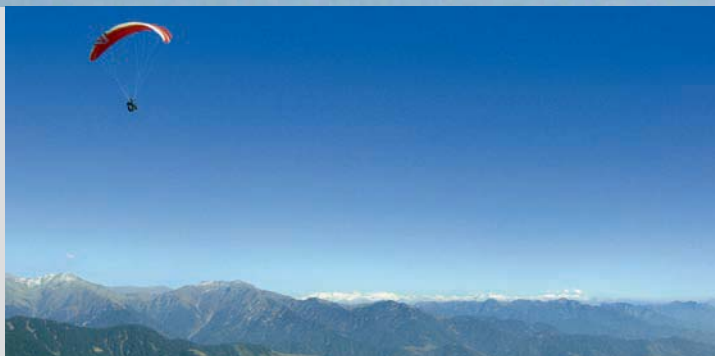




Aufbau einer Thermik im Himalaja

Nach den Messungen in einer Thermik im Dezember 2006 in Verbier, deren Analyse im «Swiss Glider» 3.07 publiziert wurde, machte ich nun im indischen Himalaja eine weitere interessante Erfahrung.

 **Jean Oberson**
www.soaringmeteo.ch 

Um Wiederholungen zu vermeiden, bitte ich euch, den in der Einleitung erwähnten Artikel nochmals zu lesen – am einfachsten auf der Homepage des SHV –, um die Methode dieser Experimente zu begreifen. Im Bericht hier werde ich sie nicht mehr erläutern. Zusätzlich zum Geos 11 bei der Messung der Temperatur und der Feuchtigkeit benutzte ich ein GPS und das Programm CompeGPS, um die Flugbahn festzulegen und die kinetische Struktur der Aerologie zu eruieren.

Abbildung 1 zeigt das Fluggebiet, die Südwesthänge des Dauladar, einer Bergkette im Vorhimalaja. Sie erreichen 3000 bis 5000 m und liegen einem Plateau auf 800 bis 1500 m Höhe gegenüber, das sich bis zum immensen Flachland Nordindiens hinzieht. Die Koordinaten des Fluggebiets sind etwa N 32° und E 76.7°. Der normalerweise benutzte Landeplatz befindet sich auf 1400 m, nahe einer tibetischen Kolonie, knapp unterhalb des Dorfes Bir. Gestartet wird in der Regel in Billing auf 2400 m. Die gewählte Thermik (Ther in der Abbildung 1) befindet sich auf dem sonnigen Kamm südlich des Startplatzes. Gewählte Zeit: UTC (Greenwich), auch Z genannt. Die lokale Zeit in Bir beträgt Z + 5 ½ Stunden, z.B. 0830 Z = 14 Uhr Lokalzeit. Der Flug fand am 31. Oktober 2007 zwischen 08.00 h und 09.10 h statt.

Nach dem Monsun (Regen mit Südwestwind), der jeweils von Juni bis September dauert, dehnte sich über mehrere Wochen ein stabiles, tropisches Hoch aus. Die Situation ist Tag für Tag und Jahr für Jahr sehr ähnlich. Im Oktober und November sind hier die Wetterbedingungen zum Fliegen sehr günstig. Abbildung 2 zeigt das aerologische Diagramm aus den täglichen synoptischen Analysen (also auf Makroskala) der NCEP (National Center of Environmental Prediction, USA) am Tag des Experiments. Auf dieser Skala ist die Atmosphäre extrem trocken, mit einer Taupunktskurve (grün) und einer Temperaturkurve (rot), die weit auseinanderliegen. Bis 700 hPa beträgt der Temperaturgradient ca. 0,7 °C/100 m, was günstig ist. Die schwachen

Depuis les mesures du thermique prises à Verbier en décembre 2006 et publiées dans l'article météo du «Swiss Glider» 3.07 (disponible sur le site web de la FSVL), j'ai effectué, parmi d'autres, une expérience dans l'Himalaya indien qui me paraît intéressante.

 **Jean Oberson**
www.soaringmeteo.ch 

Afin d'éviter des répétitions, je vous invite à relire l'article cité ci-dessus pour comprendre la méthode de l'expérience que je ne décris pas ici. En plus du Geos 11 (mesures de la température et de l'humidité), j'utilise un GPS et le logiciel CompeGPS pour établir la trajectoire de vol et évaluer la structure cinétique de l'aéologie.

