

ORCHESTRATEUR

MÉTÉOROLOGIE : COMPRENDRE LES PHÉNOMÈNES, LIRE UNE PRÉVISION ET DÉCIDER PRUDEMMENT

Un guide approfondi, disponible hors ligne

Lire, comprendre, retrouver un chapitre

LAFAYETTE DIGITAL PRODUCTS

Sommaire

Le sommaire est cliquable. Les signets du PDF donnent accès aux chapitres et aux sections. Le lien en bas de chaque page permet de revenir ici.

CHAPITRE 1 - TEMPS, CLIMAT ET MESURE : ÉCHELLES SPATIALES, TEMPORELLES ET INSTRUMENTS 5

CHAPITRE 2 - TEMPÉRATURE ET ÉNERGIE : RAYONNEMENT, CONDUCTION, CONVECTION ET BILAN 15

CHAPITRE 3 - PRESSION, DENSITÉ ET VENT : GRADIENTS ET CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE 25

CHAPITRE 4 - EAU ATMOSPHÉRIQUE : VAPEUR, SATURATION, HUMIDITÉ RELATIVE ET POINT DE ROSÉE 35

CHAPITRE 5 - NUAGES ET PRÉCIPITATIONS : CONDENSATION, CRISTAUX ET MICROPHYSIQUE SIMPLIFIÉE 45

CHAPITRE 6 - FRONTS ET MASSES D'AIR : ÉVOLUTION, RELIEF ET SITUATIONS LOCALES 55

CHAPITRE 7 - ORAGES, FOUDRE ET PHÉNOMÈNES VIOLENTS : MÉCANISMES ET LIMITES DE PRÉVISION 64

CHAPITRE 8 - Prévision numérique : conditions initiales, modèles et ensembles de scénarios 73

CHAPITRE 9 - Probabilités et incertitudes : lire un bulletin sans fausse précision 83

CHAPITRE 10 - Vigilance, alerte et décision : danger, exposition et autorités compétentes 93

CHAPITRE 11 - Sécurité des activités : critères de report et données actualisées nécessaires 104

CHAPITRE 12 - Carnet météo et exercices de synthèse : observer, comparer et reconnaître les limites 115

MÉTÉOROLOGIE : COMPRENDRE LES PHÉNOMÈNES, LIRE UNE PRÉVISION ET DÉCIDER PRUDEMMENT

Guide original Lafayette Digital Products, rédaction française du 11 octobre 2026, niveau fin de lycée. Rédaction réalisée avec l’aide de Codex, assistant d’intelligence artificielle d’OpenAI, puis relue et corrigée. Ce guide accompagne les cours et les documents des services spécialisés ; il ne constitue pas une certification pédagogique officielle. Les exemples numériques, personnages et situations désignés comme fictifs sont des créations pédagogiques. Les références servent à contrôler des concepts ou des repères historiques ; aucun ouvrage tiers n'est condensé intégralement.

Chaque chapitre associe analyse, exemples originaux, exercices corrigés, erreurs fréquentes et fiche de révision. Travaillez les exercices avant de lire leur correction, puis expliquez avec vos mots pourquoi une réponse est justifiée. Les corrections constituent des chemins raisonnés, non une garantie de note ou un corrigé officiel d'examen.

Ce guide hors ligne ne fournit aucune prévision ni alerte actuelle. Pour toute activité exposée, consultez les données datées des services météorologiques et les consignes des autorités compétentes. Il ne propose aucun diagnostic ni acte médical. Orchestrateur n'est pas un dispositif médical ; en cas de besoin, consultez un professionnel de santé et, en urgence, le numéro officiel local.

CHAPITRE 1 - TEMPS, CLIMAT ET MESURE : ÉCHELLES SPATIALES, TEMPORELLES ET INSTRUMENTS

1. Ce que décrit une observation météorologique

Dire qu'il fait mauvais mêle une observation et une appréciation. Une personne souhaite de la pluie pour un jardin ; une autre souhaite un ciel sec pour un déplacement. Pour comprendre un phénomène, il faut d'abord décrire des grandeurs : température de l'air, pression, humidité, vent, quantité de précipitations, visibilité. Le mot temps désigne ici l'état de l'atmosphère et son évolution à une échelle donnée. Le climat caractérise statistiquement des conditions sur des périodes longues, avec des moyennes, des distributions et des variations. Un épisode froid n'établit donc pas, à lui seul, une tendance climatique ; une moyenne climatique ne prévoit pas le temps d'une journée particulière.

L'atmosphère est un milieu matériel. Elle contient principalement des gaz, mais aussi des particules et parfois des gouttelettes ou des cristaux. La vapeur d'eau est un gaz invisible ; un nuage visible n'est pas simplement un réservoir de vapeur que l'on pourrait voir. Cette distinction sera approfondie dans les chapitres suivants. Dès maintenant, elle montre pourquoi les mots ordinaires peuvent masquer des états physiques différents. Un ciel apparemment transparent ne signifie pas absence d'eau, tandis qu'un nuage ne garantit pas une pluie atteignant le sol.

Une mesure n'est complète que si elle comporte une grandeur, une unité, un lieu, un instant ou une durée et une méthode. Écrire « température : 18 » ne suffit pas. Il faut préciser 18 degrés Celsius, mesurés dans quelles conditions, à quelle heure et à quel endroit. Une hauteur de pluie de 12 millimètres sur une heure ne décrit pas

la même intensité moyenne que 12 millimètres sur une journée. Un vent moyen sur une durée donnée ne correspond pas à une rafale maximale. La connaissance commence par une description qui permet la comparaison.

2. Les échelles changent la question

Une averse peut concerner un quartier et manquer une station située à quelques kilomètres. Une dépression peut organiser le temps d'une vaste région pendant plusieurs jours. Une série climatique peut porter sur plusieurs décennies. Ces échelles ne sont pas interchangeables. Quand on demande si une prévision est correcte, il faut préciser la zone, la période et l'événement évalué. Une annonce d'averses possibles sur un département n'affirme pas qu'il pleuvra dans chaque rue durant toute la journée.

L'échelle spatiale concerne l'étendue du phénomène et la résolution des informations. L'échelle temporelle concerne sa durée, la fréquence des observations et l'horizon d'une prévision. Une mesure ponctuelle constitue un échantillon du milieu, pas une copie de tout ce qui se produit autour. Une image satellite couvre une grande surface mais ne remplace pas automatiquement une mesure au sol. Un relevé toutes les heures peut manquer une variation très brève. Les instruments sont donc complémentaires parce qu'ils n'observent pas exactement les mêmes objets.

Scénario fictif : deux élèves placent un thermomètre dans une cour et un autre près d'un mur ensoleillé. Le premier indique 21 degrés, le second 29 degrés. Ils concluent que l'un est nécessairement cassé. Cette conclusion dépasse les observations. Le rayonnement reçu, la ventilation, la proximité du mur et le temps de stabilisation peuvent expliquer une différence. Pour comparer les appareils, on doit d'abord leur donner des conditions comparables. Le désaccord entre deux nombres révèle ici une question de méthode avant de prouver une panne.

3. De l'instrument à la donnée

Un capteur transforme une propriété du milieu en un signal que l'on peut lire ou enregistrer. Le thermomètre mesure sa propre température après échange d'énergie avec son environnement ; on cherche à ce que cette température représente convenablement celle de l'air. Un baromètre répond à la pression. Un pluviomètre recueille de l'eau sur une surface connue. Un anémomètre mesure un mouvement local. Aucun de ces appareils ne décrit directement l'ensemble de l'atmosphère.

La résolution est le plus petit changement affiché ou distingué par un dispositif. La précision d'affichage ne garantit pas l'exactitude. Un écran indiquant 20,137 degrés peut être affecté d'un biais plus grand que les derniers chiffres visibles. L'étalonnage compare l'appareil à une référence dans des conditions déterminées. Une incertitude exprime une connaissance limitée du résultat ; elle ne signifie pas que toute mesure soit inutilisable. Il faut apprendre à conserver seulement les chiffres et les conclusions que la méthode permet réellement.

Le biais déplace les résultats de manière persistante dans une direction. Une variabilité aléatoire peut produire des écarts dans plusieurs directions. Répéter une mesure aide à examiner cette variabilité, mais ne supprime pas nécessairement un biais commun. Dix relevés avec un appareil mal exposé peuvent être très proches entre eux et tous peu représentatifs de l'air recherché. La répétition est utile lorsqu'on sait ce qu'elle vérifie. Elle ne remplace pas le contrôle des conditions de mesure.

4. La hauteur de pluie comme exemple de grandeur

La hauteur de précipitation correspond à un volume réparti sur une surface. Un millimètre d'eau sur un mètre carré représente un litre. On peut le démontrer : un millimètre vaut 0,001 mètre ; multiplié par un mètre carré, il donne 0,001 mètre cube, soit un litre. Le calcul porte sur une équivalence géométrique. Il ne dit pas que chaque mètre carré d'une région reçoit exactement la même quantité ni que toute l'eau reste sur place après la pluie.

Dans un scénario fictif, une surface horizontale de 4 mètres carrés reçoit uniformément 7 millimètres. Le volume correspondant vaut $4 \times 7 = 28$ litres. Si l'on parle d'un toit, il faut encore distinguer la surface de collecte pertinente, les pertes, les écoulements et la capacité du système. Le chiffre théorique ne garantit aucun volume disponible. Le même soin s'applique au ruissellement : le sol, les pentes et l'état initial modifient la réponse du terrain.

Une intensité moyenne se calcule en divisant une hauteur par une durée. Douze millimètres en deux heures correspondent à 6 millimètres par heure en moyenne. Il est possible que presque toute l'eau soit tombée durant dix minutes. La moyenne ne restitue donc pas le maximum instantané ni les impacts locaux. Un bulletin de sécurité doit être lu avec ses informations sur la durée, la répartition et les conséquences possibles, pas seulement avec un total.

5. Mesures directes et observations indirectes

Une station fournit des mesures locales selon son implantation et ses capteurs. Un ballon de radiosondage explore un profil vertical pendant son déplacement. Un radar analyse des signaux réfléchis par des particules et produit des estimations qui demandent une interprétation. Un satellite observe des rayonnements ; certaines propriétés du milieu sont ensuite déduites à l'aide de méthodes physiques. Observer indirectement ne signifie pas inventer. Cela signifie que l'on doit connaître la relation entre le signal reçu et la grandeur recherchée.

Une image colorée est déjà une représentation. Ses couleurs peuvent correspondre à des classes de valeurs, et non aux couleurs que verrait un observateur humain. Lisez toujours la légende, l'heure de production, la zone couverte et la grandeur. Une image de nuages ne suffit pas à affirmer qu'il pleut au sol. Un radar peut détecter des précipitations en altitude dont une partie s'évapore avant d'atteindre le terrain. L'absence d'une mesure dans une zone ne constitue pas une preuve d'absence de phénomène.

Le Met Office rappelle dans sa présentation des observations : « Meteorological observations are essential for understanding and predicting weather and climate. » Cette courte citation de onze mots situe la fonction des données ; elle ne dit pas qu'un instrument isolé prédit tout. Les exemples et raisonnements de ce chapitre sont originaux. La référence sert à contrôler la distinction entre types d'observation, sans reproduire les descriptions détaillées de ses réseaux ni ses valeurs opérationnelles.

6. Données manquantes et changements de méthode

Une série de relevés contient parfois des trous. Remplacer une donnée absente par zéro transforme une absence d'information en mesure et fausse les résultats. Il faut conserver une indication explicite de donnée manquante. Si l'on estime une valeur, cette estimation doit rester distinguée d'une observation. Dans un carnet pédagogique, mieux vaut une série incomplète honnête qu'une série remplie de nombres imaginaires.

Un déplacement de station, un nouvel instrument ou une modification de l'environnement peuvent changer une série. Une comparaison avant et après demande alors de distinguer évolution atmosphérique et évolution de la mesure. Cela ne signifie pas que les séries longues soient sans valeur. Cela explique le travail de contrôle nécessaire avant une interprétation climatique. Une cour progressivement entourée de bâtiments ne représente plus exactement le même environnement qu'une cour ouverte.

Les statistiques décrivent la série disponible selon des règles choisies. Une moyenne peut masquer les extrêmes ; une médiane peut masquer leur importance pour une activité exposée. Une fréquence n'est interprétable que si les événements sont définis. Compter des jours de pluie nécessite un seuil et une période. Modifier le seuil au milieu d'une comparaison change le sens du résultat. L'honnêteté scientifique exige de rendre ces choix visibles.

7. Une enquête pédagogique originale

Imaginez que vous souhaitiez comparer deux lieux : un jardin et une place minérale. La question « où fait-il plus chaud ? » doit devenir plus précise. Voulez-vous comparer la température de l'air à l'ombre, la température d'une surface ou une sensation ressentie ? Ce ne sont pas trois noms pour une même grandeur. Une surface exposée peut être chaude tandis qu'un capteur d'air correctement protégé indique une valeur différente. Une sensation dépend en plus du vent, du rayonnement et de facteurs individuels.

Une méthode raisonnable pour un exercice scolaire consiste à choisir une grandeur, utiliser des instruments comparables, noter l'heure et les conditions, puis répéter la comparaison sans prétendre produire une étude climatologique complète. Les résultats doivent être présentés comme des observations locales limitées. Vous pouvez formuler une hypothèse sur le rôle des matériaux et de l'ombre, mais il faut reconnaître les facteurs non contrôlés. Une hypothèse bien délimitée est plus instructive qu'une conclusion générale sur toutes les villes.

Le carnet peut contenir quatre colonnes : ce qui a été observé, comment cela a été mesuré, l'interprétation proposée et ce qui reste incertain. Cette séparation évite de transformer immédiatement une impression en explication. Si vous notez « nuage sombre », ne remplacez pas automatiquement l'observation par « orage imminent ». Une interprétation possible doit rester une interprétation. Une activité réelle exige les informations actualisées des services compétents, même lorsqu'un exercice a été correctement réalisé.

8. Exercices progressifs et corrections

Exercice 1 - Compléter une donnée. Un carnet indique « vent : 30 ». Citez les informations qui manquent et proposez une ligne complète fictive.

Correction possible : il manque au minimum l'unité, le type de valeur, la direction si elle est mesurée, le lieu, l'heure et la méthode. Une ligne pédagogique peut annoncer « vent moyen fictif de 30 km/h, venant de l'ouest, sur la durée indiquée par l'appareil, au point A, à 14 h ». Cette ligne n'est pas une observation réelle. Elle montre pourquoi une valeur numérique seule ne permet ni comparaison rigoureuse ni décision de sécurité.

Exercice 2 - Convertir une hauteur. Une surface horizontale fictive de 3 mètres carrés reçoit uniformément 8 millimètres de pluie. Calculez le volume géométrique correspondant et donnez deux limites pratiques.

Correction : 1 millimètre sur 1 mètre carré correspond à 1 litre ; le volume vaut donc 3 × 8 = 24 litres. La pluie peut ne pas être uniforme ; des pertes et écoulements peuvent empêcher une collecte intégrale. Le calcul ne donne pas une quantité d'eau potable et n'autorise aucune conclusion sanitaire. Les unités et la signification du résultat doivent accompagner l'opération.

Exercice 3 - Examiner une moyenne. Une averse apporte 15 millimètres en trente minutes. Quelle intensité moyenne obtient-on en millimètres par heure ? Peut-on en déduire le maximum pendant une minute ?

Correction : trente minutes valent une demi-heure ; 15 / 0,5 = 30 millimètres par heure. Le maximum d'une minute n'est pas connu. Une répartition régulière et une succession de fortes variations peuvent avoir la même moyenne. Ne transformez pas une grandeur moyenne en mesure instantanée. Cette distinction est

essentielle lorsqu'on interprète l'effet d'une précipitation sur un terrain.

Exercice 4 - Séparer météo et climat. Une ville connaît une journée plus froide que la moyenne d'un mois. Un commentaire conclut que le climat ne change pas. Analysez l'inférence, sans discuter ici une série climatique réelle.

Correction : une observation quotidienne et une évolution statistique de longue durée ne portent pas sur la même échelle. Des valeurs inférieures à une moyenne peuvent exister dans une distribution dont la moyenne augmente. Il faut étudier une série suffisamment longue et contrôlée pour traiter la question climatique. L'exercice réfute l'inférence fondée sur une seule journée ; il ne calcule aucune tendance réelle et ne remplace aucune analyse spécialisée.

Exercice 5 - Concevoir une comparaison. Deux thermomètres donnent des valeurs différentes. Proposez trois contrôles avant de déclarer l'un défectueux, puis expliquez ce qu'une répétition peut et ne peut pas établir.

Correction : comparer leur exposition au rayonnement, leur ventilation et leur temps de stabilisation ; examiner également leur résolution et leur référence d'étalonnage. Les placer temporairement dans des conditions comparables peut aider à identifier un écart instrumental, si cette opération respecte leur usage. Une répétition renseigne sur la variabilité mais n'élimine pas automatiquement un biais commun. La conclusion doit rester proportionnée aux contrôles réalisés.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Les erreurs courantes sont de confondre valeur affichée et valeur exacte, température d'une surface et température de l'air, rafale et vent moyen, image et observation directement interprétable. Une autre erreur consiste à donner zéro aux données absentes. On rencontre enfin des conclusions climatiques tirées d'une seule journée et des décisions pratiques fondées sur une carte ancienne. Ces confusions se corrigent en revenant à la grandeur, à l'unité, à l'échelle et à la méthode.

Fiche de révision : une donnée doit être située et datée ; une moyenne ne décrit pas tous les extrêmes ; une mesure ponctuelle n'est pas une carte complète ; une observation indirecte demande un modèle d'interprétation. Un millimètre d'eau sur un mètre carré vaut un litre. Le climat décrit des distributions et leurs évolutions ; le temps décrit des situations atmosphériques à des échelles plus courtes. Toute prévision utile à une activité réelle doit être actualisée et adaptée à son territoire.

Pour réviser, expliquez pourquoi deux nombres différents peuvent être compatibles avec deux mesures correctement réalisées. Construisez ensuite une situation où la différence révèle réellement un problème instrumental. L'objectif n'est pas de défendre tous les appareils : il est de comprendre quelles vérifications rendent une conclusion possible.

Sources et provenance : NOAA, présentation physique de l'atmosphère, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere ; Met Office, Types of observations, https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/observations, citation courte ci-dessus et distinction des familles d'observation. Pages consultées le 11 octobre 2026. Équivalences d'unités, scénarios, exercices et corrections rédigés par LFDP. Aucune carte actuelle, prévision opérationnelle, image ou série de mesures tierce reproduite.

CHAPITRE 2 - TEMPÉRATURE ET ÉNERGIE : RAYONNEMENT, CONDUCTION, CONVECTION ET BILAN

1. Température et énergie ne sont pas le même objet

Une petite quantité d'eau chaude et un grand réservoir tiède peuvent avoir des températures différentes tout en stockant des quantités d'énergie thermique très différentes. La température décrit un état ; une énergie transférée décrit ce qui passe d'un système à un autre ou se transforme. Pour raisonner en météorologie, il faut préciser le système : une surface de sol, un volume d'air, une couche d'atmosphère ou l'ensemble Terre-atmosphère. Sans ce choix, on risque de mélanger un échange local et un bilan global.

La chaleur désigne ici une énergie transférée en raison d'une différence de température. Elle ne constitue pas une substance que l'air contiendrait comme de l'eau dans une bouteille. Au niveau microscopique, la température est liée à l'agitation des constituants ; pour notre cours, on utilise surtout des relations entre mesures macroscopiques. Une température en degrés Celsius convient à la vie quotidienne. Les calculs de physique qui font intervenir une température absolue utilisent les kelvins : T en kelvins = température en degrés Celsius + 273,15. Une variation d'un kelvin correspond à une variation d'un degré Celsius.

Une différence est essentielle : passer de 10 à 20 degrés Celsius ne signifie pas doubler la température absolue. On passe de 283,15 à 293,15 kelvins. Employer directement les degrés Celsius dans une formule proportionnelle à la température absolue peut produire une erreur majeure. Le choix d'unité n'est donc pas un détail de présentation ; il fait partie du sens physique du calcul.

2. Trois mécanismes de transfert à distinguer

La conduction transmet de l'énergie à travers la matière sans déplacement global nécessaire du milieu. Dans le sol, des régions voisines échangent ainsi de l'énergie. La convection implique le mouvement d'un fluide, par exemple de l'air qui transporte de l'énergie d'une zone à une autre. Le rayonnement transporte de l'énergie sous forme électromagnétique et peut traverser le vide. Ces mécanismes peuvent agir simultanément. Ils ne sont pas trois causes qui s'excluent dès que l'on en identifie une.

Dans une scène fictive, une dalle reçoit du rayonnement solaire, échange de l'énergie avec le sol situé dessous et réchauffe l'air à son contact. Un mouvement d'air renouvelle ensuite ce contact. Le rayonnement explique une entrée énergétique ; la conduction intervient dans la matière ; les déplacements d'air participent au transport. Si l'on se contente de dire que le soleil chauffe, on ne sait pas encore pourquoi deux surfaces voisines évoluent différemment ni pourquoi le vent modifie leur température.

La convection naturelle dépend notamment des différences de densité et de la stratification du milieu. Une portion d'air moins dense que son environnement peut monter sous l'effet de la flottabilité. Cela ne signifie pas que tout air chaud monte indéfiniment ni qu'il transporte seulement sa chaleur sans changer d'état. La pression ambiante, les mélanges et les conditions verticales interviennent. Le chapitre sur les nuages étudiera le refroidissement associé à une ascension, sans le confondre avec une simple perte de chaleur par contact.

3. Absorber, réfléchir et émettre

Lorsqu'un rayonnement arrive sur une surface, une partie peut être réfléchie, une partie absorbée et parfois une partie transmise. L'albédo est une fraction réfléchie définie pour des conditions et un domaine de rayonnement donnés. Une valeur de 0,30 signifie que 30 % du flux considéré est réfléchi. Elle ne signifie pas que la surface reste nécessairement froide : il faut examiner tout son bilan et ses propriétés.

Un exemple numérique entièrement fictif utilise deux surfaces recevant chacune 500 watts par mètre carré. La première réfléchit 20 % et absorbe, dans ce modèle sans transmission, 400 watts par mètre carré. La seconde réfléchit 60 % et absorbe 200 watts par mètre carré. La différence d'absorption vaut 200 watts par mètre carré. Pour conclure à une différence de température, il faut encore connaître leur capacité thermique, les pertes, l'eau disponible et leur environnement. L'absorption n'est pas à elle seule une température.

Les objets terrestres émettent aussi un rayonnement thermique. Celui-ci ne disparaît pas la nuit ; c'est précisément une raison pour laquelle une surface peut perdre de l'énergie en l'absence de soleil. L'émission dépend de la température et des propriétés de la surface. Une couleur visible ne donne pas toutes les caractéristiques dans l'infrarouge. L'affirmation selon laquelle un objet sombre émettrait toujours davantage dans tous les domaines serait donc trop générale. Il faut distinguer absorption du rayonnement solaire et émission thermique.

4. Construire un bilan plutôt qu'une explication unique

Un bilan compare les entrées, les sorties et la variation de stockage. Sous une forme simplifiée, variation d'énergie = énergie reçue moins énergie cédée. Si les entrées dépassent les sorties, le système accumule de l'énergie ; si elles leur sont inférieures, il en perd. Ce principe de comptabilité ne fournit pas tous les flux : il indique comment les relier lorsque les mesures ou hypothèses sont disponibles.

