphère et recenser les erreurs issues de l'utilisation isolée d'une seule source de données.
	Sélectionner les données de téledétection pertinentes, en tenant compte des caractéristiques des différents systèmes, de la zone géographique considérée et du problème météorologique examiné.
	Choisissez des formats d'affichage permettant de tirer le meilleur profit des données téledétections, notamment des projections, des palettes de couleurs et des animations adaptées.
Détection active	Expliquer comment les systèmes de détection active tels que le radar, le lidar et le sondeur acoustique (sodar) sont utilisés pour fournir des données qualitatives et quantitatives sur les paramètres atmosphériques (par exemple le taux et le type de précipitations, la vitesse et la direction du vent, les nuages, l'humidité, la température, la turbulence et la charge en aérosols) et les phénomènes atmosphériques (tels que les orages, les microrafales descendantes et les tornades).
Détection passive	Expliquer comment les systèmes de détection passive sont utilisés pour fournir des données numériques à partir du rayonnement reçu (par exemple dans les parties visible, infrarouge ou hyperfréquence du spectre).
	Décrire comment les données recueillies par les capteurs passifs sont utilisées pour obtenir des informations telles que la température, l'humidité, la composition de l'atmosphère, la foudre, la hauteur des vagues et l'humidité du sol.
Satellites météorologiques	Décrire les caractéristiques orbitales des satellites géostationnaires et sur orbite basse utilisés pour la météorologie, y compris les avantages, les limites et les applications des données transmises par ces plates-formes.
	Décrire les caractéristiques, les limites et les applications des canaux communs disponibles à partir des capteurs satellitaires, y compris le visible, le proche infrarouge, la vapeur d'eau et l'infrarouge.
	Expliquer les motifs de la combinaison des canaux, notamment en créant des images RVB, les applications de cette imagerie et les avantages par rapport à l'imagerie à canal unique.
	Sélectionner des images à un ou plusieurs canaux pour observer les points d'intérêt communs, notamment les systèmes météorologiques d'échelle synoptique et de moyenne échelle et les aléas naturels.
Radar	Utiliser la connaissance des principes physiques sur lesquels repose le radar météorologique pour expliquer les limites dues à la taille des précipitations, aux changements de phase et aux effets d'atténuation des conditions météorologiques et des cibles non météorologiques.
	Décrire comment les données radar peuvent être traitées pour limiter l'atténuation, produire des données composites à partir d'un réseau de radars et créer des estimations quantitatives du taux et du type de précipitations, du vent, etc.
	Sélectionner les images radar les plus pertinentes (y compris les images à double polarisation si elles sont disponibles) pour compléter d'autres formes de données dans la situation synoptique et à moyenne échelle considérée et le problème météorologique examiné.

2.4.2 **Météorologie dynamique**

Si les météorologistes veulent avoir une idée de l'évolution de l'atmosphère et être à même de tirer les conséquences de cette évolution en matière d'erreurs entre les modèles et les observations, ils doivent avoir une compréhension approfondie de la physique des mouvements atmosphériques, y compris les interactions et les rétroactions des diverses caractéristiques à différents niveaux de l'atmosphère (Carroll, 1997). Le développement des modèles numériques, qui constituent aujourd'hui le principal fondement de la recherche et de l'exploitation météorologiques, repose entièrement sur la dynamique de l'atmosphère. Une étude de la dynamique de base et de la modélisation numérique constitue donc une partie importante de ces résultats d'apprentissage.

Les établissements doivent veiller à ce que la dynamique et la modélisation numérique soient enseignées de manière à répondre aux besoins des étudiants. Une approche axée sur les mathématiques doit être privilégiée et sera plus efficace lorsqu'elle s'accompagnera de l'application pratique d'idées dynamiques et de la prévision numérique du temps aux données du monde réel.

Les météorologistes doivent être capables:

- De décrire l'application des notions de force, d'accélération et des cadres de référence à la physique de la dynamique atmosphérique, telle qu'elle est illustrée par les équations du mouvement.
- D'appliquer les modèles conceptuels issus de la météorologie dynamique pour expliquer et prévoir l'évolution de l'atmosphère dans la zone examinée.
- D'évaluer le degré de concordance entre les modèles conceptuels et la réalité.
- D'utiliser les sorties des modèles numériques pour représenter les phénomènes étudiés, sur la base des connaissances relatives aux caractéristiques du système de modélisation, aux échelles spatiales et temporelles examinées et à la nécessité de représenter l'incertitude.

Les indications du tableau 2.4 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en météorologie dynamique, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 2.4. Résultats pédagogiques proposés en météorologie dynamique

Dynamique de l'atmosphère	
Équations du mouvement	Utiliser la deuxième loi du mouvement de Newton et tenir compte des forces agissant sur une particule de fluide pour procéder à la dérivation des équations du mouvement horizontal et vertical (équations de la quantité de mouvement) dans un référentiel inertiel.
	Expliquer la base physique et les effets des termes supplémentaires représentant les forces apparentes qui agissent dans un référentiel en rotation.
	Expliquer la notion de géopotential et les raisons pour lesquelles on utilise la hauteur géopotentielle plutôt que la hauteur géométrique.
	Expliquer pourquoi la pression est souvent utilisée comme coordonnée verticale dans les équations primitives lorsque l'on considère les courants atmosphériques à l'échelle synoptique.
Échelles de mouvement	Classer les phénomènes atmosphériques en fonction de leur durée et de leur échelle de temps comme phénomènes de micro-échelle, de méso-échelle, d'échelle synoptique ou d'échelle planétaire.
	Utiliser le concept d'analyse d'échelle pour décrire les simplifications des équations du mouvement appropriées à chacune de ces échelles de mouvement.

Flux équilibrés	Décrire les simplifications faites en dérivant les principales classes de flux équilibrés (écoulement géostrophique, flux de gradient, écoulement cyclostrophique, flux inertiel, etc.); décrire la nature de ces flux équilibrés et en donner des exemples concrets.
	Expliquer les concepts d'épaisseur et d'équilibre du vent thermique.
Équilibre hydrostatique	Répertorier les simplifications faites en dérivant l'équation hydrostatique, discerner les phénomènes où l'atmosphère n'est pas en équilibre hydrostatique et expliquer comment le mouvement vertical peut être déterminé selon l'hypothèse hydrostatique.
Mouvement agéostrophique	Expliquer, au moyen des équations du mouvement, les causes et les conséquences de l'écoulement agéostrophique, y compris l'effet du frottement.
Tourbillon et divergence	Expliquer les notions de divergence et de tourbillon et décrire les mécanismes qui induisent des changements dans ces paramètres.
	Décrire la relation entre la divergence du vent horizontal et le mouvement vertical.
Tourbillon potentiel	Expliquer la notion de tourbillon potentiel, y compris les propriétés de conservation et d'inversion.
Écoulement quasi géostrophique ³	Expliquer les approximations et les hypothèses du système d'équations quasi géostrophique et recenser les situations où ces hypothèses peuvent être infirmées.
	Présenter la dérivation des équations de tendance géopotentielle et en oméga.
	Donner une interprétation physique des termes de forçage et de réponse dans ces équations.
	Utiliser de manière qualitative l'équation de tendance géopotentielle pour diagnostiquer l'évolution de caractéristiques de l'atmosphère supérieure telles que les creux et les crêtes.
	Utiliser l'équation en oméga de manière qualitative pour diagnostiquer la distribution du mouvement vertical associé aux rapides du courant-jet, aux creux et aux crêtes idéalisés.
Ondes de l'atmosphère	Décrire les bases physique et dynamique des mouvements ondulatoires de différentes échelles dans l'atmosphère et leurs caractéristiques, notamment les ondes sonores, les ondes de gravité et les ondes de Rossby.
Instabilité barocline et barotrope	Décrire l'amplification des ondes par le mécanisme d'instabilité barocline, en mettant l'accent sur le développement des cyclones des latitudes moyennes.
	Décrire comment l'instabilité barotrope conduit à l'amplification des perturbations dans les écoulements cisailés à l'horizontale.
Modélisation numérique⁴	
Assimilation des données	Expliquer comment les informations provenant des réseaux et systèmes d'observation sont obtenues et préparées pour être utilisées dans un modèle de prévision numérique du temps.
	Expliquer les principes sur lesquels reposent l'analyse objective, l'assimilation des données (y compris l'assimilation variationnelle tridimensionnelle et quadridimensionnelle des données et les schémas hybrides, dont l'utilisation d'ensembles) et l'initialisation.
Modèles de prévision numérique du temps	Décrire les composantes d'un modèle de prévision numérique du temps, y compris le noyau dynamique, la paramétrisation des processus physiques et les questions de conditions aux limites, notamment l'interaction avec les modèles de l'océan ou des terres émergées.
	Expliquer la différence entre les types de modèle (par exemple, spectral ou à points de grille et hydrostatique ou non hydrostatique).

³ Voir les résultats connexes dans les systèmes et services météorologiques sur l'application de la théorie quasi géostrophique.

⁴ Voir les résultats proposés pour l'application de la prévision numérique du temps dans la section 2.4.3.

Points forts et points faibles de la prévision numérique du temps	Décrire les principales sources d'incertitude ou d'erreur pour ce qui concerne les modèles numériques atmosphériques et indiquer comment elles contribuent à limiter la capacité de prévision.
	Décrire la compétence type des modèles globaux, régionaux et d'échelle convective en termes d'échelle spatiale et temporelle des caractéristiques susceptibles d'être plus ou moins bien prévues selon un délai donné.
Ensembles	Expliquer les principes et les avantages d'une approche de modélisation d'ensemble.
	Expliquer la manière dont l'information de nature probabiliste est dérivée des ensembles, l'effet de la taille des ensembles et l'utilité et les limites de ces derniers dans la prévision des extrêmes.
	Décrire les applications des sorties des modèles d'ensembles à travers la gamme des échelles temporelles et spatiales.
	Interpréter une série de produits standard dérivés d'ensembles, par exemple la probabilité de dépassement des seuils cartographiée, les fonctions de distribution de probabilité et les données statistiques reportées sur un météogramme.
Prévisions infrasaisonniers à saisonnières	Expliquer la base scientifique des prévisions mensuelles/infrasaisonniers, saisonnières et intra-annuelles.
	Obtenir et utiliser les produits de prévision infrasaisonniers à saisonnières pour donner des orientations sur les impacts probables des régimes météorologiques prévus comme étant dominants et sur le degré de prévisibilité inhérent et la performance du système de prévision.
Réduction d'échelle	Décrire les techniques utilisées pour produire des informations régionales détaillées concernant l'atmosphère en se fondant sur les sorties de modèles globaux.
Post-traitement et applications	Décrire les techniques utilisées pour procéder au post-traitement des produits de la prévision numérique du temps (par exemple le filtrage de Kalman ou l'apprentissage automatique) et les avantages que procure leur utilisation.
	Décrire certaines des applications utilisant les produits de la prévision numérique du temps (comme les modèles des vagues, les modèles hydrologiques et les modèles de rendement des cultures).

2.4.3 **Systemes et services météorologiques**

Les résultats d'apprentissage de cette section visent à donner aux étudiants la capacité d'appliquer leurs connaissances en météorologie physique et dynamique aux systèmes météorologiques du monde réel, y compris la capacité d'analyser ces systèmes, de poser un diagnostic et d'établir des prévisions à leur sujet à l'aide de données d'observation et de la prévision numérique du temps. Ils permettent à tous les météorologistes d'établir des liens entre leur domaine de spécialité et les incidences des conditions météorologiques sur les personnes et la société.

Les deux premières sous-sections couvrent respectivement les systèmes de latitude moyenne et des régions polaires et les systèmes tropicaux. L'ensemble des résultats d'apprentissage présentés dans l'une ou l'autre de ces sections suffit donc à satisfaire aux exigences du PEB-M. De la même façon, la sous-section sur la météorologie de moyenne échelle devrait porter en priorité sur la zone de responsabilité et sur les phénomènes de moyenne échelle susceptibles d'y survenir. Cette démarche a pour objet de donner aux établissements et aux étudiants qui travailleront exclusivement sous les tropiques ou à des latitudes moyennes la possibilité de se concentrer uniquement sur les résultats pertinents pour leurs futures carrières et est conforme aux exigences des cadres de compétences de l'OMM s'y rapportant.