La figure 1 montre la région de vol. Les faces SW d'une chaîne de montagnes préhimalayenne, le Dauladar, culminant à 3000–5000 m, font face à un large plateau (800 à 1500 m) qui finit par les immenses plaines du nord de l'Inde. Coordonnées approximatives du lieu: N32° – E76.7°. L'atterrissage habituel se situe près de la colonie tibétaine (1400 m), localisée juste en dessous du village de Bir. Le décollage a lieu en général à Billing (2400 m). Le thermique choisi (Ther sur la fig. 1) est situé sur la petite crête ensoleillée au sud du décollage.

Unité de temps utilisée: heure universelle UTC (Greenwich), appelée aussi Z. Il faut rajouter 5 h 30 à Z pour trouver l'heure locale à Bir. Par exemple 0830 Z = 14 h 00 locales. Le vol s'est déroulé entre 08 h 00 et 09 h 10 Z, le 31 octobre 2007.

Après la mousson (pluies et vents du SW) de juin à septembre, une situation anticyclonique tropicale stable s'installe pour plusieurs semaines. Les jours et les années se suivent et se ressemblent beaucoup. Les conditions atmosphériques pour voler sont très souvent bonnes en octobre et novembre. La figure 2 montre le diagramme aérologique issu des analyses synoptiques journalières (= macro-échelle) des modèles NCEP (National Center of Environmental Prediction, USA) du jour de l'expérience. A cette échelle, l'atmosphère est donc extrêmement sèche avec une courbe (verte) des points de rosée très éloignée de la courbe de température (rouge). Le gradient de température jusqu'à 700 hPa est d'environ 0.7 °C/100 m, ce qui est favorable. Les vents généraux soufflent faiblement du NW (10–15 km/h). Ce sont des conditions typiques se rencontrant très souvent à



Fliegen in majestätischer Landschaft: Dauladar im indischen Vorhimalaja. Voler dans un paysage majestueux: le Dauladar, chaîne de montagnes préhimalayenne. | Interessierte Dorfbewohner von Bir. Les habitants du village de Bir sont curieux. | Die Vorberge des Himalajas erreichen 3000 bis 5000m. Les sommets préhimalayens atteignent 3000 à 5000 m.

Anatomie d'un thermique dans l'Himalaya

Hauptwinde (10–15 km/h) wehen aus Nordwest. Solche Bedingungen sind für die Gegend um diese Jahreszeit typisch und oft anzutreffen. Lokal gesehen (Mikroskala) und auf Flughöhe (2000 bis 3000 m) sind diese Nordwestwinde vor dem Dauladar jedoch fast nie zu spüren. Einflussreicher sind die schwachen regionalen thermischen Winde, die ich später beschreiben werde. Die tägliche Beobachtung der von den Gipfeln des Himalajas stammenden hohen Restbewölkung bestätigen die fast permanenten nordwestlichen Hauptwinde in grossen Höhenlagen.

Ergebnis

Die Blauthermik wurde sechsmal aufgedreht. Das dritte Steigen (08h22 bis 08h24:30 Z) und das dritte Sinken (08h25 bis 08h29:30 Z) sowie der letzte Flug (08h58 bis 09h10 Z) über dem Landeplatz erscheinen mir besonders interessant. Von den sechs Schläuchen ist lediglich der vierte etwas schwächer und unregelmässig. Man kann also davon ausgehen, dass die Thermik, die oberhalb der Abrisskante – einer Kurve der Strasse nach Billing (Abbildung 7) – steigt, eine quasi gleichmässig aufsteigende Luftsäule bildet. Auf dem Weg zum Startplatz, zu dem ich fast täglich zu Fuss hinaufgestiegen bin, konnte ich jedoch beobachten, dass der Wind, der unterhalb dieser Kurve den Hang heraufbläst und diesen Thermikschlauch wahrscheinlich versorgt, unregelmässig und abwechselnd an unterschiedlichen Orten bläst.