La NASA emploie l'expression « Energy leaves the surface » dans son exposé du bilan terrestre. Cette citation courte de quatre mots rappelle seulement qu'il faut examiner des sorties aussi bien que des entrées. Les chiffres de ses illustrations ne sont pas repris ici. Dans nos modèles pédagogiques, les nombres sont fictifs et les échanges omis sont explicitement annoncés. Cette démarche évite de faire passer un exercice pour une mesure actuelle du système climatique.

Scénario fictif : une surface reçoit 420 watts par mètre carré d'entrées totales et cède 390 watts par mètre carré de sorties totales pendant dix minutes, supposées constantes. Le flux net vaut +30 watts par mètre carré. Sur 600 secondes, l'accumulation vaut 30 × 600 = 18 000 joules par mètre carré. On ne peut convertir immédiatement ce résultat en degrés sans connaître la masse concernée et sa capacité thermique, ni sans vérifier que d'autres transformations n'interviennent pas.

5. Capacité thermique et inertie

La capacité thermique indique l'énergie nécessaire pour faire varier la température d'un système dans les conditions spécifiées. Pour une masse m de substance dont la capacité thermique massique c est approximativement constante et sans changement d'état, Q = m × c × variation de température. Q s'exprime en joules si m est en kilogrammes, c en joules par kilogramme et par kelvin, et la variation en kelvins. La formule décrit un modèle limité ; elle ne s'applique pas sans précaution à une transformation comprenant évaporation ou fusion.

Dans un exercice fictif, 2 kilogrammes d'eau sont modélisés avec c = 4 200 joules par kilogramme et par kelvin. Les réchauffer de 3 degrés demande Q = 2 × 4 200 × 3 = 25 200 joules, si les autres échanges sont ignorés. Une puissance nette constante de 100 watts apporterait cette énergie en 252 secondes. Ce résultat est une conséquence des hypothèses ; il ne décrit pas un appareil réel, dont la puissance nette et les pertes peuvent changer.

L'inertie thermique explique qu'un milieu ne réagisse pas instantanément à une variation d'apport. Un réservoir important peut continuer à céder de l'énergie après une baisse du rayonnement reçu. Deux matériaux et deux épaisseurs différentes n'ont pas nécessairement la même réponse. Les océans et les sols participent ainsi à des rythmes différents, mais une phrase générale ne suffit pas à prévoir une température locale. Les transports et les changements d'état doivent aussi être étudiés.

6. Évaporation et énergie latente

Un changement d'état peut mobiliser de l'énergie sans produire la variation de température que prédirait la formule précédente. L'évaporation nécessite un apport énergétique ; la condensation libère de l'énergie vers l'environnement. Cette énergie participe aux échanges atmosphériques. Le terme latent ne signifie pas magique ou inaccessible : il distingue un transfert lié au changement d'état d'un réchauffement sensible dans le modèle employé.

Considérons une surface fictive recevant le même flux net disponible dans deux conditions. Dans la première, de l'eau peut s'évaporer ; dans la seconde, la surface est sèche et cette voie de transfert est réduite. Les variations de température peuvent différer parce que la répartition de l'énergie diffère. Il ne faut pas déduire automatiquement une température exacte du seul caractère humide ou sec. Le vent, l'approvisionnement en eau et les autres échanges modifient cette répartition.

Cette explication permet de comprendre pourquoi une observation de température ne suffit pas à décrire toute l'énergie échangée. Un système peut recevoir de l'énergie et l'utiliser en partie pour un changement d'état. Inversement, la formation de gouttelettes accompagne une libération énergétique qui influence le milieu. Les nuages ne sont donc pas seulement des dessins dans le ciel ; ils participent à des transformations physiques qu'un modèle doit représenter.

7. Équilibre radiatif, climat et variabilité locale

Un équilibre global de longue durée signifie que les entrées et sorties moyennes se compensent approximativement. Il n'impose ni une température uniforme ni l'absence de variations locales. Des régions reçoivent et cèdent des quantités différentes ; les circulations atmosphériques et océaniques redistribuent l'énergie. Une surface qui se réchauffe pendant l'après-midi n'est pas une preuve que toute la planète accumule au même instant une énergie proportionnelle.

Les gaz et les nuages interagissent avec le rayonnement selon les longueurs d'onde. Le mécanisme de l'effet de serre atmosphérique ne doit pas être assimilé entièrement à celui d'une serre de jardin, où d'autres échanges sont également modifiés. Le terme reste utile si l'on précise qu'il s'agit d'absorption et d'émission radiatives dans l'atmosphère. Ce chapitre ne calcule aucune projection climatique et ne transforme pas ce mécanisme en explication unique du temps de demain.

La couverture nuageuse peut modifier les apports solaires et les échanges infrarouges. Son effet net dépend des conditions ; une règle disant que les nuages réchauffent toujours ou refroidissent toujours serait inadéquate. Un même processus peut avoir des conséquences différentes selon le moment, l'altitude, l'épaisseur et les autres composantes du bilan. Cette limite est une invitation à poser la bonne question, non à renoncer aux explications physiques.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice 1 - Unités. Convertissez 12 degrés Celsius en kelvins. Une variation de température de 4 degrés Celsius correspond-elle à 277,15 kelvins de variation ?

Correction : 12 + 273,15 = 285,15 kelvins. Une variation de 4 degrés Celsius correspond à 4 kelvins, car le décalage entre échelles disparaît dans la différence. Ajouter 273,15 à une variation serait une erreur. Distinguez la valeur d'une température et l'écart entre deux températures avant de choisir l'opération.

Exercice 2 - Albédo fictif. Un flux de 600 watts par mètre carré arrive sur une surface opaque dont l'albédo, pour ce flux, vaut 0,25. Calculez les parts réfléchie et absorbée. Peut-on en déduire la température ?

Correction : la part réfléchie vaut 600 × 0,25 = 150 watts par mètre carré ; la part absorbée vaut 450 watts par mètre carré. La température n'est pas déterminée : les sorties, la capacité thermique et les transformations manquent. Même un calcul numérique exact peut donc conduire à une information partielle. Il faut nommer cette information au lieu de lui donner une portée qu'elle n'a pas.

Exercice 3 - Stockage. Un système fictif présente un flux net de −20 watts par mètre carré pendant cinq minutes. Calculez sa variation énergétique surfacique et interprétez son signe.

Correction : cinq minutes valent 300 secondes ; −20 × 300 = −6 000 joules par mètre carré. Le signe négatif indique une perte nette selon la convention annoncée. Il ne fournit pas directement une baisse de température en degrés. Une convention de signe doit rester la même dans tout le calcul ; un signe n'est pas une décoration ajoutée après le résultat.

Exercice 4 - Chauffage simplifié. Un volume d'air fictif représente une masse de 3 kilogrammes, avec c supposé égal à 1 000 joules par kilogramme et par kelvin. Il reçoit 9 000 joules sans autre échange ni changement de masse. Quelle variation donne le modèle ? Citez deux raisons pour lesquelles l'atmosphère réelle est plus complexe.

Correction : variation = Q / (m × c) = 9 000 / 3 000 = 3 kelvins, soit 3 degrés Celsius. Dans l'atmosphère, des déplacements et mélanges changent le système ; la pression et des transformations de l'eau peuvent également intervenir. Le résultat est valide dans les hypothèses, non une prévision locale. Dire lesquelles manquent est une partie de la réponse scientifique.

Exercice 5 - Argumentation. Une personne affirme que le vent ne peut pas influencer une surface ensoleillée puisque le soleil continue de rayonner. Construisez une réponse en utilisant un bilan.

Correction possible : le rayonnement décrit une entrée, tandis que le vent peut modifier les échanges avec l'air et l'évaporation. Une entrée inchangée n'impose pas un bilan inchangé. Il faudrait connaître l'ensemble des flux pour prévoir la variation. La réponse n'affirme pas que tout vent produit toujours la même conséquence ; elle identifie pourquoi l'argument initial est incomplet.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Les erreurs principales sont de confondre température et énergie, flux en watts et énergie en joules, température absolue et différence, absorption solaire et émission infrarouge. Une autre erreur consiste à expliquer tout changement par un seul mécanisme sans définir le système. Pour vous corriger, écrivez les entrées, les sorties et le stockage avant de calculer. Vérifiez ensuite les unités et les hypothèses.

Fiche de révision : conduction = transfert dans la matière ; convection = transfert associé au mouvement d'un fluide ; rayonnement = transfert électromagnétique. Énergie = puissance × durée lorsque la puissance est constante. Un bilan positif indique une accumulation, pas nécessairement un réchauffement directement calculable. Q = m × c × variation de température

exige un domaine d'application. Une transformation de l'eau peut mobiliser de l'énergie latente. L'équilibre moyen global ne supprime ni les contrastes ni les variations locales.

Sources et provenance : NOAA, The Transfer of Heat Energy, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/transfer-of-heat-energy, contrôle des trois mécanismes ; NASA, Climate and Earth's Energy Budget, https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/climate-and-earths-energy-budget/, contrôle de la distinction entre flux et bilan, courte citation signalée. Consultation du 11 octobre 2026. Aucun chiffre de budget terrestre ou graphique tiers reproduit. Toutes les valeurs d'exercice sont fictives et les développements pédagogiques originaux LFDP.

CHAPITRE 3 - PRESSION, DENSITÉ ET VENT : GRADIENTS ET CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE

1. La pression comme force répartie

La pression est une force rapportée à une surface dans la situation considérée. Son unité SI est le pascal : un pascal correspond à un newton par mètre carré. En météorologie, l'hectopascal est commode : 1 hPa = 100 Pa. Une différence de 6 hPa correspond donc à 600 Pa. Cette conversion ne change pas le phénomène ; elle change l'unité utilisée pour le décrire. Une valeur isolée exige encore une altitude, une date et une méthode de mesure.

À l'échelle microscopique, les constituants d'un gaz se déplacent et interagissent avec les surfaces. À l'échelle atmosphérique, le poids des couches situées au-dessus contribue à la pression observée. Ces descriptions se complètent. La pression n'agit pas seulement vers le bas ; le milieu exerce des actions dans différentes directions. Il ne faut pas imaginer l'air comme un empilement immobile de plaques solides. C'est un fluide dont les mouvements modifient la répartition de masse.

Dans un exercice fictif, une différence de pression de 500 Pa s'applique sur une surface de 0,2 mètre carré. Le produit donne une force de 100 newtons dans le modèle. Ce calcul ne décrit pas automatiquement la force subie par une personne ou un bâtiment : il faudrait connaître les pressions de chaque côté, les directions et la géométrie. Un nombre calculé correctement peut devenir trompeur si l'on change silencieusement l'objet auquel il s'applique.

2. Altitude et comparaison des stations

La pression diminue généralement lorsqu'on monte dans l'atmosphère, parce qu'une quantité moindre d'air se trouve au-dessus. La diminution n'est pas une pente universelle constante sur toute l'altitude. La température, la densité et la structure verticale interviennent. Une règle pédagogique locale ne doit pas être extrapolée sans domaine de validité. Pour comparer deux stations situées à des hauteurs différentes, il faut savoir si les valeurs sont des pressions réellement mesurées à la station ou des valeurs ramenées conventionnellement à un même niveau.

Scénario fictif : une station en vallée indique 1 010 hPa et une station sur un relief indique 930 hPa. On ne peut pas conclure immédiatement qu'une dépression locale de 80 hPa se trouve sur le sommet. L'écart d'altitude peut expliquer une grande partie de la différence. Une carte synoptique utilise des conventions permettant de comparer des lieux ; leur interprétation demande la légende et la méthode. Confondre valeur à la station et valeur ajustée conduit à inventer des gradients.

L'ajustement au niveau de la mer n'est pas un déplacement réel du baromètre. C'est un calcul qui dépend d'hypothèses physiques. Ce caractère calculé ne le rend pas inutile ; il donne un repère commun. Il rappelle toutefois qu'une donnée peut être une mesure brute ou une grandeur déduite. Un relevé destiné à comprendre la hauteur et un relevé destiné à comparer des systèmes météorologiques ne répondent pas exactement à la même question.

3. Densité, température et composition

La masse volumique, souvent appelée densité de l'air dans une discussion courante, rapporte une masse à un volume. Une masse volumique de 1,2 kilogramme par mètre cube signifie que le volume étudié contient cette masse dans les conditions annoncées. Elle varie avec la pression, la température et la composition. Le modèle de gaz parfait relie ces grandeurs par une équation ; pour l'air sec dans un domaine adapté, on écrit p = rho × R × T, avec T en kelvins et une constante R appropriée.

À pression égale et composition égale, augmenter la température réduit la masse volumique dans ce modèle. Il faut annoncer les conditions égales : chauffer un gaz dans un récipient rigide fermé ne reproduit pas une expansion à pression constante. Une phrase comme l'air chaud est toujours moins dense manque donc de précision si les autres grandeurs changent. La météorologie utilise des comparaisons situées, pas un adjectif qui remplacerait toutes les conditions.

Exemple original : deux portions d'air sec sont modélisées à la même pression, l'une à 283 K et l'autre à 293 K. Leur rapport de masses volumiques, rho chaud / rho froid, vaut 283 / 293, soit environ 0,966. La portion chaude est donc moins dense d'environ 3,4 % dans ce modèle. Le calcul n'établit pas à lui seul une trajectoire verticale : l'environnement, les mélanges et les contraintes du mouvement manquent. L'humidité introduit aussi une différence de composition que le modèle d'air sec ignore.

4. Le gradient de pression

Le gradient décrit la variation spatiale d'une grandeur et, sous sa forme vectorielle, sa direction de plus forte augmentation. Pour une première approche, on peut comparer une différence de pression à une distance. Deux zones séparées par une petite distance et présentant un même écart de pression que deux zones éloignées ne produisent pas la même variation par unité de longueur. C'est cette répartition, et non seulement le chiffre d'un centre dépressionnaire, qui intervient dans l'accélération de l'air.

La force de gradient de pression pousse l'air vers les pressions plus faibles. Cela ne signifie pas que le vent réel suive toujours une ligne droite du maximum au minimum. Dans le référentiel terrestre, la rotation, les frottements, les courbures et les autres composantes du mouvement interviennent. Une première explication peut isoler une force ; elle devient fausse lorsqu'elle se présente comme toute la trajectoire réelle.

Sur une carte, une isobare relie des points de même pression selon la convention utilisée. Des isobares rapprochées peuvent signaler un gradient horizontal plus fort, à intervalle de tracé et échelle comparables. Comparer directement deux cartes avec des intervalles différents peut tromper. Une carte peu détaillée n'est pas nécessairement une atmosphère sans contrastes. Il faut lire l'échelle graphique, l'altitude représentée et l'heure avant de tirer une conclusion.

5. Deux gradients fictifs à calculer

Dans une première situation, une différence de 8 hPa s'étend sur 400 kilomètres. Elle correspond à 800 Pa sur 400 000 mètres, soit 0,002 Pa par mètre en moyenne. Dans une seconde, la même différence s'étend sur 100 kilomètres : 800 / 100 000 = 0,008 Pa par mètre. Le deuxième gradient moyen est quatre fois plus grand. Le calcul compare deux répartitions idéalisées, pas deux prévisions de vent.

Si l'on réduit le mouvement à l'action du gradient sur de l'air de masse volumique uniforme rho, l'ordre de grandeur d'une accélération serait gradient / rho. Cette expression suffit à vérifier la dimension : Pa par mètre divisé par kilogramme par mètre cube donne des mètres par seconde carrée. Mais le vent réel ne peut pas être obtenu en multipliant cette accélération constante par une durée arbitraire ; les autres forces et l'évolution du gradient empêchent cette extrapolation.

Cette limite illustre une règle générale de modélisation. Une formule décrivant un effet instantané sous hypothèses ne donne pas automatiquement l'évolution complète. Pour prévoir un mouvement, il faut un état initial, des relations compatibles et une évolution des conditions. La connaissance d'un mécanisme est nécessaire, mais elle ne remplace pas toutes les informations d'une prévision.

6. Rotation terrestre et frottement

Dans le référentiel en rotation de la Terre, l'effet de Coriolis intervient dans la description des mouvements à grande échelle. Il dévie les mouvements vers leur droite dans l'hémisphère Nord et vers leur gauche dans l'hémisphère Sud, selon les conventions usuelles pour le mouvement horizontal. Il ne constitue pas une force qui crée à elle seule le vent à partir d'un air immobile. Son importance dépend notamment de l'échelle et de la latitude ; elle n'est pas identique pour une circulation synoptique et un petit tourbillon près d'un obstacle.

Loin du sol et sous des hypothèses adaptées, un équilibre approximatif peut s'établir entre effet de Coriolis et gradient de pression ; le vent peut alors être proche d'une direction parallèle aux isobares. À proximité du sol, le frottement modifie cet équilibre et le mouvement peut traverser davantage les isobares. Ces descriptions sont des modèles de compréhension, pas des règles de navigation. Les reliefs, bâtiments et circulations locales peuvent produire des écarts importants.

Le frottement et la rugosité ne rendent pas nécessairement tout vent faible. Ils modifient les vitesses, directions et turbulences. Un passage resserré peut canaliser un flux ; un obstacle peut créer des variations locales. Déduire une sécurité pratique d'une seule valeur moyenne serait donc inadéquat. Les rafales et les conditions particulières de l'activité doivent être recherchées dans les informations actualisées.

7. Circulations globales et repère historique

La distribution inégale de l'énergie, la rotation terrestre et les propriétés des surfaces contribuent aux circulations atmosphériques. Les schémas de cellules globales offrent un modèle moyen utile ; ils ne représentent pas chaque système à chaque instant. Les saisons et les différences entre continents et océans déplacent ou modifient les structures. Un dessin régulier sur un globe est une simplification que l'on doit interpréter à son échelle.

La NOAA rappelle que George Hadley a proposé en 1735 une explication de circulation liée aux régions équatoriales et aux vents. Ce repère historique montre qu'un modèle peut organiser une question puis être développé et corrigé. Il ne donne pas à un schéma ancien la valeur d'une prévision actuelle. Les détails de cette histoire et les figures de la NOAA ne sont pas reproduits ; notre point porte sur la différence entre modèle de circulation et état observé.

Une dépression n'est pas simplement un mauvais temps universel et un anticyclone un beau temps garanti. Les mouvements verticaux, l'humidité, la saison et les conditions locales modifient les phénomènes associés. Une situation de hautes pressions peut accompagner du brouillard ou d'autres conditions gênantes ; un point proche d'une basse pression peut connaître une période temporairement calme. Ces possibilités invitent à lire un bulletin complet, sans réduire toute la météorologie à une valeur barométrique.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice 1 - Conversion. Convertissez 1 005 hPa en pascals, puis une différence de 3,5 hPa. Pourquoi la pression absolue et une différence ne doivent-elles pas être interchangées dans un calcul de force nette ?

Correction : 1 005 hPa = 100 500 Pa ; 3,5 hPa = 350 Pa. Une action nette sur une surface dépend des actions de part et d'autre et de leur direction. Employer une pression absolue au lieu de la différence peut surestimer le résultat dans un modèle où les deux côtés sont soumis à des pressions proches. La grandeur pertinente doit être identifiée avant la multiplication.

Exercice 2 - Altitude. Deux stations à des altitudes différentes affichent des pressions différentes. Quelles informations demandez-vous avant de comparer la situation météorologique ?

Correction : altitude, pression à la station ou ajustée, convention d'ajustement, heure et qualité des mesures. Une différence brute peut être principalement liée à la hauteur. Il faudrait des données comparables pour discuter un gradient horizontal. Cette réponse ne calcule pas l'ajustement ; elle montre pourquoi il serait incorrect d'en inventer un sans hypothèses.

Exercice 3 - Gradient. Une carte fictive montre 5 hPa de différence sur 250 kilomètres. Une autre montre 5 hPa sur 50 kilomètres. Calculez les gradients moyens et leur rapport.

Correction : 500 Pa / 250 000 m = 0,002 Pa/m ; 500 Pa / 50 000 m = 0,010 Pa/m. Le deuxième vaut cinq fois le premier. Les valeurs ne donnent pas directement une vitesse de vent ; les autres forces et les conditions initiales manquent. Le rapport répond à la question posée sans fabriquer une prévision.

Exercice 4 - Densité. À pression et composition égales, un modèle donne T froid = 280 K et T chaud = 300 K. Quel rapport rho chaud / rho froid obtient-on ? Que ne permet-il pas de conclure ?

Correction : 280 / 300 = environ 0,933. La masse volumique du cas chaud est environ 6,7 % plus faible dans ce modèle. On ne connaît ni la vitesse verticale ni la durée d'une ascension ni les mélanges. La comparaison de densités peut contribuer à une explication de flottabilité ; elle n'est pas un calcul complet de circulation.

Exercice 5 - Critiquer une règle. Une personne affirme que les isobares indiquent toujours exactement la direction du vent au sol. Proposez une correction argumentée.

Correction possible : les isobares décrivent la pression selon une carte ; un vent approximativement parallèle peut apparaître sous certaines hypothèses à grande échelle et loin du frottement marqué du sol. Au sol, frottements, reliefs, courbures et structures locales modifient la direction. Le mot toujours dépasse le domaine du modèle. Il faut conserver l'intérêt de la carte sans la transformer en mesure directe de chaque vent local.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Les erreurs courantes confondent pression et masse volumique, altitude et gradient horizontal, centre de basse pression et vitesse du vent, vent moyen et rafale. D'autres appliquent un modèle à pression constante à un récipient de volume fixé ou attribuent chaque tourbillon à Coriolis. Pour vous corriger, annoncez le système, les conditions maintenues et l'échelle. Une formule ne doit pas circuler sans ses hypothèses.

Fiche de révision : 1 hPa = 100 Pa ; la pression à la station dépend de l'altitude ; une valeur ramenée à un niveau commun est calculée. Le gradient compare une variation à une distance. La force de gradient n'est qu'un terme de la dynamique. Coriolis,

frottement et environnement modifient la trajectoire. Les schémas globaux décrivent des structures moyennes et ne fournissent aucune alerte actuelle.

Sources et provenance : BIPM, Brochure du SI, https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure, contrôle des unités ; NOAA, Air Pressure, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure, repères de pression et de comparaison des stations ; NOAA, Global Atmospheric Circulations, https://www.noaa.gov/jetstream/global/global-atmospheric-circulations, repère Hadley 1735. Pages consultées le 11 octobre 2026. Aucun graphique, conseil barométrique ancien ou valeur opérationnelle repris. Calculs et scénarios fictifs originaux LFDP.

CHAPITRE 4 - EAU ATMOSPHÉRIQUE : VAPEUR, SATURATION, HUMIDITÉ RELATIVE ET POINT DE ROSÉE

1. Trois états de l'eau, plusieurs grandeurs

L'eau atmosphérique peut être gazeuse, liquide ou solide. La vapeur d'eau est invisible ; les gouttelettes et cristaux peuvent rendre un nuage visible. La quantité de vapeur et la présence d'un nuage sont donc deux informations différentes. Une journée sans nuage peut contenir de la vapeur ; un nuage peut exister sans produire de précipitation au sol. Confondre ces objets conduit à mal interpréter une mesure d'humidité.