Néanmoins, même pour les cours exclusivement consacrés aux latitudes moyennes ou aux tropiques, il est recommandé que les étudiants soient au moins initiés à l'autre spécialité, afin qu'ils comprennent la nature et le langage de la météorologie mondiale, susceptible de servir de cadre à des études futures.

Les deux dernières sous-sections expliquent dans les grandes lignes comment le temps peut être observé, analysé et prévu. Toutefois, la seule obtention de ces résultats d'apprentissage ne permet pas à un étudiant d'être qualifié de spécialiste de la prévision météorologique, et ce n'est d'ailleurs pas le but recherché. Pour cela, les établissements chargés de former les prévisionnistes devraient se référer au *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209).

Les météorologistes doivent être capables de:

- D'appliquer des modèles conceptuels de phénomènes synoptiques, à moyenne échelle et à échelle convective pour intégrer les données d'observation et de prévision dans des structures cohérentes; d'expliquer la formation, l'évolution et les caractéristiques de ces phénomènes en se fondant sur leurs connaissances en météorologie physique et dynamique.
- De repérer les situations dans lesquelles les systèmes météorologiques du monde réel s'écartent des modèles conceptuels en utilisant leurs connaissances sur les limites des modèles et d'élucider les causes de ces écarts.
- De prévoir l'apparition de conditions météorologiques extrêmes ou dangereuses associées à des phénomènes synoptiques, à moyenne échelle ou à échelle convective et de surveiller les données d'observation afin de vérifier la pertinence des prévisions.
- De produire des analyses et des prévisions de base à partir de données d'observation et de prévision en temps réel ou historiques, notamment en matière de surveillance et d'observation du temps.
- De résumer le rôle des Services météorologiques nationaux et d'autres fournisseurs en s'appuyant sur la connaissance acquise des besoins de la société, de l'impact des phénomènes météorologiques violents, des produits et services destinés à répondre aux besoins des utilisateurs et des processus de gestion de la qualité.

Les indications du tableau 2.5 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en matière de systèmes et de services météorologiques, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 2.5. Résultats pédagogiques proposés pour les systèmes et services météorologiques

Systèmes météorologiques d'échelle synoptique aux latitudes moyennes et dans les régions polaires	
Systèmes météorologiques	Décrire l'état moyen et les principaux schémas de la variabilité atmosphérique dans les régions de latitudes moyennes et polaires et les expliquer sur le plan dynamique et physique, y compris les effets de la topographie.
	Résumer les principales différences entre les systèmes météorologiques tropicaux, d'une part, et les systèmes météorologiques des latitudes moyennes et polaires, d'autre part; expliquer les raisons de ces différences.
Masses d'air	Expliquer comment les masses d'air sont caractérisées et formées et comment leur température, leur humidité et leur stabilité sont modifiées lorsqu'elles s'éloignent de leur région d'origine.
	Appliquer les notions de caractéristiques et de modification des masses d'air pour prévoir l'évolution du temps local, en tenant compte des facteurs géographiques, diurnes et saisonniers.

Fronts	Décrire la structure et les caractéristiques des fronts froids, chauds, occlus et quasi stationnaires à l'échelle synoptique.
	Produire une analyse de la position et du mouvement d'un front en sélectionnant les informations pertinentes contenues dans les observations (<i>in situ</i> et télédéteectées) et les sorties de modèles.
	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, pourquoi les fronts observés diffèrent des fronts issus des modèles conceptuels idéalisés.
	Décrire les processus cinématiques et dynamiques conduisant à la frontogenèse et à la frontolyse, ainsi que les processus à l'origine de la frontogenèse en altitude.
Dépressions des latitudes moyennes	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, le cycle d'évolution des dépressions des latitudes moyennes selon le modèle de cyclone norvégien, et notamment la structure tridimensionnelle d'une dépression en développement et l'écoulement d'air dans la dépression.
	Identifier les bandes transporteuses chaudes et froides associées à une dépression des latitudes moyennes dans le cadre de référence relatif au système.
	Décrire les points faibles du modèle de cyclone de base et reconnaître les situations où des écarts par rapport au modèle ou l'utilisation d'autres modèles, tels que le modèle de Shapiro-Keyser ou les modèles hybrides, peuvent s'appliquer davantage.
	Expliquer, grâce aux connaissances acquises en matière de processus dynamiques, la cyclogenèse et les facteurs contribuant à une cyclogenèse explosive.
Systèmes météorologiques polaires	Expliquer les caractéristiques, la formation et les effets des systèmes météorologiques polaires, y compris des phénomènes tels que les vents catabatiques, les «barrier winds», le blocage d'air froid et les dépressions polaires.
Courants-jets et rapides de courants-jets	Expliquer, au moyen des notions de physique et de dynamique, le développement, la structure et l'impact des rapides de courants-jets et, à l'aide d'un modèle simple à quatre quadrants, le rapport entre les courants-jets et l'apparition ou la persistance de régimes de circulation aux latitudes moyennes.
Mouvements verticaux d'échelle synoptique ⁵ .	Expliquer le rôle des mouvements verticaux dans la nature et l'évolution des systèmes météorologiques à l'échelle synoptique.
	Diagnostiquer les mouvements verticaux d'échelle synoptique dans les systèmes météorologiques des latitudes moyennes à l'aide d'une technique appropriée (par exemple en examinant les mouvements agéostrophiques, en utilisant la théorie du développement de Petterssen ou de Sutcliffe, en appliquant l'équation en oméga quasi géostrophique sous sa forme traditionnelle ou sous forme de vecteur Q ou en utilisant le concept de tourbillon potentiel), en notant les points forts et les points faibles de la technique employée.
Incidences météorologiques	Décrire le temps, en mettant l'accent sur les conditions extrêmes ou dangereuses (telles que les tempêtes de vent, les fortes accumulations de précipitations et les vagues de froid ou de chaleur) qui peuvent être associées aux systèmes météorologiques des latitudes moyennes et polaires.
	Décrire les incidences probables de ces conditions, y compris les facteurs non météorologiques qui doivent être pris en compte lors des estimations de ces incidences et l'intérêt d'adopter une approche axée sur les impacts pour informer des dangers.
Limites des modèles conceptuels	Analyser des phénomènes météorologiques en cours et/ou du passé en vue de déterminer dans quelle mesure les théories et les modèles conceptuels concernant les systèmes météorologiques des latitudes moyennes et des régions polaires s'approchent de la réalité.

⁵ Voir les résultats connexes en météorologie dynamique sur les aspects théoriques de certains de ces sujets. La présente section vise à faire le lien entre les deux sections en présentant des résultats sur l'application de la théorie aux systèmes météorologiques des latitudes moyennes.

Systèmes météorologiques tropicaux et subtropicaux	
Circulation générale dans les tropiques	Décrire, à partir des principes de la physique et de la dynamique, l'état moyen et les modes dominants de la variabilité atmosphérique dans les tropiques en termes de variables pertinentes et expliquer comment et pourquoi ils diffèrent de ceux des latitudes plus élevées.
Principales perturbations tropicales	Décrire les principales perturbations tropicales et leur variabilité dans le temps, y compris la zone de convergence intertropicale (ZCIT), les ondes tropicales, l'inversion des alizés, les alizés, les courants-jets tropicaux et subtropicaux, les amas nuageux, les lignes de grains, les dépressions tropicales, les crêtes subtropicales et les anticyclones d'altitude.
Analyse des écoulements tropicaux	Décrire les techniques employées pour analyser les écoulements tropicaux, et notamment les lignes de courant et les isotaches, et déterminer les zones de convergence et de divergence.
Ondes tropicales	Décrire les divers types d'ondes tropicales (y compris les ondes de Kelvin-Helmholtz, les ondes équatoriales de Rossby et l'oscillation de Madden-Julian) et leurs rapports avec la convection organisée et la cyclogenèse.
Cyclones tropicaux	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, le développement, la structure, les caractéristiques et les impacts des cyclones tropicaux.
	Décrire le système mondial en place pour la prévision et la diffusion d'avis en ce qui concerne les cyclones tropicaux et leurs impacts.
Moussons	Décrire la nature, les caractéristiques et les impacts des principales circulations de la mousson.
	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, la structure et les caractéristiques des moussons et les principaux processus dynamiques qui régissent leur développement.
Couplage océan-atmosphère	Décrire le rôle du couplage océan-atmosphère, y compris sa base théorique, en mettant l'accent sur le phénomène El Niño-oscillation australe (ENSO).
Incidences météorologiques	Décrire le temps, en mettant l'accent sur les conditions météorologiques extrêmes ou dangereuses (y compris les cyclones tropicaux et les moussons) qui peuvent être associées aux systèmes météorologiques tropicaux.
	Décrire les incidences probables de ces conditions, y compris les facteurs non météorologiques qui doivent être pris en compte lors des estimations de ces incidences et l'intérêt d'adopter une approche axée sur les impacts pour informer des dangers.
Limites des modèles conceptuels	Analyser des phénomènes météorologiques en cours, récents et/ou du passé en vue de déterminer dans quelle mesure les théories et les modèles conceptuels concernant les systèmes météorologiques tropicaux s'approchent de la réalité.
Systèmes météorologiques de moyenne échelle	
Systèmes de moyenne échelle	Décrire les échelles spatiale et temporelle associées à des phénomènes de moyenne échelle et les différences des processus dynamiques qui régissent les systèmes de moyenne échelle et d'échelle synoptique.
Caractéristiques de moyenne échelle associées aux dépressions	Décrire les caractéristiques de moyenne échelle associées aux dépressions (bandes de pluie, lignes sèches, fronts de rafales et lignes de grains).
Ondes de gravité	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, la structure et la formation des ondes de gravité à moyenne échelle.
Systèmes de convection	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, la structure, les caractéristiques et la formation des phénomènes de convection isolée, y compris les tempêtes monocellulaires, multicellulaires et supercellulaires et les mésocyclones.
Systèmes convectifs de moyenne échelle	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, la structure et la formation des systèmes convectifs de moyenne échelle.
Phénomènes orographiques de moyenne échelle	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, la structure et la formation des phénomènes orographiques de moyenne échelle (ondes sous le vent, tourbillons d'aval, vents ascendants et descendants, brises de vallée, écoulements dans les cols, cyclones sous le vent, etc.).

Conditions météorologiques extrêmes	Décrire le temps, en particulier les conditions extrêmes ou dangereuses qui peuvent être associées aux phénomènes convectifs et de moyenne échelle dans la région considérée, ainsi que l'impact probable de ces conditions.
Limites des modèles conceptuels	Analyser des phénomènes météorologiques récents et/ou du passé en vue de déterminer dans quelle mesure les théories et les modèles conceptuels concernant les phénomènes convectifs et de moyenne échelle s'approchent de la réalité.
Observation, analyse et diagnostic du temps	
Surveillance et observation du temps	Surveiller le temps, notamment en effectuant des observations en surface de base au moyen d'instruments et d'évaluations visuelles (pour identifier en particulier les types de nuages, la nébulosité, la visibilité et le type de temps) et expliquer les motifs de ces évaluations.
	Décrire les causes physiques sous-jacentes des phénomènes météorologiques observables depuis la surface de la Terre.
Traitement des observations	Indiquer comment et pourquoi les observations font l'objet d'un contrôle de la qualité, puis sont codées et transmises.
Analyse et interprétation synoptiques	Analyser et interpréter les cartes synoptiques et les sondages tracés sur des diagrammes thermodynamiques.
	Décrire les limites des observations utilisées dans les analyses synoptiques et celles des analyses globales et régionales produites par des systèmes opérationnels d'assimilation des données.
Interprétation des données radar	Interpréter des images radar courantes, en utilisant notamment des accentuations et des images animées pour repérer les caractéristiques associées à des processus convectifs et de moyenne échelle.
Interprétation des images satellitaires	Interpréter des images satellitaires, en utilisant notamment des longueurs d'ondes courantes, des accentuations et des images animées pour déterminer les types de nuages et leur configuration, les systèmes synoptiques et de moyenne échelle et d'autres phénomènes (brouillard, cendres volcaniques, poussière, incendies, etc.).
Intégration de données traditionnelles et de télédétection	Intégrer les données de télédétection avec les observations traditionnelles pour repérer des systèmes synoptiques et de moyenne échelle et établir un diagnostic météorologique en reliant les caractéristiques propres aux diverses sources de données.
Prévision du temps	
Évolution locale du temps	Décrire les facteurs qui influent sur l'évolution locale du temps (par exemple les effets de l'orographie et des grandes masses d'eau sur les nuages et les précipitations ou les effets des divers types de sols).
Processus de prévision	Décrire les principaux éléments du processus de prévision, à savoir l'observation, l'analyse, le diagnostic, le pronostic, l'élaboration des produits, leur transmission et leur vérification.
Types de méthodes de prévision	Expliquer les avantages et les inconvénients de l'élaboration de prévisions fondées sur la persistance, la climatologie, l'extrapolation, les techniques empiriques et la PNT.
	Décrire le rôle du prévisionniste et la façon dont il a évolué grâce à la PNT et à d'autres innovations.
Prévision immédiate	Utiliser des données d'observation à haute résolution spatiale et temporelle, et des systèmes de télédétection en particulier, avec des modèles conceptuels pour assurer la détection et la prévision immédiate de phénomènes météorologiques à fort impact. ⁶
Modèles conceptuels	Appliquer des modèles conceptuels pour faire des prévisions à courte échéance et interpréter des prévisions à plus long terme, en prenant note des systèmes du monde réel qui ne se conforment pas toujours à ces modèles.