Abbildung 3 zeigt das vertikale Profil der Atmosphäre während dem letzten Sinkflug. Unter 2100 m sind der Temperaturgradient und die Trockenadiabate sehr nahe. Zwischen 2100 m und 2500 m schwächt dieser Gradient ab und geht nach und nach auf 6 °C/100 m zu. Der Taupunktgradient ist dem Sättigungsgrad (0,2 °C/100 m) sehr nahe, was auf eine sehr homogene Luftfeuchtigkeit hinweist. Dieser Aspekt beider Kurven entspricht der üblichen Struktur einer konvektiven Schicht. Überträgt man diese Kurven einerseits auf die Mikroskala und andererseits auf die Makroskala der NCEP-Analyse (rote und grüne Kurven) in das Diagramm der Abbildung 3 (blaue und orange Kurven), fällt deren Unstimmigkeit auf. Lokal betrachtet ist die untere Luftschicht tatsächlich wesentlich feuchter und etwas kälter als auf der synoptischen Ebene.

Abbildung 4 zeigt den GPS-Track des dritten Steigens und Sinkens jeweils in und ausserhalb der Thermik, auf zwei Ebenen, einer hori-

cette période dans la région. A échelle locale (micro-échelle) et aux altitudes de vol (2000–3000 m env.) devant le Dauladar, ces vents du NW ne se ressentent pourtant quasi jamais; mais il y domine plutôt des vents thermiques régionaux pas très forts qui vont être décrits ci-après. L'observation journalière des résidus nuageux élevés provenant du sommet des cumulus générés par les hautes cimes himalayennes confirme les vents généraux quasi permanents du NW en haute altitude.

Résultats

Le thermique, bleu, est enroulé six fois successivement. La troisième ascension (08 h 22 à 08 h 24:30 Z) et la troisième descente (08 h 25 à 08 h 29:30 Z) ainsi que la descente finale (08 h 58 à 09 h 10 Z) au-dessus du terrain d'atterrissage me paraissent les plus intéressantes. Sur les six montées, seule la quatrième est un peu plus faible et irrégulière. On peut donc considérer le thermique comme une colonne d'air ascendante quasi continue au-dessus d'un décrochement de l'arête, marqué par un virage de la route menant à Billing (figure 7). En me rendant à pied presque tous les jours au décollage, je peux observer, par contre, que les paquets de brises remontant les pentes sous ce virage et alimentant probablement cette colonne thermique ne sont pas réguliers et soufflent tantôt à un endroit, tantôt à un autre.

La figure 3 montre le profil vertical de l'atmosphère lors de la descente finale. En dessous de 2100 m, le gradient de température est très proche de l'adiabatique sèche. Entre 2100 et 2500 m, le gradient faiblit et s'approche progressivement de 0.6°C/100 m. Le gradient des points de rosée est très proche du gradient des lignes des rapports de mélange (0,2 °C/100 m), ce qui indique une humidité très homogène. Cet aspect des deux courbes est conforme à la structure classique d'une couche convective. Si on place celles-ci sur le diagramme de la figure 3 (courbes bleue et orange), on est frappé par la discordance entre elles, représentant un état mesuré à micro-échelle, et les courbes (rouge et verte) à macro-échelle de l'analyse NCEP. La basse atmosphère à l'échelle locale est en effet beaucoup plus humide et un peu plus froide que celle à l'échelle synoptique.

La figure 4 montre la trace GPS des troisièmes montée et descente, respectivement dans et hors thermique, projetées sur deux plans horizontal et vertical g (profil). La montée est présentée en détail sur