L'humidité absolue exprime une masse de vapeur par volume, par exemple en grammes par mètre cube. L'humidité spécifique exprime une masse de vapeur rapportée à une masse d'air humide. Le rapport de mélange rapporte cette masse à celle de l'air sec. Ces définitions sont proches dans certains cas, mais leurs dénominateurs diffèrent. Il ne faut pas remplacer une grandeur par une autre seulement parce que toutes parlent d'eau dans l'air. Le choix dépend de la comparaison recherchée.

La pression partielle de vapeur, notée e dans notre modèle, décrit la contribution de cette vapeur à la pression du mélange gazeux. La pression de vapeur saturante, notée e_s(T), dépend de la température et du choix d'une référence sur eau liquide ou glace. L'humidité relative compare e à cette valeur de référence : HR = 100 × e / e_s(T). La formule indique immédiatement pourquoi une humidité relative n'est pas simplement une quantité de vapeur indépendante de la température.

2. La saturation n'est pas une bouteille pleine

Une image courante dit que l'air chaud peut contenir davantage d'eau. Cette image aide à retenir une tendance, mais elle risque de faire croire que l'air est un récipient doté de places fixes. La saturation concerne un équilibre entre phases et la pression de vapeur à une température donnée. Le comportement de l'eau ne dépend pas d'une capacité mécanique de stockage semblable à celle d'une éponge. Dans ce guide, l'image du récipient est donc remplacée par une relation entre grandeurs physiques.

À température plus élevée, la pression de vapeur saturante sur eau liquide est plus grande. Si e reste la même alors que e_s augmente, leur rapport diminue. L'humidité relative peut donc baisser sans que l'on ait retiré la quantité de vapeur correspondante. Il faut cependant préciser le processus supposé : dans une situation réelle, des échanges d'eau, de volume et de pression peuvent également modifier e. Une relation entre deux grandeurs n'autorise pas à oublier les transformations du système.

La saturation ne garantit pas à elle seule une pluie. La NOAA le rappelle par cette courte formulation : « does NOT necessarily mean that precipitation will occur ». Ce passage de huit mots concerne le lien entre saturation et précipitation ; il n'annonce aucune situation actuelle. Pour qu'une précipitation se forme et atteigne le sol, d'autres processus de croissance et de transport interviennent. Leur étude appartient au chapitre suivant.

3. Un calcul original à température variable

Notre premier modèle pédagogique fixe une pression partielle e = 1,2 kPa. Il utilise deux valeurs de référence arrondies choisies pour l'exercice : e_s = 2,4 kPa dans l'état A et e_s = 4,0 kPa dans l'état B, correspondant à un état plus chaud. Dans A, HR = 100 × 1,2 / 2,4 = 50 %. Dans B, HR = 100 × 1,2 / 4,0 = 30 %. La pression partielle a été maintenue identique par hypothèse, mais la valeur relative a changé.

Ces nombres ne constituent pas une table opérationnelle ni un relevé réel. Ils servent à isoler le rôle du dénominateur. Si une personne affirme qu'il y a forcément moins de vapeur dans B parce que 30 est inférieur à 50, elle a oublié que les références ne sont pas identiques. Comparer des pourcentages exige toujours de connaître ce à quoi ils se rapportent. La même erreur apparaît dans de nombreuses statistiques quotidiennes.

Un second modèle compare deux lieux fictifs. Le lieu C présente e = 0,8 kPa et e_s = 1,0 kPa, soit 80 %. Le lieu D présente e = 1,6 kPa et e_s = 4,0 kPa, soit 40 %. D a une pression partielle de vapeur supérieure malgré son humidité relative inférieure. On ne déduit pas de ces seules données une sensation individuelle, une température de surface ou une décision de santé. Le calcul démontre seulement la distinction entre grandeur absolue choisie et proportion relative.

4. Le point de rosée

Le point de rosée est la température à laquelle le refroidissement de l'air, dans les conditions précisées, amène à la saturation sur eau liquide. Il relie donc la vapeur présente et la température de saturation correspondante. Lorsque la température de l'air est proche du point de rosée, l'écart à cette saturation est faible. Cela n'établit pas automatiquement une visibilité déterminée ou une heure de formation du brouillard.

Dans un modèle fictif, une portion d'air se refroidit sans perte de vapeur avant la saturation et à pression maintenue. Si la valeur de référence e_s rejoint e, HR atteint 100 %. Un refroidissement supplémentaire peut conduire à une condensation sous des conditions adaptées. La phrase ne décrit pas toute l'évolution d'une masse d'air réelle : mélange, transport, surfaces et échanges d'eau peuvent modifier le trajet. Un point de rosée mesuré n'est pas une prévision autonome.

Le point de gelée correspond à une référence de saturation sur glace. Sous certaines températures, les références sur eau et sur glace diffèrent. Cette précision évite de présenter 100 % comme une frontière universelle unique sans annoncer le milieu de référence. Pour un premier apprentissage, retenez surtout qu'une définition physique doit préciser ses conditions. Les phénomènes fins de microphysique nécessitent ensuite des modèles plus détaillés.

5. Refroidissement, ajout de vapeur et mélange

Plusieurs chemins peuvent rapprocher l'air de la saturation. Le refroidissement réduit la valeur de référence ; l'ajout de vapeur augmente e ; le mélange de portions d'air peut produire une situation dont l'état final dépend des échanges et du bilan. Il ne faut pas attribuer tous les brouillards à un seul mécanisme. Des formations liées au refroidissement nocturne et d'autres liées au déplacement de l'air n'ont pas les mêmes conditions.

Scénario fictif : une surface se refroidit pendant une nuit et l'air voisin change de température. L'humidité relative augmente dans notre modèle si la vapeur ne diminue pas assez pour compenser. Cela n'oblige pas toute la région à se couvrir de brouillard : la ventilation, le profil vertical et les surfaces comptent. Une observation locale peut être compatible avec plusieurs évolutions. Pour une activité réelle, il faut consulter une prévision et les mesures actualisées de visibilité.

Autre scénario : un volume d'air intérieur et un volume extérieur ont des températures et humidités différentes. Leur simple moyenne arithmétique en pourcentage ne donne pas nécessairement l'humidité relative du mélange. Les pourcentages se rapportent à des températures différentes ; il faut d'abord conserver les grandeurs physiques et les bilans pertinents. Ce point explique pourquoi un calcul séduisant peut être faux malgré des opérations correctement exécutées.

6. Mesurer l'humidité sans confondre affichage et phénomène

Un hygromètre peut fournir une humidité relative selon sa technologie et ses conditions d'emploi. Un résultat dépend du capteur, de sa température, de son exposition et de son temps de réponse. Une valeur affichée juste après un déplacement entre deux milieux n'est pas nécessairement stabilisée. Il faut consulter le mode d'emploi de l'instrument et conserver l'incertitude pertinente. Ce guide n'autorise pas à transformer un capteur amateur en dispositif de contrôle sanitaire.

Les unités doivent rester cohérentes dans une formule. Si e est donné en pascals et e_s en kilopascals, il faut convertir avant de diviser. Le résultat du rapport est sans dimension et le facteur 100 l'exprime en pourcentage. Une humidité relative de 0,65 sous forme de fraction correspond à 65 %, pas à 0,65 %. Les erreurs de facteur peuvent se produire avant même toute discussion physique.

Une donnée d'humidité devrait accompagner une température, un lieu et un instant. Pour comparer deux jours, il peut être utile d'examiner aussi le point de rosée ou une mesure de quantité de vapeur adaptée. Aucun indicateur unique ne décrit tous les effets possibles du milieu. Une mesure doit être choisie en fonction de la question plutôt que parce qu'elle est disponible sur l'écran.

7. Des idées concurrentes à examiner

Première idée : une humidité relative élevée signifie nécessairement beaucoup de vapeur. Notre deuxième calcul montre la limite de cette affirmation. Deux valeurs relatives ne sont comparables comme quantités que si les références pertinentes sont connues. La reformulation correcte doit préciser la température et la grandeur utilisée pour décrire la vapeur.

Deuxième idée : lorsque l'air est saturé, la pluie est certaine. La saturation établit un état local par rapport à une référence, pas une précipitation complète. Le nuage, la croissance des particules, les courants et le trajet jusqu'au sol interviennent. Il faut distinguer une condition pouvant contribuer à un phénomène et une condition suffisante pour tout le résultat.

Troisième idée : un indicateur de confort décrit une sécurité universelle. Une information sur humidité et température peut aider à comprendre un milieu, mais la situation d'une personne dépend également de son activité et de nombreux facteurs. Ce guide ne produit aucune évaluation médicale individuelle. Les consignes sanitaires et conseils professionnels doivent rester distincts des exercices de physique atmosphérique. Une frontière claire améliore l'utilité du cours au lieu de la diminuer.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice 1 - Rapport et unités. Un modèle fournit e = 900 Pa et e_s = 1,8 kPa. Calculez HR et nommez la conversion nécessaire.

Correction : 1,8 kPa = 1 800 Pa ; HR = 100 × 900 / 1 800 = 50 %. Diviser directement 900 par 1,8 sans harmoniser les unités produirait un résultat absurde. Le contrôle d'ordre de grandeur complète le calcul : dans le modèle, e est la moitié de la référence, donc le résultat attendu est la moitié de 100 %.

Exercice 2 - Réchauffement fictif. Une portion d'air garde e = 1,0 kPa. La référence passe de 2,0 à 2,5 kPa. Calculez les deux humidités relatives. Quelle affirmation sur la vapeur n'est pas justifiée ?

Correction : 50 % puis 40 %. La baisse de pourcentage ne démontre pas ici une diminution de e, puisque celle-ci a été maintenue constante. Il faut aussi éviter de transformer ce modèle en règle pour tout réchauffement réel : si le système échange de

l'eau ou change d'autres conditions, e peut varier. Les hypothèses font partie du résultat.

Exercice 3 - Comparer deux lieux. Dans un lieu fictif, e = 0,6 kPa et e_s = 0,8 kPa ; dans l'autre, e = 1,2 kPa et e_s = 3,0 kPa. Quel lieu possède HR la plus élevée ? Lequel présente e la plus élevée ?

Correction : le premier présente 75 %, le second 40 %. La pression partielle de vapeur est pourtant plus élevée dans le second. Cette divergence est exactement l'objet de l'exercice. Elle ne nécessite aucun jugement sur une sensation ou un danger. Une bonne réponse conserve le nom de la grandeur au lieu de dire vaguement que l'un est plus humide.

Exercice 4 - Point de rosée. Une mesure fictive annonce température de l'air 14 degrés et point de rosée 13 degrés. Une autre annonce 24 degrés et point de rosée 13 degrés. Que peut-on comparer, et que ne peut-on annoncer ?

Correction : le premier état présente un écart plus faible entre température et point de rosée, donc se trouve plus proche de la saturation dans les conditions de définition. On ne peut annoncer une heure de pluie ni une visibilité précise. Il faudrait une évolution, un lieu et d'autres informations. Les nombres servent à une comparaison conceptuelle, non à une prévision réelle.

Exercice 5 - Argumentation. Une personne calcule l'humidité d'un mélange en faisant la moyenne de 20 % et 80 %, sans autre donnée. Expliquez pourquoi 50 % n'est pas nécessairement la bonne réponse.

Correction : les pourcentages peuvent renvoyer à des températures, pressions et masses différentes. Leur moyenne ne conserve pas directement une quantité physique de vapeur ni un bilan énergétique. Il faut préciser les masses, les états initiaux et la méthode de mélange. Dans certains cas particuliers, une moyenne

peut coïncider avec le résultat ; cette coïncidence ne justifie pas la méthode générale.

Exercice 6 - Lire une conclusion. « Le capteur indique 100 %, donc une pluie va commencer. » Reformulez la seule information obtenue et proposez deux informations supplémentaires pertinentes.

Correction : le capteur indique une humidité relative correspondant à la saturation dans ses conditions de mesure, avec ses limites et sa référence. On peut rechercher des informations sur le profil vertical, les nuages et l'évolution atmosphérique ; pour une décision réelle, un bulletin actualisé reste nécessaire. L'exercice ne fournit aucune procédure de prévision amateur garantie.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Les erreurs habituelles sont de voir la vapeur, de confondre HR et probabilité de pluie, de comparer des pourcentages sans température, de moyenner des références différentes et d'ignorer le temps de réponse d'un capteur. Une autre erreur associe saturation et précipitation certaine. Pour les corriger, écrivez la grandeur, son unité et son dénominateur avant l'interprétation.

Fiche de révision : vapeur invisible ; gouttelettes et cristaux distincts ; HR = 100 × e / e_s(T) ; point de rosée = température de saturation obtenue selon les conditions annoncées. Un pourcentage peut changer sans diminution de e. Saturation n'est pas pluie garantie. Une mesure locale ne remplace ni une prévision datée ni une consigne de sécurité actuelle. Les exemples numériques restent des modèles et non une table à utiliser pour une activité exposée.

Sources et provenance : NOAA/NWS, Discussion on Humidity, https://www.weather.gov/lmk/humidity, contrôle de la relation entre température, humidité relative et saturation, courte citation signalée ;

NOAA/NWS, Dew Point vs Humidity, https://www.weather.gov/arx/why_dewpoint_vs_humidity, contrôle de la définition du point de rosée. Consultation du 11 octobre 2026. Aucun tableau de confort, donnée actuelle ou série de mesures tiers reproduit. Analyses de ratios, exemples et corrections originaux LFDP.

CHAPITRE 5 - NUAGES ET PRÉCIPITATIONS : CONDENSATION, CRISTAUX ET MICROPHYSIQUE SIMPLIFIÉE

1. Un nuage visible n'est pas un bloc de vapeur

Un nuage visible rassemble de petites gouttelettes d'eau, des cristaux de glace ou les deux selon ses conditions. La vapeur reste une phase gazeuse invisible. Cette distinction explique pourquoi la visibilité d'un nuage ne donne pas directement la quantité totale de vapeur de l'atmosphère. Les particules diffusent la lumière ; leur taille, leur nombre, l'épaisseur du milieu et l'éclairage modifient l'apparence. Un nuage sombre n'est pas simplement rempli d'une substance plus noire.

La condensation transforme de la vapeur en eau liquide ; le dépôt sur glace transforme de la vapeur en solide. La congélation transforme du liquide en glace et la fusion fait le chemin inverse. Ces mots désignent des processus différents, avec des échanges énergétiques. Ne les remplacez pas tous par le terme refroidissement. Une baisse de température peut contribuer à un processus, mais il faut examiner les conditions de saturation et les phases présentes.

La microphysique étudie les transformations et interactions à l'échelle des particules. Notre guide en propose une compréhension simplifiée. Il ne fournit pas une simulation complète de nuage ni une méthode de prévision locale. Des mécanismes généraux peuvent être connus tandis que la quantité exacte d'une précipitation reste incertaine. La distinction entre expliquer un processus et prévoir son résultat demeure essentielle.

2. Ascension et refroidissement

Lorsqu'une portion d'air monte vers une pression ambiante plus faible, elle peut se dilater. Dans un modèle d'ascension sans échange thermique externe, appelé adiabatique, cette expansion accompagne un refroidissement. Il n'est donc pas nécessaire de supposer qu'un objet froid touche l'air pour expliquer toute baisse de température. Le modèle dépend toutefois de conditions : mélange, rayonnement et transformations de l'eau peuvent modifier la situation réelle.

Si l'air se refroidit suffisamment par rapport à la vapeur présente, il peut atteindre la saturation puis former des particules sous des conditions adaptées. L'énergie libérée par les changements d'état modifie la variation de température ; une ascension saturée ne suit pas exactement le même modèle qu'une ascension d'air non saturé. La différence dépend des conditions et ne se résume pas à un taux universel valable pour tous les nuages.

Exemple fictif : nous imposons pour un exercice une baisse de 8 degrés sur un kilomètre dans un premier trajet et de 5 degrés sur un kilomètre dans un second. Une température initiale de 20 degrés donnerait respectivement 12 et 15 degrés après ce déplacement dans les modèles. Ces taux sont des paramètres pédagogiques, non des valeurs à utiliser pour prévoir un vol ou une randonnée. Le résultat montre seulement pourquoi des hypothèses différentes produisent des évolutions différentes.

3. Noyaux et apparition des particules

Des particules présentes dans l'atmosphère peuvent faciliter la formation de gouttelettes ou de glace. Leurs propriétés et leur taille comptent. La formation d'un nuage ne doit donc pas être représentée comme une transformation instantanée de toute la vapeur dès qu'un pourcentage atteint exactement 100 sur un écran. Le processus se déroule dans un milieu dont les conditions varient et dont les particules ont des comportements différents.

Une gouttelette peut exister à une température inférieure à zéro degré sans avoir immédiatement gelé : on parle alors d'eau surfondue. Cela ne signifie pas que la définition de zéro degré soit fausse ; cela montre que l'état d'un système dépend aussi de la formation de la phase solide et des conditions. Les nuages contenant à la fois eau liquide et glace peuvent présenter des processus de croissance particuliers. Ces phénomènes demandent davantage qu'une règle fondée seulement sur la température.

L'eau, les aérosols et la dynamique interagissent. Modifier un nombre de particules peut changer une distribution de tailles, sans conduire à une conséquence identique dans toutes les situations. Une affirmation générale selon laquelle plus de particules produisent toujours plus de pluie serait excessive. Il faut examiner les mécanismes et le domaine étudié. Le chapitre conserve cette limite au lieu de transformer une idée de microphysique en recette de modification météorologique.

4. Grandir jusqu'à une précipitation

De petites gouttelettes ne deviennent pas automatiquement de grosses gouttes. La condensation augmente leur taille ; des collisions peuvent permettre une coalescence, c'est-à-dire une réunion de gouttelettes. Les tailles différentes et les mouvements relatifs influencent les rencontres. Des processus faisant intervenir la glace peuvent également contribuer à la croissance. La diversité des mécanismes explique qu'un même nom de nuage ne suffise pas à déterminer un total de précipitation.

Une démonstration géométrique originale aide à comprendre les échelles. Le volume d'une sphère est proportionnel au cube de son rayon. Doubler le rayon multiplie le volume par huit. Pour construire une particule de rayon dix fois plus grand à partir de particules identiques, sans pertes et en conservant le volume, il faudrait mille volumes initiaux. Le calcul n'explique pas la vitesse de formation réelle ; il montre pourquoi quelques rencontres seulement ne suffisent pas toujours à changer fortement l'échelle.

La chute d'une particule dépend des forces, de sa forme, du milieu et des mouvements d'air. Une particule peut descendre par rapport à l'air tout en restant momentanément portée par un courant ascendant. Il serait donc trompeur de dire que toute goutte tombe dès qu'elle possède un poids. Les gouttelettes possèdent déjà une masse ; ce qui change est leur mouvement dans un milieu. La précipitation observée au sol résulte d'un trajet, pas seulement d'une apparition en altitude.

5. Le trajet change ce qui arrive au sol

Une particule solide peut fondre dans une couche plus chaude ; une goutte peut rencontrer une couche froide et rester temporairement liquide ou changer d'état. Des profils verticaux différents produisent des résultats différents au sol. Une température mesurée près d'une porte ne décrit pas toutes les couches traversées. Il faut éviter de prédire le type de précipitation à partir d'un unique nombre sans profil ni évolution.

La neige présente des formes et des densités variées. Une hauteur de neige et une hauteur d'eau équivalente ne sont pas interchangeables avec un rapport fixe universel. Un manteau peut aussi se tasser et changer après sa formation. Dans un exercice de volume, il faut annoncer une masse volumique ou une équivalence choisie. Pour une décision réelle en montagne, ce cours ne remplace aucun bulletin spécialisé ni connaissance du terrain.

Une précipitation peut s'évaporer avant d'atteindre le sol. On peut voir une traînée sous un nuage sans recevoir de pluie à son point d'observation. Un radar peut détecter des particules au-dessus d'une zone ; l'interprétation de la quantité au sol demande des corrections et autres informations. Ne confondez pas absence de gouttes sur votre main et absence de précipitation dans toute la colonne atmosphérique.

6. Classer les nuages sans prétendre prévoir tout le temps

L'Atlas international des nuages de l'Organisation météorologique mondiale distingue dix genres : cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, altocumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus et cumulonimbus. Cette nomenclature permet une description commune. Elle ne constitue pas dix prévisions automatiques. Des espèces, variétés et particularités complètent la description, mais il n'est pas nécessaire de réciter toute la classification pour comprendre la limite entre observation et anticipation.

Les formes filamenteuses, en couche ou en amas donnent des repères visuels ; l'altitude et le développement vertical apportent d'autres informations. Une base et un sommet ne se situent pas nécessairement dans le même niveau. Les plages habituelles varient selon les régions. Une silhouette vue à travers une fenêtre peut rester ambiguë ; il est préférable de conserver cette incertitude que d'inventer une identification précise.

L'OMM rattache l'origine du système de noms latins aux travaux de Luke Howard en 1803. Ce repère historique montre l'intérêt d'une description partageable dans une discipline fondée sur l'observation. Il ne donne pas aux appellations une propriété magique de prévision. Les photographies et tableaux de l'Atlas ne sont pas reproduits ici ; les situations du guide restent des créations pédagogiques.

7. Deux scènes originales d'interprétation

Première scène fictive : un groupe voit des nuages en amas dont le développement augmente au cours de la matinée. Une personne annonce immédiatement une heure d'orage. Une autre note la forme et cherche un bulletin actualisé. La deuxième attitude distingue observation et prévision. Le développement peut constituer un indice pertinent, mais l'heure, le lieu et l'intensité ne sont pas déterminés par cette seule observation. Une décision exposée nécessite les informations officielles adaptées.

Seconde scène : une station ne recueille aucune pluie tandis qu'un radar montre un signal au-dessus de la zone. Plusieurs explications sont possibles : précipitation en altitude n'atteignant pas le sol, différence d'heure ou de localisation, limites de l'instrument ou de la représentation. Il faut lire les métadonnées avant de déclarer une contradiction. La démarche n'affirme pas que toute image radar est correcte ; elle organise les vérifications.

Une idée concurrente prétend que connaître le genre d'un nuage suffit à prévoir le temps. Elle reconnaît un lien entre structures et processus, mais dépasse les informations disponibles. Une autre idée dit que, puisque l'identification peut être difficile, les observations de nuages sont inutiles. Elle néglige leur contribution à la description du milieu. Une position raisonnable reconnaît une utilité limitée et refuse une promesse excessive.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice 1 - États et transformations. Distinguez vapeur, gouttelette et cristal, puis nommez le passage de vapeur à liquide et celui de liquide à solide.

Correction : vapeur = état gazeux invisible ; gouttelette = eau liquide ; cristal = état solide. Le passage vapeur-liquide est la condensation ; liquide-solide est la congélation. Une description

précise ne remplace pas ces transformations par le seul mot refroidissement. Des conditions énergétiques et de formation interviennent, même lorsque la température aide à comprendre le processus.

Exercice 2 - Volume. Une particule sphérique fictive possède un rayon triple d'une autre de même matière. Quel est le rapport de leurs volumes ? Combien de volumes petits correspondent au grand, dans un modèle sans perte ?

Correction : 3 au cube = 27. Il faut vingt-sept volumes initiaux pour égaler le grand volume. Cette équivalence géométrique ne fournit pas un nombre de collisions réelles ni un délai de croissance. Elle conserve seulement le volume dans le modèle. Une réponse scientifique doit indiquer cette portée.