⁶ Les *Guidelines for Nowcasting Techniques* (WMO-No. 1198) détaillent les connaissances et la formation requises pour la prévision immédiate et devraient être consultées lors de la conception de programmes destinés à former les prévisionnistes.

Prévision pratique	Regrouper des informations de diverses sources pour expliquer les conditions météorologiques actuelles; utiliser des techniques de prévision de base, y compris l'interprétation des produits de la PNT, pour prévoir des variables atmosphériques en un lieu donné (comme les températures minimale et maximale, le vent et le type et l'intensité des précipitations).
	Déterminer les principales sources d'incertitude d'une prévision donnée et la manière dont celles-ci peuvent évoluer au fur et à mesure que des données supplémentaires deviennent disponibles dans des délais plus courts.
	Combiner les données de prévision avec la connaissance des vulnérabilités des utilisateurs pour déterminer les incidences potentielles et estimer l'ampleur et la probabilité de ces incidences.
Prestation de services	
Prestataires de services	Décrire le rôle des SMHN dans la surveillance et la prévision du temps et de ses impacts et dans la communication d'informations à ce sujet.
	Décrire le rôle des autres prestataires, y compris le secteur privé et les organisations internationales.
Prestation de services	Communiquer les informations météorologiques en tenant compte des besoins des utilisateurs et du niveau de leurs connaissances météorologiques.
	Opter pour une approche déterministe ou une approche probabiliste en fonction des délais, de l'incertitude de la situation et des besoins des utilisateurs.
Principaux produits et services	Décrire les principaux produits et services (y compris les avis de conditions météorologiques dangereuses) en se fondant sur les informations concernant la situation météorologique actuelle et prévue transmises au grand public et aux autres utilisateurs.
	Décrire la série de canaux de communication ou de médias utilisés pour diffuser les informations météorologiques, y compris les points faibles potentiels de ces méthodes.
	Indiquer comment les produits et services sont utilisés par le public, les gouvernements, les entreprises et autres utilisateurs finaux (par exemple pour la prise de décisions et la gestion des risques).
Phénomènes météorologiques dangereux	Indiquer dans quelle mesure les systèmes météorologiques dangereux qui influent sur la zone de responsabilité peuvent être prévus suffisamment tôt pour que des mesures soient prises.
	Expliquer l'importance d'évaluer les risques liés aux phénomènes météorologiques dangereux, y compris les interactions des conditions météorologiques et d'autres aléas naturels, et de diffuser des alertes rapides et fiables.
	Expliquer les avantages de la diffusion d'alertes fondées sur les incidences potentielles des phénomènes météorologiques dangereux plutôt que sur l'intensité de ces phénomènes.
	Décrire les incidences potentielles des phénomènes météorologiques dangereux sur la société.
Systèmes de gestion de la qualité ⁷	Expliquer le rôle et l'importance d'un système de gestion de la qualité (SGQ) dans la prestation de services.
	Décrire les techniques de base utilisées dans les systèmes de gestion de la qualité pour évaluer la qualité des produits et des services et remédier aux problèmes détectés.
Coûts et avantages des services météorologiques	Déterminer l'impact économique et social que les services météorologiques ont sur un pays et sur les principaux secteurs qui les utilisent.

⁷ Pour de plus amples informations sur la formation en maintenance des systèmes de gestion de la qualité, voir le *Guide sur la mise en œuvre de systèmes de gestion de la qualité pour les Services météorologiques et hydrologiques nationaux et autres prestataires de services concernés* (OMM-N° 1100).

2.4.4 **Sciences du climat et services climatologiques**

Le changement climatique est l'enjeu décisif de notre époque, et c'est un sujet sur lequel les météorologistes professionnels de tous types doivent se pencher d'une manière ou d'une autre. En outre, le rôle des prévisionnistes continue de s'amplifier et englobe désormais la fourniture de prévisions à plus long terme, y compris des prévisions mensuelles et saisonnières.

Les résultats d'apprentissage de cette section du PEB-M ne sont pas destinés à doter les apprenants de toutes les connaissances et compétences attendues d'un climatologue ou d'un chercheur en climatologie professionnel. Le module distinct qui est en cours de préparation sous le nom de Programme d'enseignement de base pour les services climatologiques (PEB-SC) devrait être consulté lors de la préparation de cours dans ce domaine. Ces résultats visent à garantir que tous les météorologistes possèdent les connaissances de base voulues sur le système climatique de la Terre, sa variabilité et son changement, afin de pouvoir tenir un discours crédible sur le climat, utiliser à bon escient les produits de prévision à long terme et les communiquer avec clarté aux clients.

Les météorologistes doivent être capables:

- D'appliquer des modèles conceptuels de la circulation générale de la Terre, du système climatique et des interactions de la Terre, de l'océan, de l'atmosphère et de la cryosphère pour expliquer l'état moyen du climat.
- D'interpréter des produits et services fondés sur les informations climatologiques, en tenant compte de l'incertitude qui les caractérise.
- De décrire la variabilité observée du système climatique et les causes et impacts de cette variabilité; d'utiliser ces connaissances pour interpréter des produits tels que les prévisions climatiques et les prévisions mensuelles à saisonnières.
- De communiquer les résultats de prévisions mensuelles, saisonnières et climatiques fondées sur une compréhension appropriée de la probabilité, de l'incertitude et de la prévisibilité à différentes échelles, ainsi que des divers degrés de sensibilité du public.
- D'expliquer les changements à long terme du système climatique en utilisant leurs connaissances en matière d'observation de cette évolution et de détermination des facteurs de changement, y compris les rétroactions au sein du système, des incidences potentielles du changement climatique et des stratégies possibles d'adaptation et d'atténuation.

Les indications du tableau 2.6 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en matière de science du climat et de services climatologiques, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 2.6. Résultats pédagogiques proposés pour la science du climat et les services climatologiques

Le système Terre-atmosphère et la circulation générale	
Éléments du système Terre	Décrire les principaux éléments du système Terre (atmosphère, océans, terres émergées, cryosphère et solide terrestre).
Climat et temps	Décrire le climat et indiquer en quoi il diffère du temps qu'il fait.
Données climatologiques	Décrire la manière dont le climat est étudié et l'incertitude inhérente aux données climatologiques; expliquer comment les données climatologiques sont analysées au moyen de méthodes statistiques et comment le climat peut être mesuré à l'aide de données de télédétection.
Éléments du système climatique	Décrire les principales caractéristiques du cycle de l'énergie, du cycle hydrologique, du cycle du carbone et du cycle de l'azote.

Caractéristiques de la circulation générale	Expliquer les principales caractéristiques de la circulation générale de l'atmosphère et des océans en analysant les processus physiques et dynamiques impliqués.
	Décrire le bilan énergétique mondial et le rôle de l'atmosphère et des océans dans l'équilibre des différences de chauffage radiatif entre l'équateur et les pôles.
Climats régionaux et locaux	Passer en revue les facteurs qui déterminent les climats régionaux et locaux.
Classification et description des climats	Présenter les techniques de classification des climats et les principes qui sous-tendent ces techniques, et préciser la signification et l'utilisation des variables statistiques standard employées pour décrire le climat.
Climat local	Décrire la climatologie et les variations saisonnières de la zone de responsabilité, ainsi que la façon d'obtenir et de présenter des informations climatologiques.
	Extraire des informations des tableaux et graphiques de données climatologiques de base et les interpréter pour formuler une description d'une climatologie locale sous forme de moyenne, d'écart et d'extrêmes.
Principaux produits et services	Décrire les principaux produits et services en se fondant sur les informations climatologiques transmises au public et aux autres utilisateurs.
	Décrire les incertitudes inhérentes à ces produits et services et indiquer la manière dont ils sont utilisés (par exemple pour la prise de décisions et la gestion des risques).
Variabilité du climat et changement climatique	
Données sur l'évaluation des variations du climat	Décrire la source et le traitement des données utilisées pour reconstituer des paléoclimats et pour évaluer les changements dans le climat et la composition de l'atmosphère.
Variations climatiques observées	Indiquer comment le climat a changé ces dernières années compte tenu des changements qui se sont produits plus généralement par le passé et décrire les techniques utilisées pour en attribuer les causes.
Interactions atmosphère-océan	Décrire les différentes façons dont l'atmosphère et les océans s'influencent mutuellement.
Variabilité du climat	Expliquer, au moyen des principes de la physique et de la dynamique, les causes de la variabilité du climat d'origine interne (en donnant des exemples de téléconnexions, d'anomalies et des effets climatiques de grands facteurs déterminants tels que l'oscillation de Madden-Julian, l'oscillation nord-atlantique et le phénomène El Niño-oscillation australe).
Changement climatique	Expliquer, à partir des principes de la physique et de la dynamique, les causes du changement climatique dû à un forçage externe (y compris l'influence des activités humaines), ainsi que les sources d'incertitude dans la compréhension de ces causes.
Impact, adaptation et atténuation	Déterminer les principaux impacts de la variabilité et de l'évolution du climat et exposer les grandes lignes des stratégies d'adaptation et d'atténuation qui sont adoptées pour faire face aux changements climatiques en cours et projetés.
Modèles climatiques	Expliquer les différences entre les modèles climatiques et les modèles utilisés pour les prévisions météorologiques; expliquer pourquoi les prévisions climatiques comportent nécessairement une part d'incertitude.
	Décrire comment les prévisions climatiques peuvent être vérifiées; expliquer pourquoi il existe des différences entre les prévisions intra-annuelles statistiques et les prévisions des modèles climatiques.

2.5 Résultats de l'apprentissage professionnel

La présente section présente des propositions de résultats d'apprentissage visant à favoriser l'acquisition de plusieurs des résultats d'apprentissage généraux et donc à doter les météorologistes des compétences professionnelles fondamentales dont ils ont besoin au début de leur carrière. Les résultats énumérés ci-dessous ne sont pas exhaustifs, et les établissements doivent tenir compte des besoins nationaux et régionaux en ressources humaines. Les résultats

mentionnés dans cette section ne sont pas non plus obligatoires; ils ont simplement vocation à servir de guide vers certaines des connaissances qui pourraient être nécessaires dès aujourd'hui ou à l'avenir.

2.5.1 **Compétences en matière de gestion**

Les établissements sont encouragés à offrir des possibilités d'enseignement général en matière de commerce et de gestion dans le cadre d'un programme global de météorologie. La publication intitulée «Compendium of Topics to Support Management Development in National Meteorological and Hydrological Services (ETR-24)» (Organisation météorologique mondiale, 2018a) propose des thèmes qu'il serait judicieux d'intégrer dans ces cours.

2.5.2 **Communication et travail en équipe**

La capacité de communiquer les prévisions, les incidences et les résultats de la recherche à un large public figure dans plusieurs résultats d'apprentissage présentés dans les sections du PEB-M consacrées aux systèmes météorologiques et au climat. La liste ci-dessous dresse une description plus détaillée de ces compétences en matière de communication et de travail en équipe et jette les bases de l'apprentissage et de l'évaluation en la matière.