Abb. 1 | III. 1

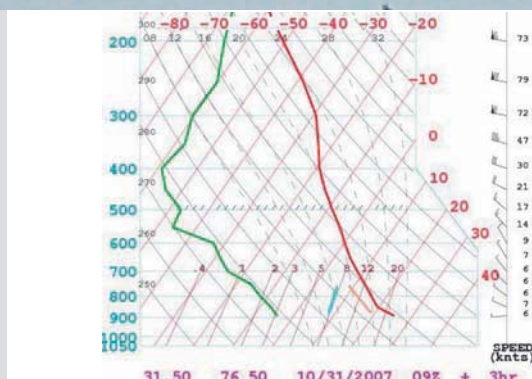


Abb. 2 | III. 2

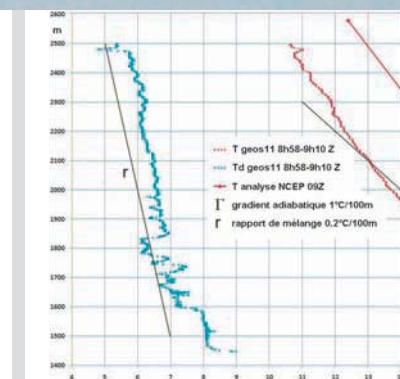


Abb. 3 | III. 3

zontalen und einer vertikalen g (Profil). Das Steigen ist in Abbildung 5 detailliert dargestellt. Die Farbabstufung entspricht denjenigen des Varios: gelb-orange = 1–2 m/s, rot = 3–4 m/s. Im unteren Drittel wird das Steigen von einem Südwestwind (5–10 km/h), der mit zunehmender Höhe graduell abnimmt, verschoben. Im mittleren Drittel herrscht kein horizontaler Wind mehr; das Steigen ist vertikal und regelmässig und erreicht eine maximale Stärke von ca. 4 m/s. Oberhalb der kleinen Inversion auf 2500 m (Abbildung 6) wird das Steigen von einem Nordostwind verschoben, ist unregelmässiger und turbulenter, was man den Farbbänderungen des Tracks entnehmen kann. Abbildung 6 zeigt, dass die Luft in der Thermik 0,3–1 °C wärmer und 0,2–0,6 °C feuchter ist als die Umgebungsluft. Oberhalb der Inversion (2500 m) gibt es keinen Temperaturunterschied mehr; dafür ist der Feuchtigkeitsunterschied deutlich gestiegen. Die geringe Feuchtigkeit (dunkelblaue Kurve) und das kleine, ausgeprägte «S», das die rote Temperaturkurve zu Beginn des gemessenen Sinkens aufweist, zeigt die schwache Inversion (0,3 °C/50 m) auf etwa 2500 m. Der Aufwind hat die Inversion also durchbrochen, wahrscheinlich aufgrund der Trägheit, und vielleicht auch deswegen, weil die Luft in der Thermik feuchter und leichter ist als die trockenere Umgebungsluft.

Interpretation und Schlussfolgerung

Man könnte sich das Mikroskala-Modell einer Thermik und ihrer konvektiven Schicht so vorstellen (Abbildung 7): Im unteren Bereich dieser Schicht verschiebt ein anabatischer Südwestwind die Thermik gegen den Berg. Im oberen Bereich herrscht wenig Wind, und die Thermik wird vertikal. Wahrscheinlich herrscht meistens eine kleine Inversion an der Spitze dieser Schicht; dann bläst ein lokaler Nordostwind. Die Thermik wird zu einem steigenden Schlauch, der aus mehreren kleinen, unregelmässigen Warmluftpaketen gespeist wird, die dem Hang entlang steigen und konvergieren, so, wie Wassertropfen zu einer Auswölbung an der Decke strömen und ein Rinnsal bilden. Aufgrund der Trägheit dringt die Thermik manchmal über mehrere Meter durch die Inversion und wird dann deutlich feuchter als die Umgebungsluft. Unterhalb der Inversion sind die Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede zwischen steigender und umgebender Luft unwesentlich.

la figure 5. Le dégradé de couleur correspond au vario: jaune-orange = 1–2 m/s, rouge = 3–4 m/s. Au tiers inférieur, l'ascendance est inclinée par un vent du SW (5–10 km/h), diminuant progressivement avec l'altitude. Au tiers moyen, il n'y a plus de vent horizontal, l'ascendance est verticale et régulière et sa force est maximale (env. 4 m/s). Au-dessus de la petite inversion (figure 6) à 2500 m, l'ascendance est inclinée par un vent de NE et est plus irrégulière et turbulente, ce qui se traduit par des variations de couleurs de la trace.