Exercice 3 - Ascension modèle. Avec un taux imposé de baisse de 7 degrés par kilomètre, une portion d'air fictive monte de 500 mètres à partir de 18 degrés. Quel résultat obtient-on ? Peut-on utiliser ce seul calcul pour prévoir un nuage réel ?

Correction : 500 mètres = 0,5 kilomètre ; la baisse vaut 7 × 0,5 = 3,5 degrés ; la température modèle devient 14,5 degrés. Pour un nuage réel, il manque notamment l'humidité, l'évolution des taux, les mélanges et la dynamique. Le taux était une hypothèse d'exercice. Il ne devient pas une mesure atmosphérique parce que le calcul est exact.

Exercice 4 - Eau équivalente fictive. Un exercice impose qu'un dépôt de neige couvre 2 mètres carrés sur une hauteur de 0,10 mètre avec une masse volumique de 100 kilogrammes par mètre cube. Calculez son volume, sa masse et la hauteur d'eau liquide correspondante en supposant l'eau à 1 000 kilogrammes par mètre cube.

Correction : volume = 2 × 0,10 = 0,20 mètre cube ; masse = 0,20 × 100 = 20 kilogrammes. Le volume d'eau vaut 20 / 1 000 = 0,020 mètre cube ; réparti sur 2 mètres carrés, il donne 0,010 mètre, soit 10 millimètres. Le rapport provient de la masse volumique imposée ; il ne s'applique pas automatiquement à toute neige. Aucun bilan réel de manteau neigeux n'est fourni.

Exercice 5 - Signal et observation. Un signal radar et un pluviomètre semblent se contredire. Proposez quatre vérifications avant de choisir une conclusion.

Correction possible : comparer heures, zones, altitudes observées et grandeur représentée ; vérifier aussi les limites des instruments. Le radar peut observer des particules en altitude et le pluviomètre une quantité au sol sur une durée. Deux résultats peuvent être compatibles parce qu'ils portent sur des objets différents. Si les conditions sont réellement comparables, une erreur reste possible et doit être examinée.

Exercice 6 - Prévision abusive. Corrigez la phrase « Ce nuage est un cumulonimbus, donc la foudre frappera notre emplacement dans dix minutes. » sans minimiser un danger possible.

Correction : l'identification peut indiquer une situation à prendre au sérieux, mais elle ne fournit pas une trajectoire exacte ni un délai garanti. Il faut consulter les informations actualisées et appliquer les consignes de protection appropriées plutôt que chercher à prouver une minute précise. Le chapitre 7 traite les orages ; aucun exercice ne sert de justification pour prolonger une exposition réelle.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Les erreurs courantes sont de voir la vapeur, de confondre condensation et congélation, d'associer zéro degré à une transformation instantanée universelle, de déduire la pluie d'un nom de nuage et d'utiliser un rapport neige-eau fixe. Une autre confusion assimile un signal en altitude à une quantité mesurée au sol. Pour se corriger, suivez la particule, ses phases, son milieu et la grandeur observée.

Fiche de révision : un nuage contient des particules visibles ; l'ascension peut refroidir par expansion ; les changements d'état influencent l'énergie ; la croissance ne se réduit pas à l'apparition. Le volume sphérique varie comme le cube du rayon. Le trajet vertical transforme parfois le type ou la quantité arrivant au sol. Une classification décrit ; elle n'assure aucune heure de précipitation ni sécurité de terrain.

Sources et provenance : OMM, Atlas international des nuages, Genres, https://cloudatlas.wmo.int/en/principles-of-cloud-classification-genera.html ; OMM, Classifying clouds, https://public.wmo.int/world-meteorological-day-2017/classifying-clouds, repère Howard 1803 ; NOAA/NWS, Discussion on Humidity, https://www.weather.gov/lmk/humidity, distinction entre saturation et précipitation et repère de croissance. Consultation du 11 octobre 2026. Les calculs, personnages et interprétations de cas sont originaux LFDP. Aucune image de l'Atlas ni prévision actuelle reproduite.

CHAPITRE 6 - FRONTS ET MASSES D'AIR : ÉVOLUTION, RELIEF ET SITUATIONS LOCALES

1. Passer d'une mesure locale à une organisation de l'atmosphère

Un thermomètre indique une température à un endroit ; il ne décrit pas à lui seul l'air qui se déplace au-dessus d'une région. Pour relier les observations, on utilise notamment la notion de masse d'air : un ensemble étendu dont les propriétés de température et d'humidité présentent une certaine cohérence. Cette cohérence reste relative. Une masse d'air n'est pas un bloc rigide, entièrement uniforme et fermé aux échanges ; elle se transforme au cours de son déplacement.

Une région d'origine contribue à ses propriétés, puis le trajet au-dessus de la mer ou des terres les modifie. Les expressions maritime, continentale, polaire ou tropicale servent à décrire des caractéristiques et une histoire générale. Elles ne donnent pas directement la température d'un quartier à une heure précise. La saison, le relief, la durée du trajet et les échanges avec la surface peuvent changer les conditions observées. On doit éviter de traiter un nom de masse d'air comme un bulletin local complet.

L'objectif du chapitre est de comprendre comment une zone de transition et un relief peuvent organiser les changements. Nous utiliserons des schémas décrits en mots et des nombres fictifs. Ils ne permettent pas de prévoir le passage réel d'un front aujourd'hui. Pour une décision extérieure, une carte datée, une prévision locale et les messages officiels actuels restent nécessaires. La compréhension des mécanismes améliore la lecture de ces informations ; elle ne les remplace pas.

2. Un front est une transition, pas un mur

Un front sépare des masses d'air aux propriétés contrastées. Sur une carte de surface, il est représenté par une ligne conventionnelle, alors que la transition possède une extension et une structure verticales. La ligne constitue donc une simplification. Elle ne signifie pas que tous les paramètres changent exactement au même instant, ni que la pluie se limite à son tracé.

Les mots froid et chaud sont relatifs aux masses d'air comparées. Un air qualifié de froid peut être chaud au regard de nos habitudes s'il remplace un air encore plus chaud. Le vocabulaire indique surtout l'organisation du contraste et du déplacement. Cette précision est importante lorsqu'une carte d'été semble présenter un front froid dans une région où les températures restent élevées.

Une métaphore utile, mais limitée, consiste à comparer une carte à une coupe de tissu que l'on aurait aplatie. La ligne signale une organisation qu'on ne voit pas entièrement sur la surface. Il serait toutefois trompeur d'imaginer une frontière fixe et imperméable entre deux objets. Les mouvements, les échanges et les mélanges font partie de la situation. Lire la carte exige donc d'associer les symboles aux observations et à l'heure de validité indiquée.

3. Front froid, front chaud, front stationnaire et occlusion

Un front froid marque l'avancée d'air relativement froid qui remplace de l'air plus chaud près du sol. Un front chaud marque le remplacement inverse. Les mouvements verticaux associés peuvent favoriser la formation de nuages et de précipitations, mais leur intensité dépend de l'humidité, de la stabilité et d'autres conditions. Un nom de front n'impose donc pas une quantité de pluie identique dans toutes les situations.

Sur les cartes conventionnelles courantes, les triangles signalent un front froid et les demi-cercles un front chaud ; leur côté indique

le sens représenté de déplacement. Un front stationnaire utilise une alternance de signes de part et d'autre. Une occlusion est figurée par une alternance de triangles et de demi-cercles du même côté. Il faut néanmoins lire la légende du service qui fournit la carte : les couleurs seules sont insuffisantes, notamment pour une reproduction en noir et blanc ou un lecteur qui distingue mal certaines couleurs.

Une occlusion concerne une organisation dans laquelle l'air chaud est soulevé et n'occupe plus la même place près du sol entre les masses plus froides. On ne doit pas la présenter comme une disparition instantanée de tous les nuages ni comme la fin garantie d'une perturbation. Le système peut continuer à évoluer. Le mot stationnaire signifie quant à lui que la position du front change peu dans la représentation considérée, pas que l'atmosphère cesse de bouger.

Nous nous limiterons ici à la lecture des catégories. La structure réelle d'un système frontal demande des observations en altitude et des outils que ce guide ne fournit pas. Chercher une correspondance trop simple entre un symbole et le temps ressenti ferait perdre la distinction entre modèle explicatif, analyse de carte et prévision.

4. Pourquoi les changements ne suivent pas tous la ligne de surface

Le vent, la température, la pression et les précipitations n'ont pas nécessairement des transitions identiques. Un nuage peut apparaître avant que le contraste thermique ne soit mesuré au sol ; une zone de pluie peut déborder du tracé frontal. Une station est également influencée par son emplacement. Le passage d'une zone organisée à une série de mesures locales demande donc une interprétation, et non une lecture mécanique du symbole.

Un exemple original utilise trois stations fictives, A, B et C, espacées de quarante kilomètres. Une carte pédagogique montre un déplacement général de l'ouest vers l'est. À A, une baisse de température est mesurée à midi ; à B, elle est mesurée plus tard ; à C, une averse commence avant cette baisse. Ces indications sont compatibles avec une évolution organisée, mais elles ne suffisent pas à reconstruire toute sa structure. On ignore notamment les effets locaux et la précision des mesures.

Pour raisonner, séparez ce qui est donné et ce qui est supposé. Les horaires mesurés sont des données fictives de l'exercice. La régularité du déplacement est une hypothèse simplificatrice. L'affirmation que la même séquence arrivera à une quatrième station serait une prévision qui demanderait des informations supplémentaires. Ce classement empêche de transformer une illustration scolaire en règle de déplacement applicable à un événement réel.

On peut également poser une question de causalité : l'averse provoque-t-elle le changement de température, ou plusieurs processus contribuent-ils aux deux observations ? Une simple succession chronologique ne tranche pas. Des précipitations et leurs effets peuvent modifier localement la température ; l'arrivée d'une masse d'air différente peut également intervenir. Une bonne explication conserve plusieurs mécanismes compatibles au lieu de choisir le premier lien qui vient à l'esprit.

5. Le relief organise des différences locales

Lorsqu'un écoulement rencontre un relief, l'air peut être conduit vers une altitude plus élevée. Son expansion et son refroidissement peuvent favoriser la saturation si son humidité le permet. Cette situation contribue à expliquer certaines différences entre versants. Elle ne signifie pas qu'il pleut sur chaque montagne dès qu'un vent souffle, ni qu'un versant abrité reste toujours sec.

Le relief modifie également l'écoulement : un col, une vallée ou une pente ne reçoit pas forcément le même vent que la station de plaine la plus proche. Certaines différences sont plus petites que les mailles d'un modèle de prévision. Le Met Office souligne dans ses travaux sur l'orographie la nécessité de représenter les effets des montagnes dans les modèles. Notre objectif n'est pas de fournir une correction personnelle universelle, mais de comprendre pourquoi une prévision régionale peut avoir des limites locales.

Un exemple original compare deux lieux fictifs situés de part et d'autre d'un massif. La station au vent indique des nuages persistants et une pluie ; la station sous le vent rapporte des éclaircies. La présence du relief rend une différence plausible, mais ne permet pas d'attribuer automatiquement tout l'écart au seul soulèvement. L'altitude, l'heure, l'instrument et la situation générale doivent également être examinés. Une explication satisfaisante relie des indices ; elle ne transforme pas un seul facteur en cause exclusive.

Il est tentant de créer une règle comme ajouter un nombre fixe de kilomètres par heure au vent dès que l'on monte. Une telle règle n'est pas justifiée par la seule notion de relief. Les effets dépendent de l'orientation, de la stabilité et de la structure de l'écoulement. Pour une randonnée, une activité en hauteur ou une installation exposée, consultez une information adaptée au lieu et à l'activité, pas seulement la valeur d'une ville voisine.

6. Une coupe pédagogique et un calcul limité

Imaginons une ligne de transition fictive située à cent vingt kilomètres d'un point et se déplaçant, dans l'exercice seulement, à trente kilomètres par heure dans sa direction. Si la vitesse et la direction restent constantes, la durée géométrique vaut distance divisée par vitesse, donc quatre heures. Les unités se simplifient : kilomètres divisés par kilomètres par heure donnent des heures. Le calcul est cohérent avec ses hypothèses.

Ce résultat ne constitue pas une heure réelle d'arrivée de la pluie. La position représentée peut être incertaine, la vitesse peut varier et les précipitations peuvent être décalées par rapport à la ligne. La projection de la vitesse vers le point compte aussi : un déplacement oblique ne se traite pas comme un déplacement directement vers le lieu. Les quatre heures expriment uniquement ce que produisent les nombres du scénario simplifié.

Ajoutons une plage fictive de vitesses de vingt à quarante kilomètres par heure, en conservant une distance et une direction fixes. Les durées deviennent six heures et trois heures. On obtient une plage de scénarios géométriques, pas un intervalle probabiliste validé par des observations. Rien ne permet d'affirmer que la durée réelle possède telle probabilité de se trouver entre ces valeurs. Une plage de calculs et une prévision probabiliste ne sont pas la même chose.

Cette distinction sera reprise dans les chapitres consacrés aux modèles et aux probabilités. Elle fournit déjà une règle de lecture utile : une opération exacte peut reposer sur des hypothèses trop simplifiées pour guider une décision. La précision arithmétique n'efface pas l'incertitude des données ou du modèle.

7. Un repère historique vérifié

La fiche historique du Met Office rattache la représentation moderne des fronts à l'école de Bergen et décrit une proposition de symboles monochromes par Tor Bergeron en 1924. Nous retenons ce repère limité : triangles et demi-cercles permettent de communiquer une distinction sans dépendre uniquement de la couleur. Il ne s'agit pas de prétendre que tous les outils contemporains existaient déjà sous leur forme actuelle.

Cette histoire montre un problème commun aux sciences : représenter doit permettre de comprendre, comparer et transmettre. Un symbole peut rester utile tout en simplifiant fortement l'objet. L'apprentissage consiste à connaître sa fonction et sa limite. Il ne faut ni le prendre pour l'atmosphère elle-même, ni le rejeter parce qu'il ne montre pas toutes ses propriétés.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice 1. Une carte présente un front froid alors que la température après son passage fictif est de vingt-huit degrés. Est-ce une contradiction ?

Correction. Pas nécessairement. Froid décrit ici un contraste entre masses d'air, non une température universelle jugée froide par un observateur. Il manque la température de l'air remplacé et le contexte. L'erreur serait de convertir un qualificatif relatif en seuil absolu. Cette réponse n'autorise aucune conclusion sur le temps actuel dans une région.

Exercice 2. Une ligne frontale fictive est à quatre-vingt-dix kilomètres et avance directement vers un lieu à quinze kilomètres par heure. Calculez la durée simplifiée puis donnez trois raisons de ne pas annoncer l'heure exacte de la pluie.

Correction. La durée vaut quatre-vingt-dix divisé par quinze, soit six heures. Le déplacement peut changer, la position initiale peut être incertaine et la pluie peut être située en avant ou en arrière de la ligne. On pourrait ajouter la direction et les effets locaux. Le calcul répond à une question géométrique conditionnelle ; il ne constitue pas un bulletin opérationnel.

Exercice 3. Deux communes proches ont des observations différentes. Proposez une démarche qui ne conclut pas immédiatement à une erreur de mesure.

Correction. Vérifiez d'abord les heures, les emplacements et les instruments. Examinez ensuite l'altitude, l'exposition et la proximité d'un relief ou d'un littoral. Comparez ces données à une information régionale datée. Une différence peut être réelle, instrumentale ou liée aux conditions de comparaison. La démarche organise les hypothèses avant de choisir une explication.

Exercice 4. Un camarade affirme qu'une occlusion signifie beau temps immédiat et qu'un front stationnaire signifie absence de vent. Corrigez ces deux propositions.

Correction. L'occlusion décrit une organisation de masses d'air et un soulèvement ; elle ne garantit pas la disparition des nuages ou des précipitations. Stationnaire concerne la position du front, pas l'arrêt de tout écoulement. Les deux phrases attribuent à une catégorie cartographique une conséquence que sa définition ne contient pas.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Ne confondez pas ligne de carte et frontière verticale rigide. Ne lisez pas froid et chaud comme des seuils fixes. N'identifiez pas une vitesse de déplacement à l'heure de la pluie. Ne transposez pas une valeur de plaine à un versant sans information adaptée. Enfin, une carte sans date ou sans légende peut devenir un document pédagogique, mais ne doit pas servir de preuve de la situation actuelle.

Pour réviser, définissez masse d'air, front froid, front chaud, stationnaire et occlusion. Expliquez pourquoi un déplacement au-dessus d'une surface modifie des propriétés. Décrivez le rôle possible du relief sans promettre un résultat. Reprenez le calcul distance sur vitesse en énonçant chaque hypothèse. Terminez en distinguant mesure, interprétation et prévision : ces trois opérations sont liées, mais leurs résultats n'ont pas la même portée.

10. Sources primaires et prolongements

NOAA, How to read Surface Weather Maps, définitions et conventions : https://www.noaa.gov/jetstream/wxmaps Met Office, Weather fronts : https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/weather/atmosphere/weather-fronts Met Office, Rain, soulèvement frontal et orographique : https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/weather/types-of-weather/rain Met Office, Orographic processes, difficultés de représentation du relief : https://www.metoffice.gov.uk/research/foundation/parametrizations/orography Met Office, Factsheet 10, Air masses and weather fronts, notamment la rubrique historique « A brief history » : https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/library-and-archive/library/publications/factsheets/factsheet_10-air-masses-and-weather-fronts_2023.pdf Sources contrôlées le 11 octobre 2026. Aucun schéma ni tableau des éditeurs n'est reproduit ; les exemples, calculs et exercices sont originaux et fictifs. Ce chapitre ne fournit aucune information météorologique actuelle.

CHAPITRE 7 - ORAGES, FOUDRE ET PHÉNOMÈNES VIOLENTS : MÉCANISMES ET LIMITES DE PRÉVISION

1. Une formation organisée, des dangers distincts

Un orage associe une activité électrique à un nuage convectif développé. La foudre, les fortes précipitations, la grêle et les rafales peuvent constituer des dangers différents au sein d'une même situation. Il ne faut pas attendre que tous apparaissent pour reconnaître un risque. Une absence de pluie à l'endroit où l'on se trouve ne prouve pas une absence de danger lié à un orage voisin.

La convection est un mouvement qui transporte notamment de l'énergie et de la matière. Dans une atmosphère favorable, de l'air peut monter, se refroidir, former des nuages et participer à une organisation plus profonde. L'humidité, la stabilité et un mécanisme de déclenchement interviennent. Mais posséder certains ingrédients favorables ne permet pas d'annoncer automatiquement la formation d'un orage en un lieu et à une minute précise.

Ce chapitre sert à comprendre les mots employés dans un bulletin et à repérer les limites d'une interprétation personnelle. Il ne forme pas à la poursuite d'orages, ne fournit aucune alerte actuelle et ne remplace aucune instruction officielle. Les exemples sont fictifs. Toute observation pédagogique se fait depuis une situation sûre ; aucun exercice ne demande de s'approcher d'un orage ou de rester dehors pour prendre une mesure.

2. Courants ascendants et descendants

Une cellule convective contient des mouvements d'air. Le développement est alimenté par un courant ascendant ; des précipitations et des processus de refroidissement peuvent participer à des mouvements descendants. Dans son explication de la phase mature, la NOAA indique « updrafts and downdrafts coexist », soit la coexistence des courants ascendants et descendants. Ce court repère souligne qu'un orage développé n'est pas seulement une colonne d'air qui monte.

Le refroidissement et les précipitations peuvent favoriser un écoulement descendant qui s'étale près du sol. Ce fonctionnement contribue à expliquer des rafales parfois éloignées de la zone de pluie la plus visible. Une photographie ne restitue pas tous les mouvements. La partie spectaculaire d'un nuage et la zone la plus pertinente pour une décision ne sont donc pas nécessairement les mêmes.

Il faut conserver la distinction entre un schéma de cellule et un système réel. Plusieurs cellules peuvent se former, fusionner ou se renouveler ; une organisation durable peut continuer alors qu'une cellule particulière s'affaiblit. La durée pédagogique d'une cellule ne constitue pas une minuterie de sécurité. On ne peut pas annoncer qu'un danger sera terminé après un nombre fixe de minutes parce qu'un cours présente une succession de phases.

Un modèle explicatif est utile lorsqu'il montre les relations entre alimentation, développement et évolution. Il devient trompeur si l'on en tire un calendrier exact sans observation actualisée. Cette différence reviendra dans les chapitres sur la prévision numérique et la décision.

3. Éclair, foudre et tonnerre

Des mouvements et des interactions entre particules dans le nuage contribuent à la séparation des charges électriques. Une décharge peut se produire à l'intérieur d'un nuage, entre nuages ou entre l'atmosphère et le sol. La lumière visible correspond à l'éclair ; le tonnerre est le son associé au réchauffement très rapide de l'air et à son expansion. Voir l'éclair avant d'entendre le tonnerre s'explique principalement par la différence de vitesse de propagation de la lumière et du son.

La description scientifique ne permet pas d'identifier de manière certaine le prochain point d'impact. Une personne peut voir une activité éloignée sans disposer d'une information complète sur toutes les décharges. Les chiffres spectaculaires de température ou de tension parfois cités ne fournissent pas une méthode de protection personnelle. Comprendre un phénomène et pouvoir contrôler son occurrence sont deux capacités distinctes.

Un calcul de distance à partir d'un délai peut illustrer la propagation du son, mais il ne définit pas une zone extérieure sans danger. Le National Weather Service rappelle que l'audition du tonnerre signale une situation pouvant exposer à la foudre. Ce guide ne propose donc aucun seuil personnel d'attente à l'extérieur. Les consignes officielles de mise à l'abri prennent la priorité sur l'envie de terminer une observation.

4. Grêle, pluie intense et rafales ne se déduisent pas d'une seule image

La grêle se développe notamment par l'accumulation de glace autour de particules dans les courants d'un orage. Des gouttelettes peuvent rester liquides sous zéro degré avant de geler au contact. La croissance, la suspension et la chute dépendent de conditions qui ne sont pas lisibles dans une simple couleur du ciel. Une couche de glace observée au sol ne suffit pas à reconstruire tout le trajet d'un grêlon.

Une forte pluie peut concentrer rapidement de l'eau sur une surface. Ses effets dépendent de la durée, du sol, de la pente, du drainage et de l'écoulement en amont. Une quantité moyenne sur une région ne décrit pas nécessairement le cumul reçu par un quartier. De même, une rafale est une variation brève du vent ; elle ne se confond pas avec la moyenne indiquée sur une période.

Dans un exemple original, deux lieux fictifs reçoivent le même cumul de pluie sur une heure. Le premier dispose d'un drainage fonctionnel ; le second se situe au bas d'une pente et reçoit aussi du ruissellement. Les conséquences peuvent différer alors que le chiffre de pluie locale est identique. Ce cas montre pourquoi un risque ne dépend pas seulement de la mesure atmosphérique, mais aussi de l'exposition et de l'environnement.

Il serait dangereux de déduire de ce cas une capacité à traverser une zone inondée en estimant sa profondeur. L'exercice explique une différence d'effets ; il ne fournit aucune validation de passage. Une route, un pont ou un terrain peuvent être endommagés de manière invisible. Les fermetures et les instructions des autorités priment sur une analyse personnelle à distance.