Après avoir atteint les résultats d'apprentissage correspondant aux compétences en matière de communication, les apprenants devraient pouvoir:

- Communiquer des renseignements météorologiques sous la forme d'échanges sur les stratégies prévisionnelles et d'exposés sur le transfert de responsabilités qui sont axés sur les impacts et qui utilisent l'approche en entonnoir des prévisions.
- Recenser les principales sensibilités des clients à l'égard du temps et du climat et organiser des séances d'information sur mesure, axées sur les impacts, les incertitudes, la confiance et l'aide à la prise de décisions.
- Organiser des conférences de presse et mener des campagnes de sensibilisation en employant un langage simple, des sujets porteurs et une documentation qui transmette des messages clés⁸.
- Engager le dialogue avec les clients et les collègues en utilisant le ton et le langage corporel qui conviennent le mieux et en faisant preuve d'empathie.
- Produire des documents écrits clairs et concis.
- Partager efficacement leurs connaissances et travailler en équipe de façon constructive.

Les indications du tableau 2.7 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études.

Tableau 2.7. Propositions de résultats d'apprentissage en communication pour la météorologie opérationnelle

Exposés météorologiques axés sur les impacts	
Résumer les observations météorologiques	Résumer les principaux phénomènes météorologiques passés et présents, ainsi que leurs impacts.
Décrire la situation actuelle	Présenter un descriptif cohérent des conditions météorologiques passées et présentes, en utilisant l'approche en entonnoir des prévisions et les modèles conceptuels atmosphériques.

⁸ L'OMM a donné des indications détaillées sur les compétences particulières des radiodiffuseurs et des communicants dans le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209).

Résumer les produits actuels	Résumer, de manière précise et concise, le contenu de la procédure actuelle en matière de prévision, des produits de prévision et des alertes.
Établir un pronostic	Faire la synthèse des futures conditions météorologiques à fort impact et dangereuses, y compris les alertes requises.
	Présenter un descriptif météorologique cohérent de l'évolution future de l'atmosphère, en utilisant l'approche en entonnoir des prévisions et les modèles conceptuels.
	Débattre des incertitudes, de la confiance et des scénarios alternatifs.
Mode de prestation	Intervenir en temps voulu et faire preuve de concision.
	Varié de ton et de voix pour capter l'intérêt des collègues.
	Employer les techniques d'écoute active pour s'assurer que les informations ont été efficacement communiquées et que le personnel est conscient de ses responsabilités.
Séances d'information et aide à la décision pour les clients	
Évaluer les besoins des clients	Apprendre à connaître les besoins des clients au moyen d'échanges interactifs.
	Faire des recherches sur les activités des clients, y compris les normes et procédures opérationnelles, sur leurs sensibilités au plan météorologique et climatique et sur les principaux seuils de décision.
Fournir des exposés prévisionnels sur mesure	Fournir un exposé météorologique axé sur les impacts à l'appui de la prise de décisions des clients en s'appuyant sur la connaissance de leurs besoins.
	Utiliser un langage et des modèles conceptuels de la météo adaptés aux connaissances météorologiques des clients et à la durée de l'exposé.
	Présenter des exposés en utilisant la voix et le ton les mieux adaptés tout en manifestant de l'empathie de manière à pouvoir engager le dialogue avec les clients et répondre à leurs besoins.
Ajouter de la valeur aux produits actuels	Expliquer la procédure de prévision actuelle, les alertes et les prévisions destinées aux clients en fonction de leurs besoins.
	Expliquer l'incertitude des prévisions et les scénarios de rechange fondés sur la compréhension des modèles conceptuels et des sensibilités diverses des clients.
Points de presse et sensibilisation de la population	
Préparation	Déterminer l'angle d'approche recherché ou l'objectif de l'activité de sensibilisation.
	Utiliser la pyramide inversée pour centrer le point de presse sur les informations essentielles et tenir compte des préoccupations ou intérêts clés du public cible.
	Recenser les questions difficiles et s'y préparer, en évitant les sujets controversés le cas échéant.
	Utiliser ou développer des points de discussion permettant d'accorder un entretien personnalisé aux médias.
Compétences linguistiques	Traduire la terminologie météorologique dans un langage simple.
	Adapter le ton ou la voix pour exprimer de l'empathie et susciter l'intérêt des auditeurs.
Langage corporel	Utiliser le contact visuel et le langage corporel pour exprimer l'empathie et susciter l'intérêt des auditeurs.
Compétences rédactionnelles	
Documents de prévision et d'alerte	Préparer des documents écrits, y compris des prévisions, des messages d'alerte, des exposés et des points de discussion.
	Utiliser un langage technique ou simplifié selon les besoins des clients et des collègues.
	Modifier le texte généré graphiquement et automatiquement pour qu'il soit clair et précis.

Médias sociaux	Composer de courts messages axés sur les impacts en employant un langage simple, clair et concis, des images et des liens vers les alertes et les prévisions.
	Rédiger des réponses aux commentaires en mettant l'accent sur le descriptif météorologique, en évitant les sujets controversés et en respectant les valeurs des SMHN et le code de conduite.

2.5.3 **Technologies de l'information**

La capacité d'extraire et de présenter des informations utiles et fiables à partir de données météorologiques est depuis toujours l'une des compétences essentielles des météorologistes. Ces dernières années, le Volume des données d'observation et de prévision produites a augmenté de façon spectaculaire, ce qui soulève certains problèmes mais offre aussi des opportunités. Pour exploiter ces données, de nombreux météorologistes doivent désormais posséder des compétences en programmation informatique et en manipulation et visualisation des données, ainsi que des connaissances concernant l'application des techniques d'apprentissage automatique.

Au titre de ces résultats, l'étudiant doit être capable:

- De se procurer, de manipuler et de visualiser des données météorologiques dans des formats variés.
- D'utiliser des outils statistiques pour extraire des informations utiles des données.
- De comprendre comment les techniques d'apprentissage automatique sont utilisées pour construire des modèles prédictifs simples du temps, du climat et de leurs impacts.

Le tableau 2.8 énumère les résultats d'apprentissage proposés pour l'utilisation des technologies de l'information.

Tableau 2.8. Résultats d'apprentissage proposés pour l'utilisation des technologies de l'information

Compétences informatiques de base	Écrire des séquences de commandes en langage naturel simples pour automatiser des processus et combiner les fonctionnalités de plusieurs programmes en vue d'accomplir certaines tâches.
	Utiliser la ligne de commande pour interagir avec le système d'exploitation, notamment en ce qui concerne l'exécution des programmes et la gestion des fichiers et des processus.
	Utiliser des logiciels de traitement de texte, des logiciels tableurs et des logiciels de présentation.

Programmation	Écrire des programmes simples dans un langage de programmation de haut niveau, en utilisant notamment des fonctionnalités telles que les variables, les boucles, le contrôle de flux, les entrées et sorties de fichiers et la ligne de commande.
	Utiliser des traits de langage tels que les fonctions pour structurer le code de manière efficace en le réutilisant.
	Utiliser les fonctionnalités fournies par les bibliothèques de langage standard ou importées de bibliothèques spécialisées.
	Utiliser des tableaux et des opérateurs de tableau à partir de bibliothèques mathématiques standard et expliquer les avantages de l'utilisation d'opérateurs de tableau par rapport à l'itération sur des jeux de données.
	Vérifier et traiter les erreurs et exceptions à l'aide de traits de langage standard.
	Utiliser le cycle de vie propre au développement de logiciels pour s'assurer que les exigences sont bien comprises et que le code est convenablement conçu et mis en œuvre, documenté, examiné par les pairs et testé.
	Utiliser un système de contrôle des versions pour maintenir l'intégrité du code et faciliter le travail collaboratif.
Données météorologiques	Décrire et comparer les formats de fichiers courants utilisés pour le stockage des données météorologiques, y compris les formats textuels et binaires.
	Expliquer l'importance de conserver les métadonnées et de bien comprendre la provenance, la validité et les unités des données.
	Utiliser des bibliothèques standard pour charger, naviguer et manipuler des données météorologiques structurées.
Visualisation	Reporter des données en utilisant des types de graphiques qui présentent clairement et sans ambiguïté les informations qui en sont tirées, y compris les graphiques linéaires, les diagrammes de dispersion et les histogrammes.
	Ajouter des titres, des axes, des étiquettes de données et autres caractéristiques standard pour garantir la compréhension des données.
	Veiller à ce que les communications visuelles soient conviviales et conformes aux besoins des utilisateurs, par exemple en choisissant des gammes de couleurs homogènes.
	Reporter des données géospatiales à l'aide de symboles, de courbes de niveau ou d'un maillage de couleurs avec une projection cartographique, une échelle et une gamme de couleurs appropriées.
Calculs statistiques	Utiliser des outils de programmation tels que des bibliothèques mathématiques pour calculer des paramètres et des analyses statistiques standard permettant de résumer et de comparer les données.
	Appliquer des techniques, notamment les transformées de Fourier et les fonctions orthogonales empiriques, pour réduire la dimensionnalité des jeux de données et découvrir des signaux temporels dans les séries chronologiques.

Apprentissage automatique	Décrire toutes les étapes nécessaires à la transformation des données brutes aux fins d'analyse, y compris le nettoyage, la conversion des unités, la normalisation et la catégorisation.
	Diviser les données en un ensemble d'apprentissage et un ensemble de tests et expliquer les raisons de cette initiative.
	Expliquer les algorithmes d'apprentissage automatique supervisé et non supervisé et choisir un dispositif approprié pour un problème donné.
	Expliquer les principes de la régression linéaire supervisée et des schémas de classification et les appliquer aux données pour produire des modèles prédictifs simples.
	Décrire comment des algorithmes simples d'apprentissage automatique non supervisé, tels que les classificateurs des plus proches voisins, peuvent être utilisés pour classer des données.
	Décrire comment des algorithmes tels que les réseaux de neurones peuvent être utilisés pour élaborer des modèles non linéaires.
	Expliquer pourquoi les problèmes de biais et de variance se posent, quelles stratégies existent pour les atténuer et quelles sont les incidences possibles sur les applications de prévisions météorologiques et climatiques.
	Décrire les problèmes éthiques ou juridiques pouvant découler de l'utilisation de techniques d'apprentissage automatique, comme l'exploitation de données personnelles ou la difficulté à expliquer les décisions prises par les algorithmes.

2.5.4 **Compétences en matière de recherche**

De nombreux programmes de premier cycle comprennent un module cadre au cours duquel les étudiants effectuent quelques recherches indépendantes, souvent présentées sous la forme d'un mémoire. Cette expérience constitue indéniablement un socle utile pour un enseignement plus poussé des méthodes de recherche au cours des études universitaires supérieures. Quant aux autres étudiants, ces compétences acquises pour effectuer de la recherche fondamentale indépendante pourraient se révéler utiles tout au long de leur carrière, en favorisant leur perfectionnement professionnel continu et en les aidant à préparer des études de cas ou du matériel de formation.

Le tableau 2.9 énumère les résultats d'apprentissage proposés en matière de recherche fondamentale et de communication scientifique.

Tableau 2.9. Résultats d'apprentissage proposés en matière de recherche fondamentale et de communication scientifique

Planification et conception de la recherche	
Recherche documentaire et lecture de la littérature scientifique	Planifier et conduire une recherche documentaire en utilisant diverses sources. Utiliser les services de bibliothèque pour faciliter le processus de recherche documentaire. Utiliser différents types de ressources, tels que des articles de synthèse, des articles d'opinion, des travaux de recherche originaux et des livres.
	Évaluer le contexte, la fiabilité, la partialité, les conflits d'opinion et la validité des conclusions des publications consultées.
	Résumer et évaluer de manière critique les arguments, les résultats et les conclusions.
	Recenser les aspects lacunaires de la recherche existante ou les domaines où des recherches supplémentaires pourraient s'avérer utiles.