5. Tornades et autres phénomènes : ne pas simplifier une causalité complexe

Une tornade est une colonne d'air fortement tourbillonnaire reliant un nuage convectif au sol. Toutes les cellules orageuses n'en produisent pas. Les mécanismes dépendent d'une organisation complexe des mouvements, notamment des variations du vent avec l'altitude et de processus propres à la cellule. Le National Weather Service souligne que la rencontre de masses d'air, présentée seule, est une explication trop simplifiée de la formation.

Ce constat ne signifie pas que toute connaissance soit inutile. Des conditions favorables peuvent être identifiées et des systèmes de surveillance peuvent fournir des alertes. Mais la capacité à prévoir un environnement favorable et la capacité à annoncer un phénomène très local avec une localisation et une intensité exactes ne sont pas identiques. Une incertitude fine n'annule pas la nécessité de suivre un message de protection.

Une erreur fréquente consiste à discuter longuement le nom précis d'un phénomène avant d'appliquer une consigne. Pour une personne exposée, le danger annoncé, l'action demandée et le lieu concerné sont prioritaires. La classification scientifique pourra être étudiée ensuite. Ce guide ne donne aucun exercice d'identification sur le terrain et ne demande aucune photographie rapprochée.

6. Un calcul pédagogique sur la propagation

Dans un scénario fictif étudié à partir d'un enregistrement, un délai de six secondes sépare la lumière et le son. Prenons une vitesse du son simplifiée de trois cent quarante mètres par seconde et négligeons le temps de propagation de la lumière à cette échelle. Le produit vaut deux mille quarante mètres, soit environ deux kilomètres. L'arrondi est adapté aux hypothèses : annoncer deux kilomètres et quarante mètres comme une mesure exacte serait excessif.

Ajoutons une incertitude pédagogique d'une seconde sur le délai. Avec cinq secondes, le calcul donne mille sept cents mètres ; avec sept secondes, deux mille trois cent quatre-vingts mètres. La variation montre que l'incertitude de chronométrage influence le résultat. On peut aussi examiner l'effet d'une vitesse supposée différente, car la propagation dépend des conditions du milieu. L'objectif consiste à relier mesure, hypothèse et résultat, pas à évaluer une distance de protection.

Pourquoi le calcul ne suffit-il pas pour décider de rester dehors ? Il concerne un événement déjà produit, pas le prochain. Il simplifie le trajet du son et les conditions atmosphériques. Il ne décrit pas l'étendue complète du système ni tous les points d'impact possibles. Enfin, attendre pour calculer peut retarder une mise à l'abri. La valeur scolaire d'une opération et sa pertinence pour la sécurité doivent être évaluées séparément.

Un travail de classe peut utiliser un fichier sonore et une vidéo autorisés, ou un scénario entièrement écrit. Il ne doit jamais demander d'obtenir soi-même la séquence pendant une situation dangereuse. La curiosité scientifique peut être exercée sans créer l'exposition qu'elle cherche à comprendre.

7. Deux scénarios de lecture de bulletin

Premier scénario original : une sortie fictive doit se dérouler près d'un bâtiment adapté, tandis qu'un bulletin actuel, dans l'exercice, annonce un risque d'orages sur le secteur. Le groupe connaît un lieu de repli mais ne sait pas combien de temps il faudrait pour y conduire tous les participants. La question prioritaire ne consiste pas à prédire visuellement l'heure exacte. Il faut vérifier les consignes applicables, la durée nécessaire pour agir et la possibilité de reporter l'activité.

Second scénario : un organisateur fictif constate une éclaircie et veut considérer qu'un système est terminé. Pourtant, les informations datées de l'exercice indiquent encore une activité dans le secteur. L'éclaircie locale est une observation, pas une confirmation suffisante de la fin du danger. Une décision doit intégrer la surveillance actuelle et les règles du lieu. Le guide ne fournit aucun délai de reprise universel ; les recommandations officielles et les responsables compétents doivent déterminer la conduite.

Ces situations montrent une dissymétrie importante. Pour commencer à se protéger, il n'est pas nécessaire de connaître parfaitement chaque mécanisme. Pour annoncer que le danger a disparu, une simple impression ne suffit pas. Reconnaître cette dissymétrie évite de transformer l'incertitude scientifique en prétexte à l'inaction ou à une reprise prématurée.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice 1. Distinguez éclair, tonnerre et foudre dans un court paragraphe. Expliquez pourquoi leur perception ne permet pas de calculer le prochain point d'impact.

Correction. L'éclair est la manifestation lumineuse d'une décharge ; le tonnerre est son effet sonore ; le mot foudre désigne

usuellement une décharge entre l'atmosphère et le sol. Un événement perçu renseigne sur ce qui s'est produit, avec des limites d'observation. Il ne donne pas les conditions exactes de toutes les décharges futures. Il faut donc suivre les consignes de protection plutôt que convertir cette perception en garantie.

Exercice 2. Dans un enregistrement fictif, le délai vaut neuf secondes. Utilisez la vitesse simplifiée de trois cent quarante mètres par seconde, puis expliquez la précision appropriée.

Correction. Le produit vaut trois mille soixante mètres. On peut dire environ trois kilomètres compte tenu des hypothèses et d'un chronométrage limité. La multiplication est exacte pour les nombres choisis, mais la distance physique n'a pas nécessairement cette exactitude. Ce résultat ne définit pas une distance extérieure sans danger.

Exercice 3. Une cellule visible s'affaiblit et un élève conclut que le système orageux entier est fini. Quelle information manque ?

Correction. Il manque l'état des autres cellules, la possibilité de renouvellement et les informations actualisées du secteur. Un système peut contenir plusieurs organisations dont les évolutions diffèrent. L'observation d'une cellule ne suffit pas à conclure sur l'ensemble. La correction ne prédit pas que le système se renouvellera ; elle montre que la conclusion n'est pas établie.

Exercice 4. Un bulletin fictif annonce de fortes rafales possibles sans indiquer le point exact qui les recevra. Est-il inutilisable ? Proposez un raisonnement.

Correction. L'absence de localisation exacte ne supprime pas toute information. La possibilité de rafales dans un secteur peut rendre une activité ou une installation vulnérable et justifier une mesure prévue par des consignes adaptées. La décision dépend de l'exposition, des alternatives et de l'autorité compétente. On ne

peut pas utiliser l'incertitude pour prouver que le lieu choisi sera épargné.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Ne transformez pas un schéma de cellule en durée garantie. Ne confondez pas absence de pluie et absence de foudre. Ne présentez pas une distance calculée après un éclair comme un seuil de protection. Ne réduisez pas une tornade à une rencontre de masses d'air. Enfin, une photographie spectaculaire ou une impression de calme ne remplace ni une information datée ni les consignes actuelles.

Pour réviser, reliez courant ascendant, courant descendant, précipitations et rafales sans supposer une séquence toujours identique. Distinguez les dangers d'un même système. Expliquez pourquoi un calcul exact peut être impropre à une décision de sécurité. Proposez enfin une observation pédagogique sans exposition : travailler une trace enregistrée et autorisée est souvent plus utile que chercher à produire soi-même une mesure dangereuse.

10. Sources primaires et prolongements

NOAA, Life Cycle of a Thunderstorm, court repère sur les mouvements : https://www.noaa.gov/jetstream/thunderstorms/life-cycle-of-thunderstorm National Weather Service, Understanding Lightning Science : https://www.weather.gov/safety/lightning-science-overview NOAA, Thunderstorm Hazards - Hail : https://www.noaa.gov/jetstream/hail NOAA, Types of Thunderstorms : https://www.noaa.gov/jetstream/tstrmtypes National Weather Service, Tornadoes FAQ, limites de l'explication et de la prévision : https://www.weather.gov/lmk/tornadoesfaq National Weather Service, Lightning Safety : https://www.weather.gov/safety/lightning-safety Sources contrôlées le 11 octobre 2026. La citation anglaise compte quatre mots ; aucune illustration, statistique de victime ou table de performance n'est reproduite. Les calculs et les scénarios sont originaux. Aucune alerte actuelle ni conduite médicale n'est fournie.

CHAPITRE 8 - Prévision numérique : conditions initiales, modèles et ensembles de scénarios

1. Prévoir signifie calculer une évolution à partir d'un état estimé

Une prévision météorologique décrit des états futurs possibles de l'atmosphère. Elle ne consiste ni à prolonger mécaniquement le temps observé hier, ni à reconnaître seulement une forme de nuage. Elle combine des observations, des lois physiques, des méthodes numériques et une expertise. Le résultat possède une échéance, une zone, des variables et des limites. Une prévision de température près du sol pour demain ne répond pas directement à une question de rafale sur une crête dans trois heures.

Une condition initiale est l'état à partir duquel un calcul commence. Pour l'atmosphère, cet état comprend notamment température, humidité, pression et mouvement de l'air en de nombreux points et à plusieurs niveaux. Il faudrait idéalement connaître ces grandeurs partout au même instant. Les observations restent pourtant dispersées, incertaines et parfois absentes. Un satellite, une station et un ballon ne mesurent pas exactement les mêmes choses, aux mêmes lieux et aux mêmes heures.

L'assimilation des données construit une estimation cohérente de cet état. Elle confronte des observations contrôlées à une estimation préalable, souvent issue d'une prévision récente. Une mesure nouvelle ne remplace donc pas automatiquement tout le champ calculé. Sa précision, sa représentativité et sa cohérence interviennent. Si un thermomètre mesure près d'un mur chauffé, le

nombre peut être correct pour ce point sans représenter toute une maille du modèle.

Dans la description institutionnelle de l'ECMWF, cette analyse sert de point de départ aux prévisions suivantes ; observations et modèles possèdent tous deux des incertitudes. Retenez la logique générale : observer, contrôler, comparer, ajuster, puis faire évoluer. Ce résumé pédagogique ne décrit pas toutes les méthodes opérationnelles. L'assimilation n'est ni une moyenne simple de tous les nombres disponibles, ni un moyen de connaître parfaitement le présent.

2. Une représentation discrète d'un milieu continu

Un modèle numérique est une représentation calculable de certains processus. Le modèle atmosphérique organise des équations, des données et des approximations. Une maille représente une portion de l'espace. Un pas de temps est l'intervalle entre deux étapes du calcul. L'air réel ne se déplace pas par cases et par bonds : cette organisation sert au calcul, pas à définir la réalité.

La résolution indique la finesse de cette représentation. Une grille plus fine peut mieux distinguer un relief ou certains mouvements, mais elle ne rend pas tous les phénomènes directement calculables. Un petit tourbillon, une goutte ou une rue restent souvent plus petits qu'une maille. Certains effets doivent alors être représentés par des relations simplifiées, appelées paramétrisations. Une paramétrisation n'est pas un nombre arbitraire : elle exprime un effet non résolu à l'échelle utilisée, avec des hypothèses à évaluer.

Imaginons une région carrée divisée en dix cases dans chaque direction horizontale : elle compte cent cases. Doubler ce nombre dans chacune des deux directions donne quatre cents cases, donc

quatre fois plus. Si la finesse verticale double également, le nombre de volumes devient huit fois plus grand. Cette expérience géométrique ne prédit pas la durée exacte d'un calcul : pas de temps, communications entre machines et méthode numérique ajoutent d'autres coûts.

Une résolution fine n'assure pas une bonne prévision si l'état initial est faux, si les processus sont mal représentés ou si l'on interprète incorrectement le résultat. Un dessin très détaillé peut donner une impression trompeuse de certitude. On doit distinguer finesse spatiale, exactitude et fiabilité : ces qualités sont liées, mais aucune ne remplace automatiquement les autres.

3. Comprendre une étape numérique sur un exemple contrôlé

Considérons un modèle fictif de refroidissement. Un objet possède une température T, tandis que l'ambiance reste à 10 °C. Nous supposons que sa vitesse de refroidissement est proportionnelle à l'écart T − 10, avec un coefficient k = 0,25 par heure. Ce modèle ne représente ni un nuage ni la température future d'une ville. Il sert uniquement à comprendre le passage d'une relation continue à un calcul par étapes.

Pour un pas h exprimé en heures, utilisons la règle T suivante = T actuelle − k × h × (T actuelle − 10). Le produit k × h est sans dimension. L'écart thermique est une différence de températures : sa valeur numérique est la même en degrés Celsius et en kelvins. À partir de 18 °C et avec h = 1 heure, le premier résultat vaut 18 − 0,25 × 8 = 16 °C. Après une deuxième étape, il vaut 16 − 0,25 × 6 = 14,5 °C.

Refaisons le calcul avec h = 0,5 heure. On obtient successivement 17 ; 16,125 ; 15,359375 ; puis 14,689453125 °C après deux heures. Les deux méthodes appliquent la même relation de départ,

mais approchent son évolution différemment. Leur écart final est environ 0,189 °C. Cet écart illustre un effet de discrétisation ; il ne constitue pas une incertitude météorologique mesurée.

Avec la solution continue de ce modèle élémentaire, T après deux heures vaut 10 + 8 × exp(−0,5), soit environ 14,852 °C. Si la fonction exponentielle n'a pas encore été étudiée, la comparaison entre les deux calculs suffit pour saisir l'idée. Réduire le pas améliore ici l'approximation. Il ne faut pas généraliser ce constat sans examen à toute méthode, tout phénomène et tout réglage.

Un contrôle utile vérifie aussi le comportement qualitatif. Dans ce cas, la température devrait se rapprocher de 10 °C, pas s'en éloigner sans cause. Un pas démesuré pourrait produire une évolution incohérente. La vérification d'un modèle combine donc calcul, unités et sens physique. Afficher beaucoup de décimales ne prouve aucune de ces qualités.

4. Incertitude initiale, incertitude du modèle et sensibilité

Une erreur initiale désigne un écart entre l'état utilisé et l'état réel. Elle peut venir d'une mesure, d'une zone non observée ou d'une estimation imparfaite. Une erreur du modèle résulte des équations retenues, des approximations, des paramètres ou du calcul. Une erreur d'interprétation apparaît lorsqu'un utilisateur attribue au résultat une signification qu'il ne possède pas. Les trois ne doivent pas être confondues.

Certaines évolutions atmosphériques amplifient de petites différences initiales. Dans un système chaotique, une connaissance imparfaite du départ limite progressivement la précision possible. Chaotique ne signifie pas dépourvu de lois ou totalement aléatoire. Une trajectoire peut être déterminée par des règles tout en restant difficile à prévoir longtemps, parce qu'on ne connaît pas son point de départ avec une précision infinie.

Notre objet refroidissant n'illustre justement pas cette amplification : deux températures initiales proches tendent ici à se rapprocher en refroidissant vers la même ambiance. Cette limite fait partie de la démonstration. Un exemple simple permet de comprendre la discrétisation, mais ne doit pas prétendre représenter tous les comportements de l'atmosphère. Un modèle pédagogique est utile quand on nomme ce qu'il explique et ce qu'il laisse de côté.

Supposons maintenant qu'une zone de pluie soit prévue près d'une frontière entre deux départements. Un léger déplacement de sa trajectoire peut fortement changer la pluie reçue à un point, même si la description régionale reste assez semblable. La difficulté n'est pas seulement la quantité : elle concerne aussi position et horaire. Une moyenne spatiale peut masquer cette sensibilité locale.

5. Pourquoi produire plusieurs scénarios ?

Une prévision d'ensemble explore plusieurs évolutions, obtenues notamment en variant l'état initial et certaines représentations du modèle. Un membre est un scénario calculé dans cet ensemble. L'ensemble aide à examiner la dispersion et des événements possibles. Tous les membres ne sont pas nécessairement indépendants ; ils peuvent partager des données, une structure et des erreurs. Leur accord n'est donc pas une preuve absolue.

Sur un exemple fictif, cinq scénarios donnent 15, 16, 16, 17 et 20 °C. Leur moyenne vaut 16,8 °C et leur médiane 16 °C. La moyenne résume la série, mais aucun scénario ne donne exactement 16,8 °C. Une moyenne de pluie peut également masquer une opposition entre des scénarios secs et des scénarios pluvieux. Il faut regarder la distribution, pas seulement son centre.

Seuls les membres à 17 et 20 °C atteignent au moins 17 °C dans cet exemple, soit deux sur cinq. Cette proportion décrit notre

petite série. Elle ne permet pas d'affirmer spontanément une probabilité météorologique réelle de 40 %. Pour une telle interprétation, il faut connaître la construction de l'ensemble, sa calibration et la définition de l'événement.

La calibration vérifie si les probabilités annoncées correspondent, sur des séries pertinentes, aux fréquences observées. Une méthode peut fournir une distribution très resserrée tout en étant trop confiante. Elle peut aussi produire une dispersion excessive. Fiabilité et finesse doivent être évaluées ensemble ; une prévision moins spectaculaire peut mieux représenter ce que l'on sait effectivement.

Le chapitre suivant approfondit ces probabilités. Pour l'instant, retenez qu'un ensemble n'est pas un vote de machines omniscientes. Il organise des scénarios afin de mieux caractériser l'incertitude. Il ne remplace ni les observations actualisées ni l'interprétation par les services compétents.

6. Du calcul au bulletin : dates, lieux et expertise

Le temps d'initialisation désigne le départ du calcul. Le temps de validité désigne le moment auquel un résultat se rapporte. L'échéance est leur différence. Une carte issue d'un calcul initialisé lundi à minuit peut montrer une situation mardi à midi. La date à laquelle on a téléchargé l'image ne transforme pas un calcul ancien en prévision nouvelle.

Les heures exigent également une attention explicite. UTC et heure locale ne sont pas interchangeables ; le décalage dépend du lieu et parfois de la saison. Il faut lire la convention du document plutôt que deviner. Une prévision sans date complète, zone ni unité est difficilement exploitable, même si son graphisme paraît familier.

Un résultat de maille n'est pas forcément la valeur exacte devant une maison. Relief, exposition, altitude et environnement proche peuvent modifier la situation. Le passage à un bulletin tient compte de ces écarts et du contexte. L'expertise humaine examine des observations nouvelles, plusieurs sorties et les limites connues. Elle ne consiste pas simplement à recopier une couleur sur une carte.

Pour conserver une prévision dans un carnet, notez fournisseur, initialisation si elle est indiquée, validité, zone, variable et incertitude. Lorsqu'une actualisation apparaît, comparez ces éléments avant les nombres. Une modification peut refléter des observations supplémentaires ; elle ne prouve pas à elle seule que tous les calculs précédents étaient inutiles. Une absence de modification ne constitue pas davantage une garantie.

7. Repères historiques et changement de méthode

La prévision numérique s'est développée avec les méthodes physiques, les observations et les moyens de calcul. Le Met Office situe sa première prévision informatique opérationnelle au 2 novembre 1965, après des travaux expérimentaux antérieurs. Ce repère concerne cet organisme, pas une prétendue première mondiale. Il montre le passage progressif d'une expérimentation à un service régulier.

L'ECMWF indique avoir produit ses premières prévisions opérationnelles en 1979 et ses premières prévisions d'ensemble en 1992. Ces dates, vérifiées dans sa présentation institutionnelle, éclairent la place croissante de l'incertitude. Les configurations, nombres de membres et moyens techniques évoluent : les chiffres d'une fiche historique ne doivent pas être attribués automatiquement au service actuel.

Il serait pourtant trompeur de raconter cette histoire comme un remplacement complet des personnes par des ordinateurs. Les observations doivent être conçues et contrôlées, les modèles étudiés et les résultats évalués. Le calcul augmente les possibilités ; il ne supprime pas l'obligation de définir ce que l'on mesure et de reconnaître ce que l'on ignore.

8. Exercices progressifs et corrections

Exercice A - Une mesure de 25 °C provient d'un capteur exposé près d'une façade. Peut-elle être utilisée comme température représentative de toute une région ? Correction : non, sans examiner son implantation et sa représentativité. Il faut distinguer la qualité de la mesure au point concerné et sa pertinence pour l'échelle du modèle. Un nombre réel peut être mal utilisé ; le rejet automatique de toute observation locale serait cependant une autre erreur.

Exercice B - Sur notre modèle fictif, partez de 22 °C, utilisez k = 0,25 par heure et deux pas d'une heure. Correction : le premier écart à l'ambiance vaut 12 ; T1 = 22 − 3 = 19 °C. Le second écart vaut 9 ; T2 = 19 − 2,25 = 16,75 °C. Le résultat suit une évolution vers 10 °C. Ce calcul ne dit rien sur la température de demain.

Exercice C - Dix scénarios donnent 0, 0, 0, 0, 0, 0, 4, 4, 8 et 14 mm pour une période fictive. Calculez moyenne, médiane et proportion strictement positive. Correction : la somme vaut 30 mm et la moyenne 3 mm ; les cinquième et sixième valeurs sont nulles, donc la médiane vaut 0 mm. Quatre valeurs sont positives, soit 40 % de la série. Dire que tous les scénarios annoncent une pluie faible de 3 mm serait faux.

Exercice D - Un calcul initialisé à 00 h UTC fournit un champ valide à 18 h UTC le même jour. Quelle est l'échéance ? Correction : dix-huit heures. Sans date ni convention locale, on ne peut pas

convertir ce champ en heure locale exacte. Précisez les informations manquantes avant de poursuivre.

Exercice E - Une publicité affirme : « Notre carte possède davantage de pixels, elle est donc plus fiable. » Construisez une objection. Correction : les pixels affichés ne prouvent ni la finesse du calcul ni son exactitude. Même une maille plus fine peut partager des erreurs initiales ou physiques. Il faut évaluer les résultats face aux observations, pour une variable, une zone et une échéance définies.

Exercice F - Rédigez un paragraphe distinguant modèle et réalité. Proposition : le modèle simplifie certains processus pour produire un calcul vérifiable. Ses résultats doivent être confrontés aux observations. Une simplification est acceptable si son domaine d'utilisation et ses effets sont étudiés ; elle devient trompeuse si on lui attribue une certitude ou une échelle qu'elle ne possède pas.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Ne confondez pas une mesure avec une analyse globale, une analyse avec une prévision future, un membre avec une probabilité certaine ou une moyenne avec un scénario unique. N'utilisez pas la dispersion seule comme garantie de fiabilité. Une erreur de date peut être plus grave qu'une différence de décimales. L'absence de réseau ne permet pas de prolonger indéfiniment la validité d'une prévision enregistrée.

Fiche de révision : observations et estimation préalable construisent l'analyse ; le modèle fait évoluer cet état avec des approximations ; maille et pas de temps organisent le calcul ; plusieurs scénarios explorent les incertitudes ; l'expertise interprète les sorties à l'échelle utile. Toujours identifier initialisation, validité, lieu, unité et fournisseur. Notre calcul de

refroidissement est une démonstration pédagogique, jamais un bulletin opérationnel.

10. Références primaires contrôlées

ECMWF, « Data assimilation » : https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation ; « Fact sheet: Ensemble weather forecasting », 2017 : https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2017/fact-sheet-ensemble-weather-forecasting . Consultations du 11 octobre 2026 ; méthodes générales et repères historiques, sans reprise de configuration chiffrée comme description actuelle.

Met Office, « History of numerical weather prediction » : https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/history-of-numerical-weather-prediction ; « How forecasts are made » : https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made . Consultations du 11 octobre 2026. Les exemples, calculs et exercices de ce chapitre sont originaux et fictifs ; aucune citation verbatim de ces pages n'est utilisée.