Conception et exécution de la recherche	Planifier et conduire une recherche documentaire en utilisant diverses sources. Utiliser les services de bibliothèque pour faciliter le processus de recherche documentaire. Utiliser différents types de ressources, tels que des articles de synthèse, des articles d'opinion, des travaux de recherche originaux et des livres.
	Évaluer le contexte, la fiabilité, la partialité, les conflits d'opinion et la validité des conclusions des publications consultées.
	Résumer et évaluer de manière critique les arguments, les résultats et les conclusions.
	Recenser les aspects lacunaires de la recherche existante ou les domaines où des recherches supplémentaires pourraient s'avérer utiles.
	Planifier et conduire une recherche documentaire en utilisant diverses sources. Utiliser les services de bibliothèque pour faciliter le processus de recherche documentaire. Utiliser différents types de ressources, tels que des articles de synthèse, des articles d'opinion, des travaux de recherche originaux et des livres.
	Évaluer le contexte, la fiabilité, la partialité, les conflits d'opinion et la validité des conclusions des publications consultées.
Communication scientifique⁹	
Rédaction d'articles	Adopter une stratégie permettant de développer une structure ou un plan d'article qui présente de manière efficace les résultats de la recherche, tout en intégrant les éléments structurels standard attendus dans un article.
	Produire des textes, des tableaux, des figures et des légendes associées qui soient clairs, lisibles et efficaces.
	Citer tous les ouvrages mentionnés ou cités en utilisant un schéma approuvé.
Examen critique par les pairs	Se préparer à l'examen par les pairs en maîtrisant le processus et en faisant appel à des collègues, des éditeurs, etc. pour vérifier si l'article satisfait aux normes requises.
	Répondre positivement aux commentaires des spécialistes chargés de l'examen critique et élaborer un plan pour apporter d'éventuelles corrections ou intégrer les améliorations suggérées.
Exposés scientifiques	Déterminer les possibilités de parler du travail scientifique dans le cadre d'événements informels ou plus formels, tels que des séminaires et des conférences internes.
	Élaborer des aides visuelles claires pour aider le public à voir et à comprendre un exposé, plutôt que de le distraire avec trop de texte ou une présentation trop confuse.
	S'entraîner à faire des exposés oralement afin d'acquérir la clarté, le Volume, le rythme, le choix du bon moment et la capacité de faire face aux questions et aux imprévus.
	Élaborer une affiche résumant les éléments clés de la recherche de façon claire et accessible.

2.5.5 ***Le contexte historique et scientifique de la météorologie***

Pour favoriser la formation continue tout au long d'une carrière en météorologie et faciliter l'intégration de la météorologie avec les sciences connexes, il est recommandé qu'un programme d'études englobe les sujets suivants:

- L'évolution passée des progrès réalisés dans les sciences, les techniques et la prestation de services qui ont contribué au développement de la météorologie et de ses applications.
- Les enjeux contemporains de la météorologie et les innovations scientifiques et technologiques émergentes susceptibles d'influencer l'évolution requise de la recherche ou des activités d'exploitation.

⁹ Pour plus de détails sur la communication scientifique, voir, par exemple, Schultz (2009).

- Les avancées dans des domaines connexes qui peuvent favoriser les rapprochements interdisciplinaires visant à résoudre des problèmes au profit de la société.

2.6 **Spécialisations sélectives**

Comme indiqué à la section 1.6 («Structure du PEB-M et du PEB-TM»), les connaissances et les compétences sous-jacentes qui permettent aux météorologistes de développer les aptitudes et les compétences nécessaires pour les spécialisations sélectives sont tirées des résultats d'apprentissage décrits précédemment dans la partie 2 et des cadres de compétences correspondant à chaque spécialisation. Nombre de ces compétences sont décrites dans le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209)

Les personnes qui souhaitent travailler dans des domaines tels que la prévision du temps, la météorologie radiodiffusée et la formation météorologique devront suivre une formation complémentaire pour acquérir les compétences professionnelles requises. Elles doivent également poursuivre leur perfectionnement en suivant un processus de formation continue tout au long de leur carrière.

3. **PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT DE BASE POUR LES TECHNICIENS EN MÉTÉOROLOGIE**

Cette partie du document contient des indications sur la façon de mettre en œuvre les résultats d'apprentissage du PEB-TM qui figurent dans le *Règlement technique* (OMM-N° 49). Elle débute par un aperçu des objectifs du PEB-TM, suivi d'une définition des résultats d'apprentissage correspondant aux sujets fondamentaux. Elle est ensuite consacrée aux résultats d'apprentissage correspondant aux sujets obligatoires de météorologie générale et aux connaissances et compétences de base que les techniciens en météorologie peuvent utiliser pour développer les aptitudes et compétences nécessaires aux spécialisations sélectives.

Le PEB-TM a pour objectif global d'inculquer aux participants des connaissances de base sur les phénomènes et processus atmosphériques ainsi que des compétences s'y rapportant.

Pour satisfaire aux exigences du PEB-TM, les participants doivent atteindre des résultats d'apprentissage dans les domaines suivants:

- Géographie et océanographie de base, hydrologie de base, météorologie physique et dynamique de base, météorologie synoptique et à moyenne échelle de base, climatologie mondiale et locale, formation des nuages, communication (orale et écrite), compétences informatiques (connaissances informatiques de base et utilisation des informations météorologiques), paramètres météorologiques et contrôle de la qualité des données climatologiques, instruments et méthodes d'observation météorologiques.
- L'application des connaissances de base à l'observation et à la surveillance de l'atmosphère et à l'interprétation de diagrammes et de produits météorologiques d'usage courant.
- L'acquisition d'au moins un sujet de spécialisation sélective.

Le PEB-TM vise à inculquer aux participants les connaissances, les aptitudes et la confiance nécessaires au développement de leur savoir-faire et à leur spécialisation ultérieure.

Les personnes qui souhaitent travailler dans des domaines tels que l'observation du temps, la surveillance du climat, la gestion de réseaux ou la fourniture d'informations et de produits météorologiques aux utilisateurs doivent suivre un enseignement et une formation complémentaires pour acquérir les compétences professionnelles requises. Elles doivent également poursuivre leur perfectionnement en suivant un processus de formation continue tout au long de leur carrière.

3.1 **Interprétation**

Dans ce chapitre, tout texte figurant dans un encadré grisé comme celui-ci comprend des extraits à inclure dans la prochaine édition du Règlement technique (OMM-N° 49), Volume I, partie VI. Il a la valeur réglementaire de pratiques et procédures normalisées.

La suite de la partie 3 comprend un descriptif et des propositions de résultats d'apprentissage. Les résultats sont destinés à aider les Membres de l'OMM à mettre en œuvre le PEB-TM, mais n'ont aucune valeur réglementaire.

3.2 **Résultats d'apprentissage généraux**

La présente section décrit les attributs et les compétences clés qui distinguent les techniciens en météorologie professionnels, quel que soit le rôle qu'ils sont amenés à jouer. Ces résultats d'apprentissage généraux ont également pour fonction de résumer la philosophie générale du PEB-TM en décrivant comment les techniciens en météorologie pensent et comment ils utilisent les données et les outils dont ils disposent à des fins professionnelles.

Les résultats présentés ici n'ont pas pour but de décrire un rôle spécifique et ne font aucune suggestion quant au contexte dans lequel une personne pourrait finalement être employée. Ils ne sont pas nécessairement destinés à correspondre point par point aux modules ou aux unités d'études. Ils devraient plutôt imprégner l'ensemble d'un programme d'études et servir à l'évaluer afin de s'assurer que les unités d'études individuelles contribuent aux objectifs plus larges du programme, à savoir l'intégration de la réflexion et de la pratique météorologiques et l'établissement de liens entre la théorie, l'atmosphère réelle et la prestation de services scientifiques et professionnels au profit de la société.

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

- D'appliquer leurs connaissances de base en météorologie, en géographie et en sciences connexes pour observer et surveiller l'atmosphère.
- D'interpréter les sources de données observationnelles disponibles et les diagrammes et produits météorologiques d'usage courant pour fournir des descriptions cohérentes de l'état de l'atmosphère aux échelles spatiales et temporelles considérées.
- De recenser, d'analyser et de résoudre les problèmes liés à la mise en place et à la maintenance des instruments météorologiques dans la zone de responsabilité.
- De communiquer, par l'intermédiaire de différents moyens d'information, avec les collègues, les clients et d'autres parties prenantes avec pertinence, clarté et précision.
- De déterminer la sensibilité de la société aux phénomènes météorologiques et climatiques, en s'appuyant sur d'autres disciplines si nécessaire, afin de s'assurer que les incidences du temps et du climat sur les personnes et la société sont au cœur de leur travail.
- D'évaluer les produits de leur travail selon des normes appropriées, de prendre des mesures correctives si nécessaire et de contribuer à l'élaboration des systèmes et processus de travail.
- De réfléchir à leurs pratiques d'apprentissage et de travail, d'évaluer de manière critique leurs performances et d'adopter différentes approches pour développer en permanence leurs connaissances et leurs compétences professionnelles.

Ces résultats d'apprentissage devraient être atteints par l'apprentissage et l'évaluation des sujets relatifs aux sciences de l'atmosphère décrits plus loin dans cette partie, complétés si nécessaire par les résultats d'apprentissage professionnel et autres résultats requis pour répondre aux besoins nationaux et soutenus par les avis relatifs aux notions fondamentales que l'on trouve également dans cette partie du guide.

3.3 Prérequis en mathématiques et en physique

Il devrait être possible d'acquérir les connaissances complémentaires à l'aide de l'une des méthodes suivantes ou d'une combinaison de ces méthodes:

- Mener à bien un programme d'études portant sur les notions fondamentales ou les prérequis dans une école ou un établissement d'enseignement supérieur avant de rejoindre un établissement qui enseigne les sciences de l'atmosphère.
- Mener à bien un programme d'études préliminaire sur les notions fondamentales ou les prérequis dans le même établissement où sont enseignés les sujets de météorologie générale.
- Intégrer l'acquisition des connaissances complémentaires associées aux notions fondamentales ou aux prérequis dans le programme d'études des matières obligatoires relatives à la météorologie générale.

Les indications des tableaux 3.1 et 3.2 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les prérequis de l'étude de la météorologie, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

De démontrer qu'ils ont les connaissances nécessaires en mathématiques et en physique pour valider avec succès les composantes du PEB-TM qui se rapportent à la météorologie.

Tableau 3.1. Résultats pédagogiques proposés pour répondre aux exigences en matière de prérequis en mathématiques

Mathématiques	
Trigonométrie	Définir le sinus, le cosinus et la tangente, indiquer leur rapport avec leurs fonctions inverses et manipuler les équations trigonométriques de base.
Logarithmes et exponentielles	Manipuler les logarithmes et les exponentielles.
Vecteurs	Additionner et soustraire des vecteurs et multiplier un vecteur par un scalaire.
Algèbre	Manipuler des équations polynomiales et résoudre des équations algébriques de base, y compris des équations quadratiques.
Géométrie	Calculer la superficie de triangles rectangles et isocèles, la circonférence et la superficie de cercles et l'aire et le Volume de parallélépipèdes rectangles, de cylindres et de sphères; décrire la relation entre les radians et les degrés.
Géométrie analytique	Mesurer la pente et l'ordonnée à l'origine d'un graphique linéaire; reconnaître les courbes standard, telles que la parabole, l'ellipse et l'hyperbole; convertir des systèmes de coordonnées cartésiennes en systèmes de coordonnées polaires, et réciproquement.
Statistiques	Sélectionner un mode de présentation approprié pour les données statistiques et interpréter les résultats; utiliser différentes mesures de la tendance centrale (moyenne, médiane et mode) et de la variation (étendue, écart interquartile et écart type); expliquer les concepts d'échantillonnage, de régression linéaire par la méthode des moindres carrés, de corrélation, de distribution normale, de percentiles et de tests d'hypothèses.

Tableau 3.2. Résultats pédagogiques proposés pour répondre aux exigences en matière de prérequis en physique

Physique	
Cinématique	Résoudre des problèmes en utilisant les équations qui décrivent le rapport entre la distance, la vitesse, l'accélération et le temps pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré.
Dynamique	Résoudre des problèmes de base lorsqu'un système est en équilibre, en utilisant la deuxième loi du mouvement de Newton et le principe de conservation de la quantité de mouvement.
Travail, énergie et puissance	Expliquer les notions de travail, d'énergie cinétique, d'énergie potentielle et d'énergie interne et résoudre des problèmes en s'appuyant sur le principe de conservation de l'énergie et sur le rapport entre puissance, travail et force.
Mouvements dans un cercle	Expliquer la notion d'accélération centripète et décrire les orbites circulaires en mettant en rapport la force gravitationnelle et l'accélération centripète.
Phases de la matière	Décrire les différences physiques entre les solides, les liquides et les gaz; expliquer la notion de chaleur latente associée à un changement de phase; décrire les processus associés aux changements de phase, en mettant l'accent sur la condensation et l'évaporation.
Température et chaleur	Expliquer les concepts de température et de chaleur; décrire comment les propriétés physiques d'une substance qui varie avec la température peuvent être utilisées pour mesurer la température; expliquer comment la chaleur est transmise par conduction, convection et rayonnement.
Thermodynamique et théorie cinétique des gaz	Résoudre des problèmes en utilisant l'équation d'état d'un gaz parfait; donner une description qualitative de la première loi de la thermodynamique; expliquer ce qu'on entend par processus adiabatique, en mettant l'accent sur la détente adiabatique d'un gaz; décrire les concepts propres à la théorie cinétique des gaz.

Oscillations et ondes	Décrire les propriétés des oscillations et des ondes et expliquer le mouvement harmonique simple; résoudre des problèmes en utilisant le rapport entre la vitesse, la fréquence et la longueur d'onde des ondes; expliquer la différence entre ondes longitudinales et ondes transversales et les notions de réflexion, de réfraction, de diffraction et d'interférence.
Rayonnement électromagnétique	Décrire les caractéristiques du rayonnement électromagnétique et les principales caractéristiques du spectre électromagnétique; décrire les processus de réflexion, d'absorption et de diffusion du rayonnement (y compris la réflexion et la réfraction de la lumière); expliquer ce que l'on entend par corps noir; souligner les effets de la loi de Stefan-Boltzmann et de la loi de Wien.
Électricité et induction électromagnétique	Décrire la base physique du courant, de la tension et de la résistance et indiquer comment on les mesure; résoudre des problèmes de circuits (y compris ceux qui comprennent au moins deux résistances) en utilisant la loi d'Ohm et les lois de Kirchhoff; décrire le processus d'induction électromagnétique.

3.4 **Matières obligatoires**

Cette section porte sur les résultats d'apprentissage correspondant aux matières qui sont obligatoires pour le PEB-TM. Ces résultats couvrent les aspects fondamentaux de la météorologie et des sciences connexes.

3.4.1 **Géographie, océanographie et hydrologie de base**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

De décrire les caractéristiques géographiques, océanographiques et hydrologiques de base de la zone de responsabilité.

Le tableau 3.3 devrait faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques de manière à répondre aux exigences de base en géographie, océanographie et hydrologie. Il présente, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires, mais n'a aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 3.3. Résultats pédagogiques permettant de répondre aux exigences en géographie, océanographie et hydrologie de base

Géographie, océanographie et hydrologie de base	
Géographie et océanographie de base	Décrire les caractéristiques topographiques et l'emplacement des stations dans la zone de responsabilité.
	Décrire le terrain local.
	Décrire la circulation générale et la structure thermique des océans.
	Expliquer comment la température, la salinité et l'état de la mer sont évalués.
Hydrologie de base	Décrire le cycle hydrologique, en relevant les facteurs clés qui influent sur le ruissellement, les ressources en eaux souterraines et en eaux de surface et le bilan hydrique.
	Expliquer comment sont effectuées les mesures hydrologiques (précipitations, évaporation, humidité du sol, débit des cours d'eau, eaux souterraines, etc.).

3.4.2 **Météorologie physique et dynamique de base**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

- D'expliquer les processus physiques et dynamiques de base qui se déroulent dans l'atmosphère.
- D'expliquer les principes physiques appliqués dans les instruments servant à mesurer les paramètres atmosphériques.

Les indications du tableau 3.4 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en météorologie physique et dynamique de base, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 3.4. Résultats pédagogiques permettant de répondre aux exigences en météorologie physique et dynamique de base

Météorologie physique et dynamique de base	
Composition et structure de l'atmosphère	Décrire la composition et la structure verticale de l'atmosphère.
Rayonnement	Expliquer les variations diurnes, latitudinales et saisonnières du rayonnement qui atteint la surface de la Terre; décrire les différences entre le rayonnement de courtes longueurs d'onde (solaire) et de grandes longueurs d'onde (terrestre); décrire les processus qui influent sur le rayonnement de courtes et de grandes longueurs d'onde (c'est-à-dire la réflexion, la diffusion et l'absorption du rayonnement); décrire le bilan thermique de l'atmosphère terrestre; expliquer l'effet de serre et l'effet de l'ozone sur le rayonnement ultraviolet; décrire le bilan thermique à la surface de la Terre et expliquer comment il varie en fonction de la latitude.
Pression atmosphérique	Expliquer pourquoi la pression varie avec l'altitude, quels sont les effets de la température et de l'humidité sur les variations de pression avec l'altitude et pourquoi la pression est souvent réduite au niveau moyen de la mer.
Température atmosphérique	Décrire l'effet de réchauffement et de refroidissement de la convection, de l'advection, de la turbulence et de l'évaporation/condensation; expliquer l'effet de la vapeur d'eau, des nuages et du vent sur la température de l'air en surface; expliquer la variation diurne de la température de l'air en surface; décrire les principaux facteurs qui affectent la répartition mondiale de la température de l'air en surface.
Humidité atmosphérique	Expliquer pourquoi l'humidité est importante; définir la pression de vapeur, la pression de vapeur saturante, la température du thermomètre mouillé, le point de rosée et l'humidité relative; décrire les facteurs qui affectent la vitesse d'évaporation.
Stabilité de l'atmosphère	Décrire les causes des variations de la stabilité atmosphérique; expliquer les notions de gradient adiabatique sec, de gradient adiabatique de l'air humide saturé et de gradient environnemental; décrire les différents types de stabilité (par exemple absolue, conditionnelle et neutre); expliquer le rôle des inversions de température et la manière dont se développent la stabilité et l'instabilité.
Vent	Expliquer pourquoi les vents soufflent; décrire la force de pression et la force de Coriolis et expliquer les notions de vent géostrophique et de vent du gradient; décrire l'effet de la friction sur le vent et expliquer les causes des vents locaux courants dus à la topographie (par exemple les brises de mer ou de terre, les foehns et les vents catabatiques ou anabatiques).
Rosée, gelée et brouillard	Décrire les facteurs qui influent sur la visibilité; expliquer la formation de la rosée et de la gelée et les causes du brouillard, en mettant l'accent sur le brouillard de rayonnement et d'advection.
Optique et électricité de l'atmosphère	Expliquer la formation des arcs-en-ciel, des halos, du ciel bleu et des éclairs.

3.4.3 **Météorologie synoptique et à moyenne échelle de base**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

- De décrire la formation, l'évolution et les caractéristiques des systèmes météorologiques d'échelle synoptique et de moyenne échelle des régions tropicales, des latitudes moyennes et des régions polaires; d'analyser les observations météorologiques.
- De décrire le processus de prévision et l'utilisation qui est faite des produits et services connexes.

Les indications ci-dessous devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en météorologie synoptique et à moyenne échelle de base, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif:

Tableau 3.5. Résultats pédagogiques permettant de répondre aux exigences en météorologie synoptique et à moyenne échelle de base

Météorologie synoptique et à moyenne échelle de base	
Conditions météorologiques dans un lieu donné	Expliquer de quelle manière les conditions météorologiques observées dans un lieu donné découlent d'une association d'effets agissant à différentes échelles spatiales et temporelles.
Masses d'air	Décrire et expliquer l'origine, les caractéristiques, les mouvements et les modifications des masses d'air.
Systèmes météorologiques aux latitudes moyennes et dans les régions polaires	Décrire les caractéristiques des dépressions, des anticyclones, des thalwegs et des dorsales ainsi que les conditions météorologiques correspondantes, en mettant l'accent sur les systèmes observés dans la zone de responsabilité; décrire les caractéristiques des fronts chauds, froids et occlus ainsi que le temps associé à leur passage; décrire le rapport entre les courants-jets et les systèmes météorologiques.
Principales perturbations tropicales	Décrire les principales perturbations tropicales et les conditions météorologiques qui leur sont associées, y compris la zone de convergence intertropicale (ZCIT), les dépressions tropicales, les moussons et le phénomène El Niño-oscillation australe.
Systèmes de moyenne échelle	Décrire la formation et les caractéristiques des phénomènes de moyenne échelle importants qui touchent la zone de responsabilité.
Phénomènes météorologiques dangereux	Décrire la formation et les caractéristiques des systèmes météorologiques dangereux (par exemple les orages et les cyclones tropicaux) qui touchent la zone de responsabilité, leur niveau de prévisibilité et leurs incidences sur la société.
Diagrammes de la pression en surface	Repérer les principales caractéristiques synoptiques sur les diagrammes de la pression en surface et sur les images satellite et radar connexes et décrire le temps typiquement associé à ces caractéristiques.
Diagrammes d'observation en altitude	Décrire différents types de diagrammes d'observation en altitude, y compris des cartes en altitude sur les surfaces à pression constante; repérer les principales caractéristiques synoptiques sur le diagramme et sur les images satellite et radar associées; décrire le temps généralement associé à ces caractéristiques.
Diagrammes aérologiques	Décrire les notions physiques qui sont à la base des diagrammes aérologiques et effectuer des opérations de base sur un tel diagramme.
Systèmes de visualisation et de cartographie	Présenter les systèmes généralement utilisés par les Services météorologiques pour afficher des données et tracer des cartes, ainsi que les avantages et les limites de ces systèmes, et élaborer des produits et services à l'intention des utilisateurs.
Processus de prévision	Décrire le processus de prévision et les principes de la prévision numérique du temps et interpréter les résultats opérationnels de base de ce genre de prévision.

Principaux produits et services	Décrire les principaux produits et services (y compris les avis de conditions météorologiques dangereuses) en se fondant sur les informations concernant la situation météorologique actuelle et prévue transmises au grand public et aux autres utilisateurs.
Fonction des SMHN	Décrire la fonction des SMHN en matière d'observation et de prévision du temps, ainsi que le rôle d'autres prestataires de services.

3.4.4 **Climatologie mondiale et locale**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

- De décrire la circulation générale de l'atmosphère, les climats dans la zone de responsabilité et les principaux produits et services climatologiques.
- De présenter les concepts de base de la variabilité du climat et des changements climatiques.

Les indications du tableau 3.6 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en climatologie mondiale et locale, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 3.6. Résultats pédagogiques permettant de répondre aux exigences en climatologie mondiale et locale

Climatologie mondiale et locale	
Caractéristiques de la circulation générale	Expliquer les principales caractéristiques de la circulation générale de l'atmosphère et des océans et leur variabilité dans le temps (diurne, saisonnière et annuelle).
Climats régionaux et locaux	Passer en revue les facteurs qui déterminent les climats régionaux et locaux.
Classification et description des climats	Décrire les techniques de classification des climats, notamment la méthode de Köppen.
Climat local	Décrire la climatologie, les variations saisonnières et les tendances climatiques dans la zone de responsabilité.
Variabilité du climat et changement climatique	Expliquer la différence entre la variabilité du climat et les changements climatiques; décrire les notions de base qui sous-tendent l'effet de serre; décrire l'effet et le fondement scientifique en jeu dans le changement climatique dû aux activités humaines; définir les principes des prévisions climatiques.
Prévisions saisonnières	Décrire le processus et le fondement scientifique de la prévision saisonnière.
Données climatologiques	Décrire comment s'effectuent la saisie, la collecte et le contrôle qualité des données climatologiques dans la zone de responsabilité.
Statistiques sur le climat	Indiquer comment les données climatologiques sont analysées du point de vue de leur distribution (par exemple fréquence et fréquence cumulée), de leur tendance centrale et de leur variance.
Principaux produits et services	Décrire les principaux produits et services en se fondant sur les informations climatologiques transmises au public et aux autres utilisateurs.

3.4.5 **Formation de nuages**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

- De décrire la formation et les caractéristiques des principaux types de nuages et de précipitations.