CHAPITRE 9 - Probabilités et incertitudes : lire un bulletin sans fausse précision

1. Un pourcentage doit porter sur un événement défini

Une probabilité quantifie une possibilité dans un cadre donné. Elle se situe entre zéro et un, ou entre 0 et 100 %. Sans définition de l'événement, le pourcentage reste incomplet. « 60 % » peut concerner une pluie mesurable en un lieu, le dépassement d'une température ou une catégorie climatique sur une saison. Ces événements n'ont ni la même durée ni le même seuil.

Définissons un événement fictif : recevoir au moins 2 mm de pluie à un point nommé A entre 14 h et 20 h d'une date précisée. Cette définition contient variable, seuil, lieu et période. Elle ne dit pas si la pluie tombe en dix minutes ou en six heures, ni si un point B voisin reçoit la même quantité. Modifier l'un de ces éléments change la question et peut changer la probabilité.

Une fiche du National Weather Service explique sa probabilité de précipitations à partir d'une quantité mesurable, d'un point et d'une période déterminés. Elle précise qu'un pourcentage ne désigne pas automatiquement la part de durée pluvieuse ni la fraction de surface couverte à un instant. Son seuil particulier appartient à ce produit américain ; on ne doit pas l'imposer à tous les fournisseurs. Pour lire un service réel, cherchez sa propre définition.

« Il existe 30 % de probabilité de cet événement » ne signifie donc ni « il pleuvra durant 30 % de ma sortie », ni « la pluie sera légère ». Une probabilité relativement faible peut concerner un événement intense. Une probabilité élevée peut porter sur une petite quantité. Probabilité, intensité et durée sont trois

informations distinctes, même lorsqu'elles apparaissent sur la même ligne.

2. Fréquence observée et probabilité annoncée

La fréquence est une proportion calculée dans une série d'observations. Si un événement apparaît 12 fois sur 40, sa fréquence vaut 12/40 = 0,30. Une probabilité annoncée avant l'événement est une estimation. On peut comparer les deux sur des séries pertinentes ; on ne transforme pas automatiquement la fréquence d'un petit échantillon en loi générale.

Une méthode qui annonce souvent 30 % peut être dite bien calibrée pour cette classe de situations si l'événement se produit approximativement trois fois sur dix, sur un échantillon suffisamment large et convenablement défini. Cela ne signifie pas que chaque groupe successif de dix contiendra exactement trois événements. Il existe des fluctuations, et les cas peuvent être liés entre eux.

Dans une série fictive de 200 annonces comparables à 30 %, on observe 64 événements, soit 32 %. Cet écart ne permet pas, isolément, de déclarer la méthode parfaite ou défaillante. Il faut examiner taille de l'échantillon, dépendances, définition des événements et stabilité de la méthode. En revanche, 150 événements sur les mêmes 200 cas demanderaient clairement une investigation : l'écart à 30 % serait important.

Le Met Office présente cette évaluation par groupes de probabilités et rappelle l'utilité de la calibration. Il précise : « ensembles cannot provide a perfect representation of probability ». Ces huit mots invitent à évaluer les méthodes au lieu de considérer leurs nombres comme parfaits. Une prévision particulière se réalise ou non ; la qualité d'une probabilité se juge au moyen de nombreux cas, pas par une seule réussite spectaculaire. Une annonce à 80 %

suivie d'une absence d'événement n'est pas logiquement impossible. Il reste nécessaire de vérifier si cette absence est exceptionnellement attendue ou trop fréquente.

3. Des résultats précis ne sont pas forcément fiables

La précision peut désigner la finesse d'un nombre, par exemple 17,284 °C. L'exactitude désigne sa proximité avec une valeur de référence pertinente. La fiabilité probabiliste concerne l'accord statistique entre les probabilités annoncées et les événements observés. Un résultat peut sembler très précis sans être exact ou fiable. Les mots doivent être séparés avant de comparer des produits.

Considérons deux services fictifs pour une température future. Le premier affiche une valeur unique de 18,00 °C, sans expliquer sa marge. Le second indique une plage probable de 16 à 20 °C, avec sa définition et ses limites. Le second affichage paraît moins assuré, mais il peut mieux représenter l'incertitude. Une plage large n'est cependant pas automatiquement utile : elle doit être informative et évaluée.

Un intervalle prévu à 80 % signifie, dans un cadre correctement calibré, qu'environ 80 % des cas comparables devraient y entrer. Il faut connaître ce cadre et la méthode. Cela ne transforme pas les limites de l'intervalle en barrières physiques. Une valeur extérieure reste possible. La confiance portée à une prévision ne doit pas être confondue avec une garantie contractuelle ou un engagement de sécurité.

Lorsque vous comparez deux cartes, examinez leur variable, leur échelle, leur échéance et leur définition avant de regarder laquelle présente le plus de décimales. Des valeurs provenant de points, d'altitudes ou de durées différentes ne deviennent pas

comparables par un simple changement de couleur. La précision visuelle peut masquer une différence de question.

4. Plusieurs heures : pourquoi ne pas additionner les pourcentages ?

Supposons que deux périodes successives possèdent chacune une probabilité de pluie de 40 %. Additionner 40 et 40 pour conclure 80 % sur l'ensemble est généralement faux. Les événements peuvent se recouvrir : la même perturbation peut concerner les deux périodes. Leur relation importe autant que leurs probabilités séparées.

Si A désigne la pluie dans la première période et B dans la seconde, la probabilité de A ou B vaut P(A) + P(B) − P(A et B). Il faut retirer le recouvrement compté deux fois. Avec P(A) = P(B) = 0,40 et P(A et B) = 0,25, la probabilité d'au moins une période pluvieuse vaut 0,55, soit 55 %. Ce calcul est un exemple fictif, pas la lecture cachée d'une application.

Si les événements étaient indépendants, le recouvrement vaudrait 0,40 × 0,40 = 0,16, donnant 64 %. Mais l'indépendance est une hypothèse, pas un réflexe. Des périodes météorologiques voisines sont souvent liées. Sans information sur cette relation, les deux pourcentages ne permettent pas de donner un résultat unique pour l'ensemble.

La même prudence s'applique à plusieurs lieux. Une pluie sur deux communes proches peut relever du même système. Multiplier ou additionner leurs probabilités sans modèle commun invente une information. Sur un plan purement mathématique, pour deux événements à 40 %, la probabilité d'au moins l'un se situe entre 40 et 80 %. Ces bornes ne disent pas où se trouve la bonne estimation météorologique.

5. Probabilité conditionnelle : le contexte compte

Une probabilité conditionnelle porte sur un événement lorsque l'on sait qu'un autre est réalisé. P(A sachant B) ne signifie pas P(B sachant A). Par exemple, la proportion de jours pluvieux parmi les jours nuageux n'est pas forcément la proportion de jours nuageux parmi les jours pluvieux. Le groupe de départ change.

Dans un carnet fictif de cent journées, soixante sont classées nuageuses et vingt pluvieuses. Quinze appartiennent aux deux catégories. La fréquence de pluie parmi les journées nuageuses vaut 15/60 = 25 %. La fréquence de journées nuageuses parmi les journées pluvieuses vaut 15/20 = 75 %. Les deux résultats sont corrects, mais répondent à des questions différentes. Les catégories et l'échantillon de ce carnet ne constituent aucun modèle réel.

Une observation nouvelle peut modifier une estimation. Cependant, constater localement un ciel sombre ne suffit pas à recalculer soi-même la probabilité d'un phénomène violent. Il faudrait des données pertinentes et une méthode validée. L'idée de conditionnement apprend à poser les bonnes questions ; elle ne fournit pas un outil d'alerte improvisé.

Les références climatiques possèdent aussi un contexte. Une anomalie est un écart à une référence définie, souvent une moyenne sur une période. « Plus chaud que la normale » exige de connaître cette normale. Une probabilité saisonnière d'anomalie ne prévoit pas précisément la température d'une journée particulière. Échelle temporelle et définition statistique doivent rester visibles.

6. Du risque à la décision : conséquences et alternatives

La probabilité d'un phénomène n'est pas sa conséquence. Le danger correspond au phénomène potentiellement dommageable ; l'exposition indique ce qui se trouve dans sa zone ; la vulnérabilité concerne la sensibilité et les moyens de faire face. Ces distinctions seront approfondies au chapitre suivant. Une même pluie peut avoir des conséquences différentes sur un sol, un bâtiment ou une activité.

Un raisonnement de décision peut utiliser une comparaison de coûts dans une situation sans enjeu de sécurité. Imaginons une exposition de dessins que l'on peut déplacer à l'intérieur pour 12 unités fictives de coût. Si une averse survient à l'extérieur, le dommage matériel vaut 80 unités. Avec une probabilité supposée de 20 %, la perte moyenne théorique de rester dehors vaut 0,20 × 80 = 16 unités, supérieure au coût du déplacement.

Ce calcul suppose que les coûts soient comparables, que l'estimation soit pertinente et que le déplacement évite réellement le dommage considéré. Il ne garantit pas qu'une averse aura lieu ; il compare des choix avant de connaître le résultat. Si aucune pluie ne survient, le déplacement peut rester une décision raisonnable au moment où il a été pris.

Le même modèle ne doit pas être appliqué comme autorisation de risquer une vie. Des obligations, des seuils réglementaires, l'impossibilité de réparer et la gravité des conséquences changent le raisonnement. Les consignes officielles et celles des responsables d'activité prévalent. Le calcul scolaire aide à comprendre l'incertitude ; il ne remplace pas une analyse de sécurité professionnelle.

Une bonne décision dispose aussi d'alternatives : reporter, réduire l'exposition, choisir un autre lieu ou annuler. Attendre une certitude absolue peut être impossible ; agir comme si toute

possibilité était certaine peut également rendre toute activité impraticable. L'enjeu consiste à utiliser l'information appropriée, actualisée, en fonction des conséquences et des règles applicables.

7. Évaluer sans sélectionner seulement les réussites

Un carnet de vérification doit enregistrer la prévision avant le résultat, puis la même variable observée au lieu et pendant la période définis. Modifier après coup le seuil ou la zone crée un avantage artificiel. Choisir uniquement les épisodes mémorables déforme également l'évaluation. Il faut conserver aussi les situations ordinaires et les erreurs.

Une méthode qui annonce toujours « pas de pluie forte » peut sembler souvent correcte dans un climat où cet événement est rare, tout en n'apportant aucune information utile quand il survient. Le taux global de réussite ne suffit donc pas. Il faut examiner ce que la méthode détecte, ce qu'elle manque, et comment elle se compare à une référence simple.

On peut créer pour un exercice un score élémentaire : pour chaque événement binaire, noter $y = 1$ s'il survient et $y = 0$ sinon ; calculer $(p - y)^2$, puis faire la moyenne. Une probabilité $p = 0{,}8$ suivie d'un événement donne 0,04 ; la même annonce suivie d'une absence donne 0,64. Le calcul pénalise une forte assurance contredite. Ce petit exemple mathématique ne suffit pas à valider un service réel ni à diagnostiquer toutes ses erreurs.

Une évaluation doit rester liée au domaine étudié. Des résultats sur la température régionale à courte échéance ne démontrent pas les mêmes qualités pour un orage local ou une saison future. Une comparaison pertinente utilise les mêmes cas, définitions et observations. Lorsque ces éléments manquent, la conclusion

honnête porte sur l'insuffisance des preuves, pas sur une supériorité inventée.

8. Exercices progressifs corrigés

Exercice A - Un bulletin indique 70 % de chance de précipitations sur une période. Peut-on en déduire une intensité ? Correction : non. Il faut la définition du seuil et les informations de quantité, de durée ou d'intensité. Le pourcentage porte sur l'événement défini par le fournisseur, pas automatiquement sur le caractère fort ou faible de la pluie.

Exercice B - Sur 120 cas annoncés à une probabilité de 25 %, l'événement apparaît 36 fois. Quelle est la fréquence et que peut-on conclure ? Correction : 36/120 = 30 %. L'écart à l'annonce vaut cinq points de pourcentage. Il faut davantage d'éléments pour juger la calibration : incertitude d'échantillonnage, comparabilité et dépendance des cas. Ne dites pas « cinq pour cent d'erreur » sans préciser le sens.

Exercice C - Deux périodes ont chacune 50 % de probabilité d'un événement et leur recouvrement vaut 35 %. Calculez la probabilité d'au moins une occurrence. Correction : 50 + 50 − 35 = 65 %. Sous une hypothèse d'indépendance, on aurait obtenu 75 %, mais cette hypothèse serait incompatible avec le recouvrement donné.

Exercice D - Dans une série fictive, 40 jours sont venteux, 10 connaissent des dommages matériels et 8 possèdent les deux caractères. Comparez les deux fréquences conditionnelles. Correction : dommage parmi les jours venteux, 8/40 = 20 % ; vent parmi les jours avec dommage, 8/10 = 80 %. Le résultat ne prouve pas que le vent soit la cause unique de tous les dommages.

Exercice E - Reprenez l'exposition de dessins avec une probabilité de 10 %. Correction : la perte moyenne fictive de rester dehors devient 8 unités, contre 12 pour déplacer. Cette comparaison

favorise rester dehors dans ce modèle très limité. Elle ne tient compte ni d'autres coûts ni d'obligations ; elle ne fournit aucun seuil universel pour une activité exposée.

Exercice F - Trois annonces p = 0,2 ; 0,7 ; 0,9 sont suivies de y = 0 ; 1 ; 1. Calculez le score élémentaire moyen. Correction : carrés 0,04 ; 0,09 ; 0,01, somme 0,14, moyenne environ 0,0467. Ces trois cas ne suffisent pas à classer durablement un service. Le score calculé constitue une mesure sur l'échantillon, pas une certitude sur tous les cas futurs.

9. Erreurs fréquentes et fiche de révision

Évitez quatre glissements : pourcentage vers intensité, probabilité vers durée, fréquence passée vers garantie future, précision affichée vers exactitude. N'additionnez pas des probabilités qui se recouvrent. Ne supposez pas l'indépendance de périodes voisines. Une faible probabilité n'annule pas une conséquence grave ; une décision raisonnable ne devient pas mauvaise simplement parce que le phénomène ne s'est finalement pas produit.

Fiche de révision : définir variable, seuil, lieu et période ; distinguer probabilité et observation ; examiner la calibration sur des séries ; vérifier les relations entre événements ; considérer conséquences, alternatives et consignes. Lire une plage et une probabilité avec leur définition. Aucun calcul de ce chapitre ne produit une prévision actuelle ni une autorisation de sécurité.

10. Références primaires contrôlées

National Weather Service, « Precipitation probability », fiche pédagogique : https://www.weather.gov/media/pah/WeatherEducation/pop.pdf . Définition et limites de lecture du produit américain, sans généralisation de son seuil à tous les services.

Met Office, « Using ensemble forecasts in decision-making » : https://www.metoffice.gov.uk/research/weather/ensemble-forecasting/decision-making ; « How to

use our long-range predictions » : https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/seasonal-forecast/user-guide . Consultations du 11 octobre 2026. Les séries, coûts, exercices et calculs sont des créations fictives ; une seule citation verbatim de huit mots de la première page est utilisée.

CHAPITRE 10 - Vigilance, alerte et décision : danger, exposition et autorités compétentes

1. Le phénomène et ses conséquences ne sont pas la même chose

Une forte pluie constitue un phénomène météorologique ; les dommages qu'elle peut provoquer dépendent aussi du lieu, de ce qui s'y trouve et des moyens de protection. On ne passe pas directement d'une quantité de pluie à une conséquence humaine unique. Relief, état du sol, réseau d'évacuation, constructions et activités modifient la situation. Une description du risque doit relier plusieurs éléments plutôt que réduire tout à un chiffre.

Le danger est ici un phénomène susceptible de provoquer des dommages. L'exposition désigne la présence de personnes, de biens ou d'activités dans une zone concernée. La vulnérabilité correspond aux conditions qui les rendent plus sensibles aux effets de ce danger. Les capacités comprennent les ressources permettant de prévenir ou de limiter certaines conséquences. Ces distinctions s'appuient sur la terminologie institutionnelle de l'UNDRR ; elles servent à organiser une analyse, pas à calculer automatiquement un score universel.

Dans un exemple fictif, deux réserves de livres reçoivent la même pluie extérieure. La première se trouve dans un local bas où l'eau peut entrer ; la seconde dans un bâtiment adapté et entretenu. L'intensité du phénomène est comparable, mais les conséquences possibles diffèrent. Cela ne permet pas de certifier la sécurité du second bâtiment sans étude. L'exemple montre seulement pourquoi les caractéristiques du lieu comptent.

Il faut également éviter de rendre les personnes seules responsables de leur vulnérabilité. Accès au logement, transports, information ou moyens matériels influencent les possibilités de protection. Une consigne identique peut être plus difficile à appliquer pour une personne isolée ou dépendante. Comprendre cette différence permet une préparation plus réaliste ; cela ne donne pas à un guide le pouvoir de remplacer les services compétents.

2. Prévision, vigilance et alerte : trois fonctions

Une prévision décrit une évolution météorologique attendue, avec ses incertitudes. Une information de vigilance attire l'attention sur un danger potentiel et ses conséquences possibles dans une zone. Une alerte transmise par une autorité compétente vise une situation nécessitant des mesures ou des comportements de sauvegarde. Ces fonctions se complètent, mais ne doivent pas être confondues.

Météo-France explique que sa vigilance complète les prévisions et peut conduire les autorités à activer une procédure d'alerte. Dans l'Hexagone, sa présentation utilise quatre couleurs et des informations territoriales pour la journée en cours et le lendemain. La couleur doit être lue avec le phénomène, la période et les bulletins associés. Elle ne constitue ni une température, ni une probabilité brute, ni une instruction identique pour toutes les situations.

La présentation ministérielle distingue également anticipation du danger et alerte des populations. Les autorités peuvent transmettre des consignes adaptées : leur contenu dépend du phénomène et du contexte. On ne doit donc pas déduire soi-même un ordre d'évacuation d'une simple couleur, ni ignorer une consigne locale parce qu'une carte générale semble rassurante. Une information plus spécifique peut répondre à une autre échelle.

La structure d'un système varie selon les pays et les territoires. Certaines zones possèdent des dispositifs particuliers, notamment pour les phénomènes cycloniques ou les crues. Un vocabulaire français ne suffit pas à interpréter toutes les alertes internationales. Avant un déplacement, identifiez le service météorologique et les autorités compétentes pour le lieu concerné. Ce chapitre décrit des principes et des références, pas leur état actuel.

3. Lire une information complète, pas seulement sa couleur

Une lecture rigoureuse commence par le fournisseur et l'heure de mise à jour. Elle identifie ensuite la zone, le phénomène, le début et la fin de validité, puis les conséquences et les conseils associés. Une ancienne capture peut conserver un graphisme convaincant tout en ayant perdu sa pertinence. Si la date est coupée, il manque un élément essentiel.

Il faut examiner également les limites géographiques. Une information départementale ne décrit pas nécessairement chaque rue, vallée ou itinéraire de la même manière. À l'inverse, une observation ponctuelle ne suffit pas à invalider une information portant sur un territoire plus large. Voir un ciel calme devant soi ne prouve pas l'absence de danger sur une route ou durant la période suivante.

Un niveau de vigilance peut dépendre de la sensibilité du territoire, pas seulement d'un seuil météorologique identique partout. Une infrastructure ou une activité peut être perturbée par une situation relativement ordinaire ailleurs. Le lecteur ne doit donc pas comparer deux couleurs comme s'il comparait deux mesures universelles de puissance. Il faut regarder les raisons et les conséquences décrites.

Les prévisions de pluie et les informations de crue répondent aussi à des questions distinctes. La pluie tombe sur une zone et pendant une durée ; l'eau peut ensuite se déplacer et s'accumuler dans un bassin. Une crue ne se résume pas à la pluie observée au point où l'on se trouve. Les services spécialisés apportent des informations qui ne peuvent être reconstruites avec un simple thermomètre ou un aperçu du ciel.

Pour une étude scolaire, constituez une fiche de lecture vide : organisme, publication, validité, territoire, phénomène, niveau, conséquences, consignes, prochaine actualisation connue. Remplissez-la avec un document ancien clairement identifié comme exercice. Ne laissez jamais cette fiche pédagogique être confondue avec une alerte active.

4. Distinguer observation locale et autorité d'une consigne

Une observation locale peut être utile pour comprendre ce qui se passe. Elle ne confère pas la compétence de décider pour toute une population. Les autorités et les services utilisent d'autres données, connaissent les infrastructures et peuvent coordonner les moyens. Leur consigne ne doit pas être remplacée par une conclusion improvisée à partir d'un seul signe.

Dans une situation fictive, une personne voit que le vent baisse et souhaite réouvrir une activité extérieure suspendue. Cette observation peut être exacte à cet instant. Il manque pourtant l'évolution prévue, l'état du site et les instructions du responsable. Une baisse momentanée n'établit pas la fin du danger. Le bon raisonnement identifie les informations manquantes au lieu de convertir un soulagement en autorisation.

Le ministère de l'Intérieur présente FR-Alert comme un moyen de diffuser aux personnes d'une zone des messages contenant des consignes de sauvegarde. Sa page rappelle : « Respectez ces

consignes ». Cette citation de trois mots souligne l'autorité des instructions de sauvegarde. Le ministère décrit aussi les sirènes et les médias institutionnels comme moyens complémentaires. Le guide n'assure ni réception d'un message sur tout téléphone ni fonctionnement de chaque canal dans une situation donnée. Préparer plusieurs moyens d'information est plus prudent que dépendre d'une seule application.

Si une alerte est reçue, lisez son autorité, sa zone et ses consignes ; suivez les instructions officielles adaptées. Ne transformez pas un message transféré ou une vidéo non datée en nouvelle alerte. Vérifier une information signifie revenir, lorsque cela est possible sans se mettre en danger, vers sa source officielle et son contexte. Cela ne justifie pas de retarder l'application d'une consigne claire pendant une situation urgente.

5. Construire une décision avant la situation difficile

Une préparation utile définit des critères avant que le coût d'un changement devienne trop important. Imaginons une association qui prévoit une exposition extérieure de documents fragiles. Elle peut déterminer à l'avance un lieu intérieur, une personne responsable, un horaire de décision et un moyen d'informer le groupe. Cette organisation n'empêche pas la pluie, mais limite la confusion.

Un critère de report doit reposer sur des informations adaptées à l'activité et sur les exigences du responsable compétent. Ce guide ne fournit pas de seuil de vent ou de pluie autorisant universellement un événement. Le poids d'une installation, le terrain, les participants et les règles applicables changent la situation. Un seuil scolaire fictif ne peut pas être copié comme protocole réel.

La décision possède plusieurs dimensions : ce que l'on sait, ce qui manque, ce que l'on peut modifier et le moment où il faut choisir. On peut préparer un scénario de maintien, un scénario d'adaptation et un scénario de report. Les scénarios ne doivent pas dissimuler une même exposition derrière trois noms différents. Si l'alternative ne réduit pas réellement le risque, elle n'apporte pas la protection attendue.

Il faut ensuite communiquer une décision compréhensible. « L'événement est déplacé à l'intérieur selon l'instruction du responsable » est plus précis qu'un message ambigu laissant chacun deviner. Le document doit donner lieu, horaire et personne de contact appropriée. En situation d'alerte réelle, les consignes officielles prennent le pas sur le programme prévu ; la préparation ne transforme pas l'organisateur en autorité de secours.

6. Pourquoi une vigilance peut ne pas être suivie du phénomène attendu

L'information porte sur une évolution encore incertaine. Un phénomène peut se décaler, être moins intense ou avoir des conséquences différentes. Une absence d'événement au point où se trouve un individu ne démontre pas nécessairement une erreur pour toute la zone. Mais elle ne rend pas l'évaluation inutile : les services doivent examiner ce qui a été prévu et observé aux échelles pertinentes.

Les fausses alertes et les événements manqués correspondent à des situations différentes. Une information trop fréquente et peu pertinente peut conduire à une moindre attention. Une information trop rare peut laisser des dangers sans préparation. Ce compromis doit être étudié avec des observations, des conséquences et des objectifs clairement définis. Il ne se résout pas par la volonté d'avoir toujours raison sur un cas isolé.

Évaluer après coup ne doit pas confondre résultat et qualité de la décision initiale. Si une association avait déplacé son exposition en présence d'un danger annoncé et qu'aucune pluie ne survient finalement, cette décision peut avoir été justifiée par les informations disponibles. Pour l'examiner, reconstituez ce qui était connu au moment du choix, pas seulement ce que l'on sait ensuite.

Une autre erreur consiste à prendre un bilan historique de performance comme une garantie personnelle. Un service peut présenter de bonnes statistiques sans assurer qu'aucun événement futur ne sera manqué. Le lecteur doit conserver l'attention aux signes locaux, aux actualisations et aux consignes. Ni confiance absolue ni rejet systématique : la qualité d'une source justifie son usage, avec ses limites.

7. Information, rumeur et responsabilité collective

Une rumeur météorologique possède souvent trois attraits : une formulation urgente, une image frappante et une conclusion simple. Ces qualités ne prouvent pas sa vérité. Une vidéo d'un événement ancien peut être présentée comme actuelle ; une carte de scénario extrême peut devenir, dans un message transféré, une prévision certaine. Le changement de contexte suffit à transformer une information réelle en affirmation trompeuse.

Avant de partager, vérifiez le fournisseur, la date, le lieu, la variable et le statut. S'agit-il d'une prévision, d'une observation, d'une illustration ou d'un exercice ? Une incertitude essentielle ne doit pas disparaître du résumé. Lorsque la vérification n'est pas possible, ne présentez pas le message comme une consigne officielle. Vous pouvez signaler l'incertitude sans propager une affirmation assurée.

La responsabilité collective comprend aussi l'accessibilité. Une information peut être officielle mais difficile à comprendre pour

une personne qui ne connaît pas le vocabulaire ou la langue. On peut aider à lire les termes, identifier la source et transmettre fidèlement la consigne. Il ne faut pas inventer une adaptation clinique ou une instruction contraire. Pour des besoins particuliers, la préparation se fait avec les interlocuteurs compétents avant l'événement.

Le guide hors ligne peut soutenir cette compréhension du vocabulaire. Il ne sait pas si une vigilance est active aujourd'hui, si une route est ouverte ou si une autorité a changé ses instructions. La bonne utilisation consiste à apprendre les distinctions, puis à consulter les informations actualisées nécessaires au moment de décider.

8. Étude de cas fictive : une sortie d'observation reportée

Une classe souhaite observer des nuages depuis une terrasse autorisée. La veille, le responsable reçoit une information annonçant un risque de phénomène dangereux pendant le créneau envisagé. Une photo du site prise le matin montre pourtant un ciel clair. Comment organiser l'analyse sans prétendre produire une nouvelle prévision ?

Première étape : identifier l'information pertinente, son fournisseur, sa validité et la zone. Deuxième étape : connaître les instructions de l'établissement et du responsable. Troisième étape : envisager une activité intérieure équivalente, par exemple comparer des photographies datées ou analyser une carte d'exercice. Quatrième étape : communiquer le changement et expliquer que la photo instantanée ne décrit pas toute la période.

Le report n'est pas la preuve que l'on sait exactement ce qui arrivera. Il traduit une décision prudente dans un cadre d'organisation. L'exercice intérieur peut conserver l'objectif pédagogique sans maintenir l'exposition. Après coup, on peut

analyser les données disponibles pour comprendre l'évolution, mais pas réécrire les informations initiales comme si le résultat avait été connu.

9. Exercices progressifs corrigés

Exercice A - Une pluie intense tombe dans une zone sans personnes ni biens exposés. Peut-on parler du même dommage potentiel que dans une zone habitée ? Correction : non. Le phénomène demeure, mais exposition et conséquences diffèrent. Cela ne signifie pas qu'une zone non habitée soit sans enjeux écologiques ni qu'aucun effet indirect soit possible.

Exercice B - Une carte est colorée, mais sa date a été coupée. Quelles informations manque-t-il ? Correction : publication, période de validité et éventuellement distinction entre observation et prévision. Sans elles, le document ne permet pas une décision actuelle fiable. Cherchez la source complète plutôt que supposer qu'une image reçue aujourd'hui a été produite aujourd'hui.

Exercice C - Pourquoi une observation calme n'annule-t-elle pas automatiquement une vigilance ? Correction : elle porte sur un point et un instant, tandis que la vigilance concerne un phénomène possible sur une zone et une durée. L'observation est une donnée utile ; elle ne répond pas à toute la question. Les actualisations et les consignes restent nécessaires.

Exercice D - Un message transféré dit « évacuez », sans autorité, lieu ni date. Comment le traiter ? Correction : ne le présentez pas comme une instruction officielle vérifiée. Identifiez la source et recherchez les consignes appropriées. L'exercice n'autorise pas à ignorer une alerte officielle claire ni à entreprendre une vérification qui exposerait au danger.

Exercice E - Préparez trois alternatives pour notre exposition de livres. Proposition : maintien seulement selon les critères établis

par le responsable ; déplacement intérieur si cette option est réellement adaptée ; report si aucune solution acceptable n'est disponible. Précisez qui décide et comment le public est informé. Aucun seuil météorologique inventé n'est ajouté.

Exercice F - Une situation annoncée ne s'est pas produite devant votre maison. Rédigez une conclusion mesurée. Proposition : l'événement n'a pas été observé à ce point ; pour évaluer l'information, il faut examiner la zone, la période et les observations correspondantes. Ce cas ne prouve ni la perfection ni l'inutilité générale du dispositif.

10. Fiche de révision et références

Fiche de révision : phénomène, exposition, vulnérabilité et capacités contribuent aux conséquences. Prévision décrit, vigilance attire l'attention sur un danger, alerte transmet des consignes d'une autorité. Lire fournisseur, date, validité, zone, phénomène et conseils. Préparer des alternatives avant la décision. Ne remplacer ni les services spécialisés ni une instruction officielle par une couleur isolée, une photo ou une réponse d'IA locale.

UNDRR, terminologie institutionnelle « Hazard », « Exposure », « Vulnerability » : https://www.undrr.org/terminology/hazard ; https://www.undrr.org/terminology/exposure ; https://www.undrr.org/terminology/vulnerability . Météo-France, « 5 questions sur la Vigilance météorologique », 7 juillet 2026 : https://meteofrance.com/vigilance-et-securite/5-questions-sur-la-vigilance-meteorologique .

Ministère de l'Intérieur, « Système d'alerte des populations » : https://www.securite-civile.interieur.gouv.fr/reagir/comment-se-preparer-face-aux-risques/systeme-dalerte-des ; ministère chargé de la Transition écologique, dossier sur pluies intenses et inondations, actualisé le 2 septembre 2026 : https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-proteger/savoir-pluies-intenses-inondations-france . Consultations du 11 octobre 2026. Aucun état de vigilance actuel n'est reproduit ; exemples et exercices fictifs, une seule citation verbatim

de trois mots du ministère de l'Intérieur.

CHAPITRE 11 - Sécurité des activités : critères de report et données actualisées nécessaires

1. Apprendre la météo ne suffit pas à autoriser une activité

Connaître la formation d'un orage ou savoir lire une pression améliore la compréhension. Cela ne donne pas automatiquement la compétence pour décider qu'une activité exposée est sûre. Le choix dépend du terrain, de l'équipement, des personnes, des règles applicables et des informations actuelles. Un guide général fournit des concepts ; il ne remplace pas un responsable formé ni un service spécialisé.

L'objectif de ce chapitre est de préparer de bonnes questions. Quelle variable compte pour l'activité ? Sur quel lieu et quelle durée ? Quelles conséquences sont possibles ? Quel document apporte l'information adaptée ? Qui peut décider de maintenir, modifier ou reporter ? Une réponse qui ignore ces questions peut être trompeuse même lorsqu'elle utilise des mots scientifiques corrects.

Il faut distinguer une activité pédagogique sans exposition et une activité extérieure réelle. Calculer un délai entre éclair et tonnerre sur un enregistrement permet d'étudier la propagation du son ; attendre dehors pour faire ce calcul pendant un orage est une tout autre situation. Le second usage n'est pas recommandé par ce guide. Les exemples chiffrés qui suivent sont des exercices, jamais des seuils autorisant une pratique.

Préparer signifie aussi accepter une alternative. Un report peut préserver un projet au lieu de le faire échouer. Une observation de nuages peut être remplacée par une analyse de photographies datées ; une exposition de dessins peut être déplacée dans un lieu

adapté. L'alternative doit conserver un objectif sans conserver l'exposition dangereuse sous une autre forme.

2. Identifier les variables utiles à l'activité

Le vent moyen et les rafales ne décrivent pas la même chose. Le premier résume une période de mesure selon une méthode ; les secondes concernent des variations plus brèves. Une activité sensible à un effort soudain ne peut pas être évaluée avec la seule moyenne. Il faut également connaître altitude, exposition et emplacement de la prévision. Une valeur près du sol dans une zone générale ne décrit pas toutes les crêtes ou tous les couloirs.

La quantité de pluie et son intensité doivent aussi être séparées. Vingt millimètres en une journée et vingt millimètres en quelques minutes n'ont pas la même répartition temporelle. La conséquence dépend encore du sol et des écoulements. Un simple cumul ne permet pas d'établir l'état d'une route, d'un sous-sol ou d'un cours d'eau.

La température de l'air ne décrit pas toute l'exposition thermique. Soleil, vent, humidité, durée et activité interviennent. Des indices spécialisés possèdent des définitions et des limites. Il serait incorrect de choisir un nombre unique sur une application pour diagnostiquer une personne ou garantir qu'un effort est adapté. Les conseils sanitaires officiels et les professionnels compétents répondent à d'autres dimensions que ce cours scientifique.

La visibilité est une information distincte de la nébulosité. On peut voir beaucoup de nuages et conserver une bonne visibilité horizontale ; un brouillard peut au contraire la réduire fortement près du sol. Une image de ciel ne décrit pas forcément ce qu'un conducteur ou un marcheur rencontrera sur son trajet. Identifier la variable évite de répondre à une question avec un indicateur voisin mais insuffisant.

3. Une grille de préparation sans seuil inventé

Construisez une grille avec cinq rubriques : activité et lieu ; période complète ; informations nécessaires ; décision et alternatives ; actualisation et communication. Elle doit être courte et compréhensible par ceux qui l'utilisent. Les rubriques organisent le raisonnement ; elles ne constituent pas un protocole universel de sécurité.

Dans la première, indiquez ce qui sera réellement fait. « Sortie » est trop vague : promenade encadrée, installation de matériel, déplacement routier ou navigation ne posent pas les mêmes questions. Dans la seconde, incluez préparation et retour, pas seulement le moment central. Une activité prévue de 14 h à 15 h peut nécessiter un déplacement avant et après ce créneau.

Dans la troisième, listez les documents pertinents et leur origine. Prévision spécialisée, vigilance, état officiel d'un site ou consigne du responsable peuvent être nécessaires. Dans la quatrième, précisez qui décide et quelle solution de remplacement est possible. Dans la cinquième, prévoyez quand consulter une nouvelle information et comment informer le groupe. La dernière consultation n'abolit pas le besoin d'appliquer une consigne reçue ensuite.

Si une donnée indispensable manque, ne comblez pas le vide par une estimation rassurante. Il peut être nécessaire de modifier ou de reporter le projet. La formule « aucune alerte ne m'est parvenue » ne prouve pas que toutes les informations ont été consultées ni qu'aucun danger existe. La grille aide à constater ce manque plutôt qu'à le masquer.

4. Montagne : les informations générales ne suffisent pas

Le relief transforme les conditions : altitude, versant, exposition et configuration des vallées interviennent. Une prévision pour une ville proche ne décrit pas directement un itinéraire en altitude. Le ciel peut évoluer différemment sur deux versants, et les conditions du terrain ajoutent leurs propres difficultés. L'écart ne se corrige pas par une simple formule appliquée à une température.

En montagne enneigée, le danger d'avalanche dépend notamment du manteau neigeux et du terrain, pas seulement de la température actuelle. Météo-France présente des bulletins spécialisés et souligne qu'un indice de risque ne suffit pas à lui seul. Leur lecture exige les informations complémentaires appropriées et les compétences du pratiquant ou de l'encadrant. Une trace visible ne constitue pas une preuve de sécurité.

La présentation officielle rappelle que l'échelle européenne de danger d'avalanche a été adoptée dans l'arc alpin en 1993. Ce repère montre une recherche de langage commun entre services ; il ne transforme pas un chiffre de l'échelle en autorisation pour toute pente. Une synthèse régionale et une décision locale ne sont pas interchangeables.

Ce guide n'enseigne ni une technique de franchissement, ni une méthode de sauvetage, ni une règle garantissant un itinéraire. Consultez les bulletins actuels, les consignes des autorités et des sites, et les professionnels de la montagne lorsque votre projet l'exige. Les exemples de pression ou de gradient thermique des chapitres précédents servent à comprendre, pas à certifier des conditions de pratique.

5. Mer et littoral : vent, vagues et territoire

Une prévision terrestre ne répond pas entièrement à une question maritime. Vent, état de la mer, houle, marée et courants concernent des processus distincts, susceptibles d'interagir. La direction du vent à un endroit ne permet pas de déduire toutes les vagues qu'on y observera. Une mer momentanément calme ne décrit pas nécessairement l'évolution attendue sur toute une sortie.

Météo-France explique produire des bulletins réguliers et des bulletins spéciaux de sécurité marine, diffusés notamment par les CROSS dans le cadre de leurs missions. Cette organisation fournit une information spécialisée ; le guide ne reprend ni fréquences radio, ni horaires, ni critères de navigation comme s'ils étaient universels et permanents. Leur usage réel nécessite les documents à jour et les compétences requises.

Sur le littoral, une activité d'observation peut également être exposée aux vagues et à des conditions changeantes. L'absence de pluie n'est pas un indicateur de sécurité sur une jetée ou une digue. Une fermeture, une interdiction ou une consigne locale doit être respectée ; ce texte ne propose aucun itinéraire permettant de la contourner.

Pour une étude scolaire, comparez un bulletin fictif de vent et un bulletin fictif de houle. Identifiez unité, direction, période et zone. L'exercice démontre que plusieurs variables sont nécessaires ; il ne produit pas une décision opérationnelle. Pour une sortie réelle, l'organisateur doit s'appuyer sur les informations et responsabilités adaptées, sans déléguer sa décision à une réponse d'IA généraliste.

6. Orages : ne pas attendre une preuve de proximité

Le National Weather Service résume un principe par la courte formule « When Thunder Roars, Go Indoors ». Cette citation de cinq mots rappelle qu'entendre le tonnerre n'est pas un encouragement à poursuivre une observation extérieure. Sa page officielle indique qu'il n'existe pas de lieu sûr à l'extérieur lorsque des orages sont dans la zone. Le détail des moyens de protection doit être lu dans les recommandations compétentes, pas improvisé à partir d'un délai sonore.

Une photographie spectaculaire peut donner envie d'attendre le prochain éclair. Le but pédagogique ne justifie pas cette exposition. Utilisez des documents enregistrés ou des exercices réalisés dans des conditions appropriées. Le chapitre sur la foudre explique un mécanisme ; il n'offre pas une méthode pour s'approcher d'un orage ou déterminer une distance sûre.

Une activité extérieure devrait disposer à l'avance d'une procédure adaptée définie par ses responsables : information, suspension et solution de remplacement. Le présent guide ne fixe pas un délai universel de reprise. Un ciel plus clair, un radar enregistré ou l'absence de tonnerre pendant quelques minutes ne remplacent pas les règles et les actualisations nécessaires.

La même logique s'applique à une observation collective. Avant toute activité réelle, l'encadrant identifie les conditions de mise en sécurité et les informations pertinentes. Si ce cadre n'existe pas, on ne le remplace pas par une règle obtenue au dernier moment auprès d'un assistant local. L'apprentissage scientifique peut parfaitement continuer sans se mettre en situation d'exposition.

7. Déplacements et activités quotidiennes

Le déplacement possède des contraintes propres : état de la voie, visibilité, trafic, fermetures et moyens disponibles. Une prévision de pluie ne permet pas d'assurer qu'une route est praticable. Un point de départ calme n'exclut pas une difficulté sur une autre portion du trajet. Il faut consulter l'information adaptée et appliquer les restrictions officielles.

Pour une inondation ou une pluie intense, le dossier ministériel rappelle notamment de reporter les déplacements et de ne pas franchir des secteurs dangereux comme les gués ou les radiers. Ce principe ne doit pas être transformé en test de profondeur effectué par le lecteur. Le guide ne fournit aucune hauteur d'eau permettant de traverser à pied ou en véhicule.

Dans la vie quotidienne, préparer une information claire peut éviter une décision précipitée. Une famille peut convenir d'un moyen de communiquer un changement de programme ; une association peut indiquer le lieu alternatif d'une réunion ; un établissement possède ses propres instructions. Ces arrangements n'assurent pas le fonctionnement du réseau ou du transport, mais limitent les malentendus.

Les personnes ayant des besoins particuliers peuvent nécessiter une préparation adaptée avec les interlocuteurs compétents. Ce texte ne diagnostique aucune capacité individuelle et ne prescrit aucun soin. Il invite à ne pas supposer que tous disposent des mêmes moyens pour se déplacer, comprendre un message ou changer rapidement de programme.

8. Préparer aussi l'information quand le réseau manque

Un document téléchargé reste lisible hors ligne, mais une prévision ou une alerte enregistrée ne s'actualise pas d'elle-même. L'accès local constitue un avantage pour apprendre les termes et retrouver une procédure préparée. Il ne garantit pas la connaissance de la situation actuelle. Gardez visible la date des documents dont la validité dépend du temps.

Si une activité exige des données récentes, l'absence de connexion devient une information sur votre capacité à décider. Elle ne signifie pas que le danger est nul. Rechercher un autre canal prévu par l'organisateur ou reporter peut être nécessaire. Aucun assistant hors ligne ne doit présenter une description générale comme un bulletin de l'heure.

Dans un exercice fictif, une sortie repose sur une information spécialisée actualisée le matin. Le réseau ne fonctionne pas et aucune autre source prévue n'est disponible. La conclusion ne peut pas être « la dernière carte était favorable, donc nous partons ». Elle doit reconnaître le manque, consulter le responsable et appliquer les critères préétablis. La valeur d'un projet ne justifie pas d'inventer la donnée qui lui manque.

Préparer signifie enfin garder l'information accessible : titres explicites, dates lisibles, contacts appropriés et consignes courtes. Une bibliothèque pleine de fichiers sans repères peut ralentir la consultation. Le sommaire et la classification des documents facilitent l'accès au savoir ; ils ne rendent pas automatiquement actuels les contenus consultés.

9. Exercices progressifs corrigés

Exercice A - Un événement fictif se déroule de 15 h à 16 h, avec installation à 13 h et retour prévu à 18 h. Quelle période faut-il examiner ? Correction : toute la période exposée, de l'installation au retour, en tenant compte des déplacements et de leur durée. Le seul créneau public ne résume pas les besoins d'information. L'exercice ne définit pas un seuil de maintien.

Exercice B - Une application affiche un vent moyen modéré. Peut-on en déduire l'absence de rafales importantes ? Correction : non. Les deux variables diffèrent. Il faut lire les informations appropriées, leur unité, leur lieu et leur période. Une moyenne ne constitue pas un plafond de toutes les variations.

Exercice C - Un village se situe à une altitude différente de l'itinéraire prévu. Une simple correction de température suffit-elle ? Correction : non. Relief, exposition, vent, visibilité et état du terrain ajoutent des différences. Une relation scolaire peut aider à comprendre un mécanisme sans remplacer une prévision spécialisée ni une décision encadrée.

Exercice D - Pourquoi la couleur d'un indice d'avalanche ne suffit-elle pas ? Correction : elle synthétise un danger à une échelle définie. Conditions du manteau, terrain, évolution et compétences restent pertinentes. Le guide ne propose pas une lecture permettant d'autoriser automatiquement une pente. Les consignes officielles et des professionnels compétents doivent être prises en compte.

Exercice E - Un document local porte une date ancienne, tandis que l'activité nécessite une information actuelle. Que conclure ? Correction : le document conserve son intérêt pédagogique ou historique, mais ne répond pas au besoin d'actualisation. Rechercher un canal approprié et appliquer les critères du

responsable ; ne pas transformer l'absence de nouvelle donnée en confirmation de la précédente.

Exercice F - Préparez un message de report pour une activité fictive. Proposition : « L'observation prévue demain est remplacée par une séance intérieure selon la décision de l'encadrant. Le lieu et l'heure figurent dans le programme actualisé. Nous analyserons des documents enregistrés ; cette séance ne nécessite pas d'observation d'un phénomène dangereux. » Le message doit correspondre à une décision réelle avant d'être utilisé.

Exercice G - Une installation peut être déplacée, mais le nouvel emplacement conserve la même exposition au vent. Est-ce une alternative protectrice ? Correction : pas pour le danger considéré. Changer le nom du lieu ne modifie pas automatiquement les conditions. L'analyse doit vérifier l'effet réel de l'alternative, sans inventer une protection.

10. Erreurs fréquentes, révision et références

Ne confondez pas équipement et garantie, expérience et connaissance actuelle, calme instantané et absence de danger futur. Ne déduisez pas l'état d'un terrain de la seule météo de l'air. N'utilisez pas un calcul de cours comme seuil opérationnel. Le coût ou l'effort déjà engagé dans un projet ne supprime pas une information défavorable. Préparer une alternative permet de préserver l'objectif sans maintenir l'exposition.

Fiche de révision : définir activité, lieu et période complète ; identifier les variables et services spécialisés ; connaître les responsables et consignes ; prévoir maintien, adaptation ou report avec des critères appropriés ; vérifier les actualisations ; reconnaître les données manquantes. La lecture hors ligne aide à apprendre et à retrouver des repères, jamais à certifier une météo actuelle.

Météo-France, « Avalanche : quels dangers, comment réagir et s'informer ? », 5 février 2025 : https://meteofrance.com/vigilance-et-securite/avalanche-quels-dangers-comment-reagir-et-sinformer ; « Météo-France et la mer », 8 juin 2026 : https://meteofrance.com/meteo-a-z/meteo-france-et-la-mer . National Weather Service, « Lightning safety » : https://www.weather.gov/safety/lightning-safety .