Les indications du tableau 3.7 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en formation des nuages, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 3.7. Résultats pédagogiques permettant de répondre aux exigences en matière de formation des nuages

Formation des nuages	
Identification des nuages	Décrire les principaux types et espèces de nuages; décrire leurs caractéristiques; décrire leur gamme d'altitudes habituelle; décrire les phénomènes météorologiques associés.
Hydrométéores	Décrire les différents hydrométéores et la façon dont on les observe.
Formation des nuages	Expliquer pourquoi le mouvement ascendant conduit à la formation de nuages; décrire les principaux mécanismes de formation des nuages; décrire les différents types de nuages; décrire les zones géographiques où les divers types de nuages sont le plus susceptibles de se former.
Précipitations et orages	Décrire les processus qui produisent les précipitations, les processus de déclenchement des orages et leur cycle de vie.

3.4.6 **Paramètres, instruments et méthodes d'observation météorologiques**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

- De décrire comment les phénomènes météorologiques sont mesurés au moyen d'instruments déployés au sol, dans l'atmosphère et dans l'espace.
- D'effectuer une observation météorologique de base en s'appuyant sur l'évaluation et l'interprétation de données recueillies à l'aide d'instruments déployés au sol, dans l'atmosphère et dans l'espace.

Les indications du tableau 3.8 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en matière de paramètres, d'instruments et de méthodes d'observation météorologiques, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau

Tableau 3.8. Résultats pédagogiques pour répondre aux exigences relatives aux paramètres, aux instruments et aux méthodes d'observation météorologiques

Paramètres, instruments et méthodes d'observation météorologiques	
Phénomènes météorologiques	Décrire les différents phénomènes météorologiques examinés lors d'une observation visuelle en surface; préciser leurs caractéristiques et expliquer leur genèse.
Surveillance et observation du temps	Surveiller les conditions météorologiques; réaliser des observations en surface au moyen d'instruments à distance et à lecture directe et d'analyses visuelles (types de nuages, nébulosité, type de temps, etc.) et expliquer les raisons de telles analyses.
Température	Exposer différentes méthodes de mesure de la température et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.
Humidité	Exposer différentes méthodes de mesure de l'humidité et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.
Direction et vitesse du vent	Exposer différentes méthodes de mesure de la direction et de la vitesse du vent et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.

Paramètres, instruments et méthodes d'observation météorologiques	
Chute de pluie	Exposer différentes méthodes de mesure de la pluie et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.
Rayonnement direct et indirect	Exposer différentes méthodes de mesure du rayonnement direct et indirect et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.
Pression	Exposer différentes méthodes de mesure de la pression et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.
Insolation	Exposer différentes méthodes de mesure de l'insolation et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.
Évaporation	Exposer différentes méthodes de mesure de l'évaporation et leur lien avec l'utilisation et les limites des instruments ou capteurs.

3.4.7 **Contrôle de base de la qualité des données climatologiques**

Les techniciens en météorologie doivent être capables:

De décrire et d'appliquer les procédures de contrôle de qualité des données climatologiques.

Les indications du tableau 3.9 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques figurant dans les modules d'études. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances nécessaires pour atteindre les résultats d'apprentissage en matière de contrôle de qualité des données climatologiques, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 3.9. Résultats pédagogiques permettant de répondre aux exigences en matière de contrôle de qualité des données climatologiques

Contrôle de qualité des données climatologiques	
Fichiers climatologiques	Engager des procédures de sauvegarde et de préservation des données climatologiques; déterminer si l'emplacement et les caractéristiques des sites d'observation sont conformes aux critères fixés pour un réseau de référence en matière d'observation du climat; recueillir et conserver des données et métadonnées climatologiques dans des bases de données relationnelles; mener des contrôles de la qualité concernant les données climatologiques et les séries chronologiques qui en résultent; évaluer l'homogénéité des données climatologiques et ajuster les séries chronologiques inhomogènes; constituer, archiver et alimenter des fichiers climatologiques; procéder à une interpolation spatiale et temporelle pour assurer la continuité des données.
Qualité des informations et des services climatologiques	Créer et appliquer des procédures de gestion de la qualité pour ce qui concerne les services climatologiques; surveiller les fonctions des services climatologiques, en particulier la validation des données, produits et services; évaluer l'incidence des services climatologiques pour les clients et les avantages qu'ils leur procurent, en recueillant leurs observations, leurs suggestions et leurs réclamations.
Communication d'informations climatologiques aux utilisateurs	Instaurer des voies de communication efficaces avec les usagers des services climatologiques et établir des moyens de mobilisation, tels les forums régionaux sur l'évolution probable du climat, qui soient conformes aux exigences d'interfaçage du Cadre mondial pour les services climatologiques (CMSC) et permettent l'intégration dans le Système d'information de l'OMM (SIO).
Contrôle de qualité des données climatologiques	Examiner toutes les observations pour rechercher les erreurs et les incohérences en vue de les corriger ou de les signaler, conformément aux procédures établies, et prendre des mesures de suivi; enregistrer les corrections, les signalements et les mesures de suivi dans le référentiel de métadonnées; vérifier le format et la teneur des messages d'observation avant leur diffusion et apporter des corrections si nécessaire; s'assurer que toutes les observations sont envoyées et reçues avec succès.

3.5 Résultats de l'apprentissage professionnel

La présente section comporte des résultats d'apprentissage visant à favoriser l'acquisition de plusieurs des résultats d'apprentissage généraux et donc à doter les techniciens en météorologie des compétences professionnelles fondamentales dont ils ont besoin au début de leur carrière. Les résultats présentés dans les tableaux 3.10 et 3.11 ne sont pas des listes exhaustives de ces compétences; les établissements tiendront compte des besoins nationaux et régionaux en ressources humaines.

Tableau 3.10. Communication des résultats d'apprentissage utiles pour les fonctions de technicien en météorologie

Communication en travail en équipe	
Communication écrite	Utiliser un logiciel de traitement de texte pour rédiger un texte bien écrit; utiliser un logiciel de présentation pour élaborer des tableaux ou des graphiques de qualité; rédiger des communications écrites dans un délai donné de façon concise, fiable et compréhensible et pour différents clients ou utilisateurs.
	Communiquer des renseignements météorologiques sous la forme d'échanges sur les stratégies prévisionnelles et d'exposés sur le transfert de responsabilités qui soient axés sur les impacts et qui utilisent l'approche en entonnoir des prévisions; recenser les principales sensibilités des clients à l'égard du temps et du climat et organiser des séances d'information sur mesure, axées sur les impacts, les incertitudes, la confiance et l'aide à la prise de décisions.
	Organiser des conférences de presse et mener des campagnes de sensibilisation en employant un langage simple qui transmette des messages clés; engager le dialogue avec les clients et les collègues en utilisant le ton et le langage corporel qui conviennent et en faisant preuve d'empathie.
Présentations orales	Faire, dans des délais prévus, des présentations dont le contenu et le mode de communication permettent d'informer l'auditoire de façon fiable et intelligible; utiliser différents modes et techniques de communication.
Travail d'équipe	Partager efficacement ses connaissances et travailler en équipe de façon constructive.

Tableau 3.11. Résultats d'apprentissage pour l'utilisation des technologies de l'information

Technologie de l'information	
Connaissances informatiques de base	Utiliser un logiciel de traitement de texte pour mettre au point et mettre en forme des documents écrits; utiliser un logiciel de présentation pour mettre au point et mettre en forme des tableaux ou des graphiques.
Matériel pour l'édition	Créer, publier et actualiser une page Web de base; maîtriser les caractéristiques d'une page Web (tableaux et images) en utilisant les langages CSS et HTML.
Obtention d'informations	Rechercher des renseignements météorologiques dans les bibliothèques, les bases de données et sur Internet; créer du matériel pour l'édition.
Utilisation des renseignements météorologiques	Décrire comment les renseignements météorologiques sont utilisés, par exemple pour la gestion et le contrôle du trafic aérien, les membres d'équipage et les gestionnaires des risques de catastrophes.

3.6 Spécialisations sélectives

Les indications du tableau 3.12 devraient faciliter la définition des résultats d'apprentissage pédagogiques et les critères de performance figurant dans les modules d'études et les cours de formation fondés sur le PEB-TM. Elles présentent, à titre informatif, l'étendue et le type de connaissances et compétences nécessaires dans chaque spécialisation sélective, mais n'ont aucun caractère exhaustif ou limitatif.

Tableau 3.12. Résultats d'apprentissage et critères de performance pour les fonctions de technicien en météorologie générale

Technicien en météorologie générale	
Surveillance des conditions météorologiques	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 1: Surveiller les conditions météorologiques.
Codage (<i>Manuel des codes</i> (OMM-N° 306))	Indiquer comment les observations sont codées.
	Indiquer comment les observations sont transmises.
	Décrire les différences entre les divers types de messages (SYNOP, SHIP, CLIMAT, METAR, etc.).
Identification des nuages	Distinguer les différents types de nuages en fonction de leurs caractéristiques et de leur hauteur.
	Distinguer les différents types de nuages et les phénomènes météorologiques connexes (voir l' <i>Atlas international des nuages: Manuel de l'observation des nuages et des autres météores</i> (OMM-N° 407)).
Observation en surface	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 2: Effectuer des observations en surface.
	Observer d'autres paramètres si nécessaire, tels que le rayonnement solaire, l'évaporation, la température du sol, l'état du sol, l'humidité du sol, l'état de la mer, la composition de l'atmosphère, le cisaillement du vent, l'humidité des feuilles et la phénologie.
Qualité des informations relatives aux observations	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 6: Garantir la qualité des informations relatives aux observations.
	Répertorier les exigences en matière d'interfaçage du CMSC et de l'intégration dans le SIO.
Performance des instruments et des systèmes	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 5: Surveiller la performance des instruments et des systèmes.
	Surveiller la fonctionnalité des systèmes automatiques d'observation météorologique et informer le personnel des mesures à prendre en cas de dysfonctionnement des composantes.
Recours à la télédétection (s'il y a lieu) pour les observations	Interpréter les informations issues des techniques de télédétection pour effectuer des observations (par exemple le célomètre pour la hauteur de la base des nuages dans les observations synoptiques et les rapports météorologiques d'aérodromes).
	Recouper les observations obtenues par d'autres moyens techniques (par exemple la télédétection comparée aux mesures <i>in situ</i>) pour s'assurer de leur cohérence (par exemple la comparaison des informations sur la visibilité enregistrées par des visibilimètres avec des images satellitaires (brouillard, tempêtes de sable) et des observations manuelles).
	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 4: Utiliser des techniques de télédétection pour effectuer des observations.
Observations en altitude à l'aide de ballons	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 3: Effectuer des observations en altitude à l'aide de ballons.
Maintenir un milieu de travail sûr	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 7: Maintenir un milieu de travail sûr.

Pour les résultats et les critères énumérés dans le tableau 3.13, il convient de consulter le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209) pour les normes de compétences et les documents de référence connexes concernant les observateurs en météorologie aéronautique.

Tableau 3.13. Résultats d'apprentissage et critères de performance pour les fonctions d'observateur en météorologie aéronautique

Observateur en météorologie aéronautique	
Surveillance des conditions météorologiques	Indiquer comment les observations sont codées et transmises.
	Décrire les différences entre les divers types de messages (METAR et SPECI).
Identification des nuages pour l'aviation	Décrire les principaux types de nuages, leurs caractéristiques, leur plage de hauteur habituelle et les phénomènes météorologiques associés.
Bon fonctionnement des systèmes et qualité des informations météorologiques	Répertorier les exigences en matière d'interfaçage du CMSC et de l'intégration dans le SIO.
Recours à la télédétection (s'il y a lieu) pour les observations	Interpréter les informations issues des techniques de télédétection pour effectuer des observations (par exemple le célomètre pour la hauteur de la base des nuages dans les observations synoptiques et les rapports météorologiques d'aérodromes).
	Recouper les observations obtenues par d'autres moyens techniques (par exemple la télédétection comparée aux mesures <i>in situ</i>) pour s'assurer de leur cohérence (par exemple la comparaison des informations sur la visibilité enregistrées par des visibilimètres avec des images satellitaires (brouillard, tempêtes de sable) et des observations manuelles).
Milieu de travail sûr	Travailler en toute sécurité à proximité de risques électriques.
	Effectuer l'ensemble des tâches d'observation en sécurité, tout en atténuant l'exposition aux dangers environnementaux (temps violent, foudre, inondations, ouragans, incendies, etc.).
	Tenir un registre des aléas et assurer leur gestion.