Ministère chargé de la Transition écologique, dossier sur pluies intenses et inondations : https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-proteger/savoir-pluies-intenses-inondations-france . Sources primaires consultées le 11 octobre 2026. Une seule citation verbatim de cinq mots du National Weather Service dans ce chapitre ; exemples et exercices originaux. Aucune météo actuelle ni procédure de soins n'est fournie.

CHAPITRE 12 - Carnet météo et exercices de synthèse : observer, comparer et reconnaître les limites

1. Un carnet pour apprendre, sans fabriquer une prévision

Un carnet météorologique rassemble des observations datées et décrites selon une méthode. Il permet de relier les concepts du guide à des données, d'examiner une variation et de reconnaître ce que l'on ne sait pas. Il ne constitue pas, par sa seule existence, une station officielle ni un système d'alerte. Quelques mesures locales ne suffisent pas à prévoir toutes les conditions d'un trajet, d'un territoire ou d'une activité exposée.

L'objectif pédagogique doit être défini avant de choisir les colonnes. Voulez-vous étudier les variations de température à heures fixes, comparer des descriptions de nuages ou comprendre la différence entre pluie cumulée et intensité ? Une question précise demande des données appropriées. Une longue liste d'informations sans provenance peut donner une impression de maîtrise tout en empêchant de vérifier les comparaisons.

On peut travailler entièrement à l'intérieur avec des données enregistrées, des photographies anciennes légendées ou des séries fictives explicitement identifiées. L'observation directe n'exige jamais de s'exposer à un phénomène dangereux. Si une consigne ou les conditions rendent l'activité inappropriée, on utilise une séance intérieure ou on la reporte selon les responsables compétents. Le besoin de compléter un tableau ne justifie pas de sortir pendant un danger.

Les descriptions de nuages montrent l'intérêt d'un vocabulaire partagé. L'Organisation météorologique mondiale rappelle le rôle de Luke Howard, qui proposa en 1803 une classification dont

certains noms ont été conservés et développés. Ce repère historique n'établit pas qu'un observateur débutant peut identifier sans hésitation toute formation. Il explique pourquoi une catégorie définie et une description reproductible sont plus utiles qu'une impression personnelle isolée.

2. Concevoir une fiche d'observation traçable

Une première ligne décrit la série : question étudiée, lieu approximatif utile, période, méthode et provenance. Pour un exercice scolaire, n'enregistrez pas inutilement des données personnelles. Un identifiant de point d'observation peut suffire. Si la localisation précise est nécessaire à une analyse scientifique encadrée, elle doit être traitée selon les règles du projet ; le guide ne demande pas de publier une adresse privée.

Chaque relevé porte une date, une heure et une indication de fuseau. Distinguez l'heure de mesure, l'heure de publication et l'heure à laquelle vous avez enregistré la donnée. Un bulletin publié à midi peut contenir une observation de onze heures. Une prévision publiée aujourd'hui peut viser demain. La colonne « type » peut prendre les valeurs observation, prévision enregistrée ou donnée fictive. Leur mélange sans distinction rend l'interprétation confuse.

Pour chaque variable, indiquez l'unité et la méthode. Une température en degrés Celsius n'est pas une énergie ; une pression en hectopascals n'est pas une altitude ; une quantité de pluie en millimètres n'est pas une vitesse. Précisez les périodes pour les cumuls et les moyennes. Une vitesse de vent moyenne sur un intervalle et une rafale maximale ne répondent pas à la même question. L'unité seule ne définit pas toute la mesure.

Ajoutez une colonne de qualité : donnée disponible, manquante, estimée, corrigée ou méthode modifiée. Une valeur absente ne

devient pas zéro. Une correction ne doit pas faire disparaître la valeur initiale sans trace : conservez le motif et la version utile à la comparaison. Pour une série fictive, écrivez clairement cette provenance dans le titre et dans les tableaux susceptibles d'être copiés séparément.

3. Comparabilité, instruments et emplacement

Un instrument transforme une grandeur en indication selon son fonctionnement. Sa résolution décrit le pas ou le détail affiché ; son exactitude concerne la proximité avec une valeur de référence dans des conditions définies. Afficher deux décimales ne prouve pas une mesure exacte au centième. Le fonctionnement, l'étalonnage, l'emplacement et les conditions d'usage restent déterminants. Une estimation visuelle peut être utile si elle est identifiée comme telle.

Comparer deux températures demande de savoir comment elles ont été mesurées. Un appareil exposé au rayonnement, une surface chauffée et un instrument destiné à mesurer l'air ne décrivent pas automatiquement la même grandeur. Un écran ou un abri adapté peut limiter certains effets, mais il ne garantit pas à lui seul l'absence de tout biais. Pour un véritable réseau de mesure, suivez les méthodes et exigences du service responsable ; un exercice domestique doit présenter ses limites.

Un changement d'emplacement peut produire une rupture dans une série. Supposons qu'un instrument soit déplacé d'un lieu ventilé vers une zone proche d'un mur. Une hausse observée après ce changement ne prouve pas une évolution du climat. La méthode et l'environnement ont aussi varié. Notez la rupture, comparez seulement ce qui peut l'être et évitez de transformer une différence locale de dispositif en tendance générale.

Il en va de même pour les horaires. Comparer neuf heures un jour et quinze heures le lendemain associe variation entre les jours et variation au cours de la journée. Pour étudier une évolution à heure fixe, choisissez une méthode cohérente et indiquez les écarts. Ne corrigez pas arbitrairement une valeur pour la faire ressembler à la précédente. La qualité scientifique vient de la traçabilité et de l'examen, non d'un tableau artificiellement régulier.

4. Décrire avant d'interpréter

Séparez une colonne de constat et une colonne d'hypothèse. « Une couche nuageuse apparaît sur la photographie de onze heures » décrit ce que l'on observe, avec les limites de l'image. « Elle annonce nécessairement une pluie dans une heure » ajoute une conclusion qui n'est pas justifiée par la seule photographie. Une hypothèse doit porter ce nom et préciser les informations qui pourraient la soutenir ou la contredire.

Décrivez les nuages avec des catégories prudentes : aspect, extension apparente, évolution sur des images datées, genre probable lorsque les critères sont visibles. Une perspective limitée ne permet pas toujours de déterminer la hauteur. Un ciel masqué par un bâtiment ne doit pas être noté entièrement dégagé. Lorsque plusieurs identifications sont possibles, écrivez le doute plutôt que de choisir une certitude décorative.

Pour le vent, les feuilles ou les objets visibles fournissent des indices, mais ils ne donnent pas nécessairement une vitesse mesurée à une hauteur normalisée. La présence d'un mouvement local peut dépendre du terrain ou des obstacles. Si vous ne disposez pas de mesure appropriée, utilisez une description qualitative identifiée. Une conversion approximative ne doit pas être affichée comme une mesure instrumentale.

L'interprétation relie ensuite plusieurs informations : température, humidité, pression, nuages, évolution et contexte. Ce rapprochement n'autorise pas une conclusion automatique. Les mécanismes étudiés donnent des possibilités et des conditions ; il faut encore des données suffisantes. Un carnet sérieux peut conclure « informations insuffisantes pour trancher ». Cette réponse est plus utile qu'une prédiction inventée pour remplir toutes les cases.

5. Premiers calculs sur une série fictive

Considérons quatre températures fictives : 9 °C à huit heures, 11 °C à onze heures, 14 °C à quatorze heures et 12 °C à dix-sept heures. Leur moyenne arithmétique vaut (9 + 11 + 14 + 12) / 4 = 11,5 °C. Elle décrit ces quatre échantillons. Elle ne devient pas automatiquement la moyenne de toute la journée, car les autres heures n'ont pas été observées et la méthode officielle de moyenne n'est pas précisée.

Le minimum des quatre valeurs est 9 °C et le maximum 14 °C ; leur étendue est 5 °C. Ce sont le minimum, le maximum et l'étendue de l'échantillon. Écrire « température minimale du jour : 9 °C » serait injustifié si la nuit n'a pas été mesurée. Entre onze et quatorze heures, la différence est 3 °C sur trois heures, soit une variation moyenne de 1 °C par heure. Cette moyenne ne décrit pas chaque minute.

Pour une série de pluie cumulée fictive, le compteur indique 2 mm à huit heures et 5 mm à midi. Si le dispositif n'a pas été remis à zéro et si les valeurs sont comparables, le cumul supplémentaire est 3 mm sur quatre heures. Le taux moyen sur cet intervalle vaut 0,75 mm par heure. Il ne prouve ni une pluie continue ni une intensité maximale de 0,75 mm par heure : les 3 mm ont pu tomber de manière inégale.

Si une réinitialisation a eu lieu à dix heures, la différence directe entre les deux indications perd sa signification. Il faut connaître les valeurs avant et après l'opération ou reconnaître que le cumul ne peut pas être reconstitué avec les seules données disponibles. Cet exemple montre pourquoi les métadonnées font partie de la mesure. Un calcul exact appliqué à des données non comparables produit une conclusion fausse.

6. Graphiques, tendances et données manquantes

Un graphique doit afficher un titre, des axes, des unités et une période. Si les heures sont irrégulières, leurs positions doivent respecter cette irrégularité sur un axe temporel. Quatre points espacés de manière identique sur la page peuvent faire croire à des intervalles identiques. Une ligne entre deux observations représente une liaison graphique ; elle ne prouve pas que toutes les valeurs intermédiaires ont été mesurées.

Lorsque la donnée de onze heures manque, ne la remplacez pas silencieusement par une valeur interpolée. Une interpolation propose une estimation fondée sur une hypothèse de variation. Elle peut servir à un exercice, mais doit être distinguée de l'observation. La moyenne des valeurs restantes est celle d'un échantillon différent. Comparer des jours avec des périodes de mesure différentes demande donc une attention particulière.

Une succession de trois jours plus chauds n'établit pas à elle seule une tendance climatique. La durée, la variabilité, la méthode et le contexte doivent être examinés. Une tendance concerne un ensemble et une méthode d'analyse adaptés. Un carnet court peut documenter un épisode local, non représenter automatiquement une région entière ni le climat mondial. Cette limite n'annule pas son intérêt pour comprendre les variations et apprendre la méthode.

Évitez aussi de choisir une échelle qui exagère ou masque une différence sans l'expliquer. Un axe commençant à 10 °C peut rendre visible une petite variation, mais doit rester clairement gradué. Une grande surface colorée ne remplace pas les valeurs. Pour comparer deux graphiques, vérifiez les échelles avant d'interpréter la forme. La présentation doit aider à comprendre ce qui a été mesuré, pas produire une impression prédéterminée.

7. Lire ensemble pression, humidité et prévision

Une pression fictive diminue de 1 014 hPa à 1 008 hPa entre deux relevés effectués au même point selon la même méthode. La différence vaut −6 hPa. Ce constat n'annonce pas automatiquement un phénomène précis. Une prévision nécessite notamment un contexte spatial et temporel, l'évolution des systèmes et les autres variables. Vérifiez aussi si les valeurs sont des pressions locales ou réduites au niveau de la mer : leur comparaison n'est pas toujours immédiate.

Supposons une température de 12 °C et un point de rosée de 8,3 °C. Leur écart est 3,7 °C. Il renseigne sur la proximité de certaines conditions de saturation, mais ne suffit pas à prévoir la formation d'un brouillard à un endroit et une heure donnés. Refroidissement, brassage, apports d'humidité et situation locale interviennent. Une hypothèse peut être étudiée avec des données supplémentaires ; elle ne doit pas être transformée en résultat acquis.

Enregistrez séparément les prévisions pour les comparer ensuite aux observations, sans modifier rétrospectivement leur contenu. Une fiche de prévision comprend le fournisseur, la date d'émission, le lieu, l'échéance, la variable et sa définition. Une probabilité de précipitation ne se compare pas directement à une quantité en millimètres. Une moyenne prévue et une valeur maximale observée ne sont pas deux formulations de la même mesure.

Pour une vérification, choisissez la règle avant de regarder le résultat. Vous pouvez, dans un exercice, mesurer l'écart entre température prévue et observée pour un horaire défini. Si vous changez ensuite l'horaire afin d'obtenir un écart plus petit, vous ne vérifiez plus la question initiale. Documenter une erreur n'est pas un échec pédagogique : cela permet d'examiner la donnée, la définition et les limites de la prévision.

8. Atelier de synthèse corrigé

Exercice A - Une série fictive fournit 10, 13 et 16 °C à trois horaires. Calculez moyenne et étendue, puis indiquez une limite. Correction : moyenne 13 °C ; étendue 6 °C. Ces calculs concernent les trois valeurs. Sans mesure des autres horaires, on ne peut pas annoncer la moyenne ou les extrêmes de toute la journée. La limite doit être formulée dans la légende, non oubliée après le calcul.

Exercice B - Un cumul passe de 4 à 10 mm pendant deux heures, sans réinitialisation. Que peut-on établir ? Correction : 6 mm supplémentaires et un taux moyen de 3 mm par heure. On ne connaît ni la durée exacte de chaque épisode ni son intensité maximale. Une pluie intermittente peut produire le même cumul qu'une pluie plus régulière. Il manque des observations plus fines pour les distinguer.

Exercice C - Un tableau indique « pluie : zéro » là où le capteur n'a transmis aucune donnée. Corrigez. Réponse : remplacer la valeur par donnée manquante et noter l'incident connu. Zéro affirme une mesure ; absence de transmission ne l'établit pas. Si une autre source est utilisée, sa provenance et les conditions de comparaison doivent apparaître. On ne mélange pas discrètement deux méthodes pour compléter la série.

Exercice D - Les prévisions fictives de température sont 12, 14 et 13 °C ; les observations correspondantes 11, 15 et 13 °C. Calculez les écarts prévision moins observation et la moyenne de leurs valeurs absolues. Correction : +1, −1 et 0 °C ; moyenne absolue (1 + 1 + 0) / 3, soit environ 0,67 °C. La moyenne signée vaut zéro, mais elle masque ici deux écarts non nuls qui se compensent.

Exercice E - Deux groupes comparent leurs relevés. Le premier mesure l'air à heures fixes ; le second note une température de surface lorsqu'il peut accéder au lieu. Peut-on conclure qu'un quartier est plus chaud ? Correction : les variables, horaires et méthodes diffèrent. La conclusion n'est pas justifiée par cette comparaison seule. Il faut définir une question commune et des mesures comparables, ou conserver les deux séries comme observations de phénomènes différents.

Exercice F - Une application contient une carte ancienne qui ne comporte plus de date visible après une copie. Une sortie nécessite une information actuelle. Quel usage est légitime ? Correction : la carte peut éventuellement servir à une analyse historique si sa provenance est retrouvée. Elle ne peut pas confirmer les conditions actuelles. Rechercher l'information officielle datée et appliquer les consignes ; ne pas prendre l'absence de nouvelle alerte dans le fichier pour une preuve de sécurité.

Exercice G - Sur vingt journées fictives annoncées avec une probabilité de pluie de 50 %, douze comportent l'événement défini. La prévision est-elle définitivement mauvaise ? Correction : douze sur vingt représente 60 %, mais un petit ensemble fluctue. Il faut examiner la définition, les cas comparables et une série suffisante. Un écart ponctuel n'établit pas à lui seul une mauvaise calibration, ni une garantie de bonne calibration. Le résultat demeure une observation à intégrer à l'analyse.

Exercice H - Formulez une conclusion de carnet sans prévoir demain. Proposition : « Sur les quatre horaires observés selon la même méthode, la température a d'abord augmenté puis diminué. Les valeurs manquantes de la nuit empêchent de déterminer les extrêmes quotidiens. La série décrit ce point et cette période ; elle ne suffit pas à établir une tendance climatique. » Cette conclusion relie résultat, méthode et limite sans prétendre davantage.

9. Trois difficultés supplémentaires : incertitude, angle et conversion

Une comparaison peut porter sur des valeurs entourées d'une incertitude connue dans le cadre de l'exercice. Supposons deux températures fictives : 9,7 °C puis 10,5 °C, chacune associée à une borne d'erreur absolue de 0,3 °C. La première valeur est alors compatible, selon cette hypothèse, avec l'intervalle de 9,4 à 10,0 °C ; la seconde avec celui de 10,2 à 10,8 °C. La hausse est comprise entre 0,2 et 1,4 °C si les bornes annoncées couvrent effectivement les erreurs considérées.

La différence des indications vaut 0,8 °C, mais la précision de cette différence ne doit pas être présentée comme infinie. Le raisonnement sur les bornes a utilisé le cas défavorable : valeur initiale la plus haute et finale la plus basse, puis l'inverse. Ce calcul ne fournit pas une probabilité de hausse. Une borne d'erreur, un écart-type et un intervalle de confiance ne sont pas des formulations interchangeables. La méthode qui les définit doit être connue avant d'employer leurs nombres.

Si le même instrument présente un biais constant, une partie de ce biais peut disparaître dans une différence. Cependant, on ne peut pas supposer sans contrôle que tous les effets sont constants. Un déplacement, un rayonnement changeant ou une modification de la méthode peuvent aussi intervenir. Pour un carnet pédagogique, l'objectif n'est pas de produire une correction sophistiquée sans

données ; il est de montrer les hypothèses et de ne pas promettre plus de précision que la mesure ne permet.

Les angles introduisent une autre difficulté. Deux directions proches du nord, 350° et 10°, ne doivent pas être moyennées comme deux températures. La moyenne arithmétique ordinaire donne 180°, c'est-à-dire le sud, alors que les directions entourent le nord. Les angles sont périodiques : 360° et 0° désignent la même direction. Une analyse adaptée peut représenter les directions par des vecteurs, puis examiner leur somme et sa longueur.

Dans cet exemple fictif, deux vecteurs unitaires de même poids, placés symétriquement de part et d'autre du nord, ont une somme dirigée vers le nord. Cette construction n'est pas une procédure universelle de moyenne du vent réel : il faut aussi préciser les vitesses, les durées et la méthode du fournisseur. Deux directions exactement opposées de même poids auraient une somme nulle ; il serait alors trompeur d'annoncer une direction moyenne bien définie. Vérifiez enfin la convention : une direction météorologique du vent indique habituellement d'où il vient, et non où il va.

Une conversion d'unité doit elle aussi respecter la grandeur. Pour convertir une température en degrés Celsius vers les degrés Fahrenheit, la relation est T°F = 1,8 × T°C + 32. Ainsi, 20 °C correspond à 68 °F. Mais un écart de température de 3 °C correspond à un écart de 5,4 °F : on ne lui ajoute pas 32. La constante concerne l'origine de l'échelle, pas chaque variation. Distinguer valeur absolue sur une échelle et différence évite cette erreur.

Exercice complémentaire - Deux températures fictives valent 8,0 et 8,2 °C, avec des bornes d'erreur de 0,4 °C pour chacune. Peut-on affirmer une hausse certaine dans ce modèle de bornes ? Correction : les intervalles sont 7,6 à 8,4 °C et 7,8 à 8,6 °C. Ils se

recouvrent ; les seules indications et ces bornes ne suffisent pas à déterminer le signe réel de la différence. L'écart des affichages est positif, mais le résultat doit garder cette limite.

Exercice complémentaire - Un fichier contient deux lignes portant la même heure locale, sans date complète ni fuseau. Peut-on les ordonner avec certitude ? Correction : non à partir de ces informations seules. Un changement de date, de fuseau ou d'heure civile peut créer une ambiguïté. Il faut retrouver les métadonnées ; ne pas inventer un ordre en se fondant uniquement sur la position des lignes. Cette précaution concerne la traçabilité, indépendamment de la météo observée.

10. Transformer les observations en révision active

Construisez une page de synthèse avec quatre cases : phénomène, mécanisme, donnée pertinente et limite. Pour le vent, le mécanisme associe notamment gradients de pression, rotation terrestre et frottement ; la donnée pertinente dépend de la question, moyenne ou rafale, direction et période. La limite rappelle qu'un simple mouvement de feuilles ne fournit pas toutes ces mesures. Pour les précipitations, distinguez formation, cumul et répartition temporelle.

Ajoutez une case « ce que je dois vérifier dans une information actuelle ». Elle peut contenir date, lieu, période de validité, service responsable, nature de la donnée et consignes associées. Cette case ne doit pas être remplie une fois pour toutes à partir du présent guide : elle désigne les éléments à examiner lorsque l'activité le demande. Une fiche hors ligne sert à se souvenir de la méthode, pas à afficher des conditions actuelles.

Pour préparer une révision, expliquez à quelqu'un pourquoi pression et altitude ne sont pas la même grandeur, pourquoi humidité relative varie avec la température, pourquoi un nuage

n'est pas une preuve suffisante de pluie immédiate et pourquoi une probabilité n'est pas une durée. Faites ensuite un exercice numérique et indiquez l'unité. Enfin, présentez une limite de votre réponse. Cette démarche vérifie une compréhension plus solide que la reconnaissance d'un mot.

Relisez votre carnet avec une question critique : une autre personne pourrait-elle comprendre d'où viennent mes données et refaire les calculs ? Si la réponse est non, complétez les métadonnées ou réduisez la conclusion. Vous pouvez aussi examiner deux interprétations concurrentes et préciser quelle observation permettrait de les distinguer. Il ne s'agit pas de chercher une certitude à chaque ligne, mais d'apprendre à proportionner les affirmations aux preuves.

11. Erreurs fréquentes et fiche finale

Ne confondez pas zéro et absence, cumul et intensité, moyenne et extrême, heure d'émission et heure de validité, observation et prévision, météo courte et climat. N'effacez pas les changements d'instrument ou de lieu. N'inférez pas une cause certaine d'une simple succession. Ne faites pas d'une photographie ou d'une mesure locale une autorisation d'activité exposée. Le guide ne remplace aucun service officiel ni responsable compétent.

Fiche de révision finale : question précise ; provenance identifiable ; lieu et période adaptés ; unités et méthodes explicites ; données manquantes signalées ; calculs vérifiés ; résultat distinct de l'hypothèse ; comparaison proportionnée ; limites écrites ; informations actuelles recherchées auprès des canaux appropriés lorsqu'elles sont nécessaires. Un carnet réussi peut contenir des incertitudes. Il échoue surtout lorsqu'il les dissimule sous des chiffres ou des conclusions trop larges.

L'ensemble du guide relie énergie, pression, humidité, nuages, fronts, phénomènes dangereux, modèles, probabilités et décision. Aucun de ces éléments ne doit devenir une règle magique isolée. Comprendre un mécanisme aide à poser de meilleures questions ; reconnaître ce qui manque aide à éviter une conclusion trompeuse. Pour apprendre hors ligne, ces deux capacités sont complémentaires. Pour une décision réelle, elles doivent être reliées aux informations datées et aux consignes compétentes.

12. Références et provenance

Organisation météorologique mondiale, « Classifying clouds », repère historique Luke Howard et classification de 1803 : https://public.wmo.int/world-meteorological-day-2017/classifying-clouds ; Atlas international des nuages, genres : https://cloudatlas.wmo.int/en/principles-of-cloud-classification-genera.html . Met Office, observations et rôle dans la compréhension météorologique : https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/observations .

Bureau international des poids et mesures, Brochure sur le système international d'unités : https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure . Sources primaires consultées le 11 octobre 2026. Aucune citation verbatim tierce dans ce chapitre ; toutes les données chiffrées d'exercices et les situations de carnet sont fictives et originales. Aucune observation actuelle, prévision opérationnelle ou alerte temps réel n'est fournie.