Pour les résultats et les critères énumérés dans les tableaux 3.14 à 3.17, il convient de consulter le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209), qui présente les normes de compétences et les documents de référence connexes concernant les instruments, l'étalonnage, les observations météorologiques et la gestion des programmes et réseaux d'observation.

Tableau 3.14. Résultats d'apprentissage et critères de performance pour les fonctions de technicien en instruments météorologiques

Technicien en instruments météorologiques	
Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM	Décrire les principaux éléments du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS) et du Système d'information de l'OMM (SIO) (y compris le Système mondial de télécommunications (SMT)), qui sont utilisés pour effectuer et transmettre des observations météorologiques et environnementales connexes à l'échelle planétaire à l'aide de systèmes d'observation en surface et dans l'espace.
Emplacement des instruments	Décrire les facteurs à prendre en compte pour choisir l'emplacement des instruments de mesure en surface.
Instruments de mesure en surface	Expliquer les principes physiques sur lesquels reposent les instruments servant à effectuer des mesures en surface de la température, de l'humidité, de la pression, des précipitations, du vent, de la hauteur des nuages, de la visibilité, de l'ensoleillement et du rayonnement (y compris les instruments utilisés dans les stations météorologiques automatiques); décrire le fonctionnement de ces instruments et indiquer les types d'erreurs qui peuvent se produire.

Instruments et électronique de base des stations météorologiques automatiques	Recenser les instruments d'une station météorologique automatique.
	Recenser les différents éléments des instruments d'une station météorologique automatique.
Installation des instruments et des systèmes de communication	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 1: Installer les instruments et les systèmes de communication.
Entretien des instruments et performance du système	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 1: Installer les instruments et les systèmes de communication.
Diagnostic des défaillances	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 3: Diagnostiquer les défaillances.
Surveillance du fonctionnement des instruments et des systèmes	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 5: Surveiller la performance des instruments et des systèmes.
Réparation des pannes des instruments et des systèmes	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 4: Réparer les pannes des instruments et des systèmes.
Réseau de détection des éclairs et entretien des radars (tous deux en option)	Assurer le bon fonctionnement des instruments et des systèmes.
	Diagnostiquer les défaillances.
	Maintenir un milieu de travail sûr.
Sécurité	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 5: Maintenir un milieu de travail sûr.

Tableau 3.15. Résultats d'apprentissage et critères de performance pour les fonctions de technicien en instruments de surveillance de la qualité de l'air

Technicien en instruments de surveillance de la qualité de l'air	
Théorie de la qualité de l'air	Décrire les types de pollution atmosphérique, leurs caractéristiques et leur influence sur le changement climatique.
	Décrire les composantes des stations de surveillance de la qualité de l'air.
	Entretien d'une station de surveillance de la qualité de l'air.
	Décrire le principe de mesure et les exigences en matière de maintenance de base relatives au monoxyde d'azote (NO), au monoxyde de carbone (CO), à l'ozone (O ₃) et au prométhium (Pm).
	Décrire les techniques de journalisation.
Fonctionnement des instruments	Élaborer les normes à utiliser pour veiller au bon fonctionnement des instruments.
	Traiter les normes et les articles de manière appropriée.
	Comparer l'instrument aux normes et évaluer sa fonctionnalité.
	Enregistrer et analyser les erreurs de mesure.
	Élaborer des rapports sur le fonctionnement des instruments, selon les besoins.

Installation des instruments et des systèmes de communication	Assembler et tester les instruments avant de les transporter sur le site.
	Transporter les instruments sur le site.
	Installer les instruments et les systèmes de communication (y compris l'aménagement simple du site).
	Former le personnel d'observation et le personnel technique à l'utilisation et à l'entretien des instruments (y compris la fourniture de procédures et de consignes normalisées d'exploitation, de manuels de système, de schémas de câblage, etc.).
	Tester minutieusement le fonctionnement des instruments et des systèmes de communication installés sur place avant la mise en service.
	Effectuer la classification du site pour toute variable concernée, préparer les métadonnées relatives aux instruments et aux variables et les soumettre au Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS) via l'Outil d'analyse de la capacité des systèmes d'observation (OSCAR).
	Passer le ou les instruments en mode d'exploitation.
Entretien des instruments et performance des systèmes	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 2: Assurer le bon fonctionnement des instruments et des systèmes.
Diagnostic des défaillances	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 3: Diagnostiquer les défaillances.
Surveillance du fonctionnement des instruments et des systèmes	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 5: Surveiller la performance des instruments et des systèmes.
Sécurité	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé d'installer et d'entretenir les instruments, Compétence 5: Maintenir un milieu de travail sûr.

Table 3.16. Résultats d'apprentissage et critères de performance pour les fonctions d'observateur en météorologie maritime

Observateur en météorologie maritime	
Surveillance des conditions météorologiques maritimes	Évaluer l'évolution de la situation météorologique locale.
	Expliquer l'influence potentielle de l'évolution de la situation météorologique sur les observations ultérieures.
	Relever les signes météorologiques qui peuvent conduire à l'apparition d'un temps significatif.
Codage des données maritimes (<i>Manuel des codes</i> (OMM-N° 306))	Indiquer comment les observations sont codées et transmises; décrire le format SHIP, l'état de la mer (houle et mer du vent), la glace de mer et la glace de navire.
Identification des nuages pour les observations maritimes	Distinguer les différents types de nuages en fonction de leurs caractéristiques et de leur hauteur.
	Associer des types de nuages à des phénomènes météorologiques connexes.
Observation en surface	Observer et enregistrer avec précision la pression atmosphérique, la température, l'humidité, le vent, les nuages, le temps présent et passé, la visibilité, l'état de la mer et la hauteur et la période de la houle.
	Coder et transmettre les observations en surface en utilisant les codes et les méthodes prescrits.

Qualité des informations relatives aux observations	Examiner toutes les observations pour rechercher les erreurs et les incohérences en vue de les corriger ou de signaler les données, conformément aux procédures établies, et prendre des mesures de suivi.
	Enregistrer les corrections, les signalements et les mesures de suivi dans le référentiel de métadonnées.
	Vérifier le format et la teneur des messages d'observation avant leur diffusion et apporter des corrections, si nécessaire.
	S'assurer que toutes les observations sont envoyées et reçues avec succès.
Surveillance du fonctionnement des instruments et des systèmes	Inspecter régulièrement les instruments météorologiques (tels que les pluviomètres et les thermomètres à réservoir mouillé), les systèmes d'observation automatisés (tels que les stations météorologiques automatiques et l'état des pannes des radars météorologiques), les systèmes de communication et les systèmes de secours (par exemple l'alimentation électrique).
	Effectuer les tâches d'entretien courant comme prescrit (par exemple changer la mèche du réservoir mouillé).
	Effectuer un premier diagnostic de panne et alerter le personnel technique.
	Entreprendre une action sous la direction du personnel technique à distance.
	Consigner les interventions et les anomalies dans un livret technique d'entretien ou un référentiel de métadonnées.
Observations en altitude à l'aide de ballons	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 3: Effectuer des observations en altitude à l'aide de ballons.
Sécurité	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour le personnel chargé des observations météorologiques, Compétence 7: Maintenir un milieu de travail sûr.

Tableau 3.17. Résultats d'apprentissage et critères de performance pour les fonctions de responsable du traitement des données climatologiques

Responsable du traitement des données climatologiques	
Traitement des données climatologiques	Consulter le <i>Compendium of WMO Competency Frameworks</i> (WMO-No. 1209), Cadre de compétences pour la fourniture de services climatologiques, Compétence 4: Assurer la qualité des informations et des services climatologiques.

Pour obtenir des indications sur les autres fonctions des techniciens en météorologie, consulter les publications de l'OMM énumérées ci-dessous.

Technicien en hydrométéorologie

Consulter la quatrième édition des *Directives pour la formation professionnelle des personnels de la météorologie et de l'hydrologie opérationnelle* (OMM-N° 258), Volume II – Hydrologie.

Technicien en agrométéorologie

Consulter le chapitre 2 du *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (WMO-No. 134), intitulé «Agricultural meteorological variables and their observations».

Technicien en prévision destinée au public/maritime

Consulter le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (OMM-No. 1209).

Comme l'indique le *Compendium of WMO Competency Frameworks* (OMM-No. 1209), il est recommandé que les prévisionnistes qui travaillent pour les services météorologiques destinés au public et les prévisionnistes en météorologie maritime aient suivi avec succès le PEB-M (ou des parties de celui-ci) tel que défini dans le *Règlement technique* (OMM-N° 49), Volume I, partie V, et dans l'appendice A: «Programmes d'enseignement de base».

4. RÉFÉRENCES

- Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airasian, P. *et al.* (dir. de publication). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*; Édition abrégée, Longman, 2001.
- Biggs, J.; Tang, C. *Teaching For Quality Learning At University*, 4^e édition; McGraw-Hill Education, The Society for Research into Higher Education, Londres, 2011.
- Brandt, R. On Teaching for Understanding: A Conversation with Howard Gardner. *ASCD, Educational leadership* **1993**, 50 (7). <https://www.ascd.org/el/articles/on-teaching-for-understanding-a-conversation-with-howard-gardner>.
- Carroll, E. B. Use of Dynamical Concepts in Weather Forecasting. *Meteorological Applications* **1997**, 4 (4), 345–352. <https://doi.org/10.1017/S1350482797000583>.
- Hoffman, R. R.; LaDue, D. S.; Mogil, H. M. *et al.* *Minding the Weather. How Expert Forecasters Think*; The MIT Press, 2023.
- ILOs and constructive alignment. Imperial College London. <https://www.imperial.ac.uk/staff/educational-development/teaching-toolkit/intended-learning-outcomes/ilos-and-constructive-alignment/>.
- Krathwohl, D. R.; Payne, D. A. Defining and Assessing Educational Objectives. In *Educational measurement*; Thorndike, R. L., (dir. de publication); 4^e édition; American Council on Education: Washington, DC, 1971.
- Organisation météorologique mondiale (OMM). *Guide sur l'application de normes d'enseignement et de formation professionnelle en météorologie et en hydrologie* (OMM-N° 1083), Volume I – Météorologie. Genève, 2015.
- . *Guide sur la mise en œuvre de systèmes de gestion de la qualité pour les Services météorologiques et hydrologiques nationaux et autres prestataires de services concernés* (OMM-N° 1100). Genève, 2017.
- . *Guidelines for Nowcasting Techniques* (WMO-No. 1198). Genève, 2017.
- . *Atlas international des nuages. Manuel de l'observation des nuages et des autres météores* (OMM-N° 407). Genève, 2017.
- . *A Compendium of Topics to Support Management Development in National Meteorological and Hydrological Services* (ETR-24). Genève, 2018.
- . *Guide des compétences* (OMM-N° 1205). Genève, 2018.
- . *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209). Genève, 2019.
- . *Plan stratégique de l'OMM 2020-2023* (OMM-N° 1225). Genève, 2019.
- . *Règlement technique* (OMM-N° 49), Volume I, Pratiques météorologiques générales normalisées et recommandées. Genève, 2019.
- . *Directives pour la formation professionnelle des personnels de la météorologie et de l'hydrologie opérationnelle* (OMM-N° 258), Volume II: Hydrologie. Genève, 2003.
- . Chapitre 2. Agricultural meteorological variables and their observations. Dans *Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP)* (WMO-No. 134). Genève, 2010.
- . *Manuel des codes – Codes internationaux, Volume I.1, Annexe II du Règlement technique de l'OMM: partie A – Codes alphanumériques* (OMM-N° 306). Genève, 2011.
- Rossby, C.-G. Comments on Meteorological Research. *Journal of the Aeronautical Sciences* **1934**, 1 (1), 32–34. <https://doi.org/10.2514/8.9>.
- Schraw, G. Promoting General Metacognitive Awareness. *Instructional Science* **1998**, 26 (1), 113–125. <https://doi.org/10.1023/A:1003044231033>.
- Schultz, D. *Eloquent Science: A Practical Guide to Becoming a Better Writer, Speaker, and Atmospheric Scientist*; American Meteorological Society, 2009.
-

Pour de plus amples informations, veuillez vous adresser à:

Organisation météorologique mondiale

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suisse

Bureau de la communication stratégique

Tél.: +41 (0) 22 730 83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Courriel: cpa@wmo.int

public.wmo.int