La figure 6 montre qu'à l'intérieur du thermique, l'air est 0,3–1 °C plus chaud et 0,2–0,6 °C plus humide que l'air ambiant. Au-dessus de l'inversion (2500 m) il n'y a plus de différence de température mais une nette accentuation de la différence d'humidité. L'inversion, faible (0,3 °C sur 50 m), est mise en évidence par les mesures au début de la descente avec le petit «S» caractéristique de la courbe (rouge) de température et la faible humidité [courbe bleu foncé] vers 2500 m. L'ascendance a donc traversé cette inversion probablement par inertie et aussi peut-être parce que l'air du thermique plus humide est un peu plus léger que l'air ambiant plus sec.

Interprétation et conclusions

On peut imaginer un modèle à micro-échelle d'une ascendance et de sa couche convective (figure 7). Au bas de cette couche, un vent local anabatique du SW incline le thermique en direction de la montagne. A la partie supérieure de cette couche il y a peu de vent, le thermique devient vertical. Une petite inversion marque probablement souvent le sommet de la couche et juste au-dessus souffle un vent local du NE. Le thermique prend souvent la forme d'une colonne ascendante continue issue de plusieurs petits paquets irréguliers d'air chaud glissant sur la pente et convergeant, comme des gouttes sur une excroissance au plafond pour former le filet d'eau. Il peut parfois traverser l'inversion, sur quelques dizaines de mètres, par inertie surtout et devient alors sensiblement plus humide que l'air ambiant. En dessous de l'inversion, les différences de température et d'humidité entre l'air ascendant et l'air ambiant ne sont pas très importantes.

Passons de l'échelle locale à l'échelle régionale (mésos-échelle). Le modèle de circulation proposé est montré à la figure 8. On remar-

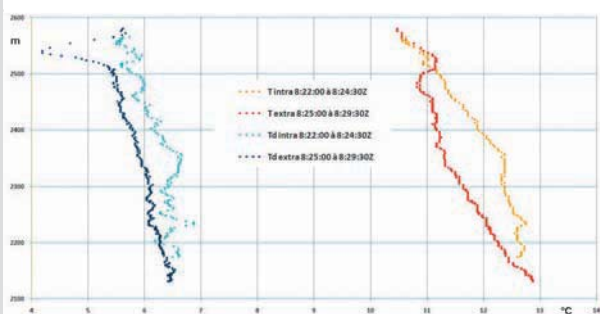


Abb. 6 | III. 6

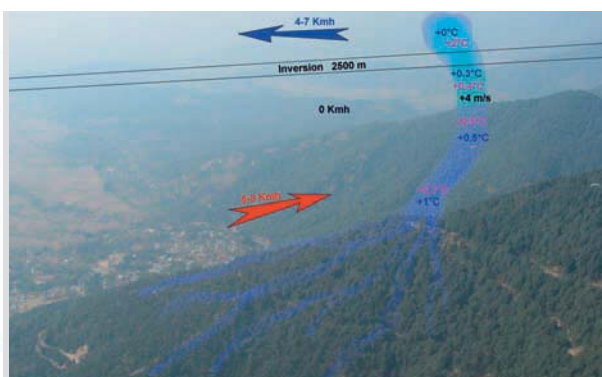


Abb. 7 | III. 7

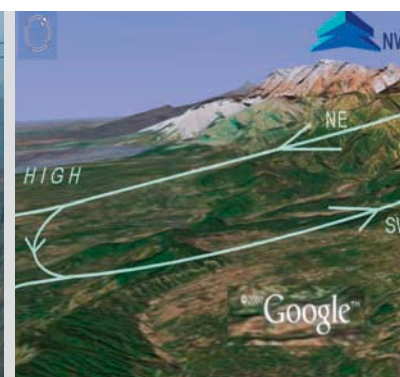


Abb. 8 | III. 8

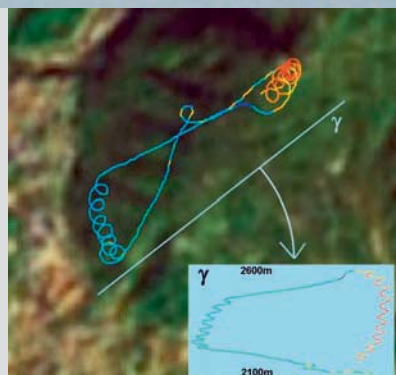
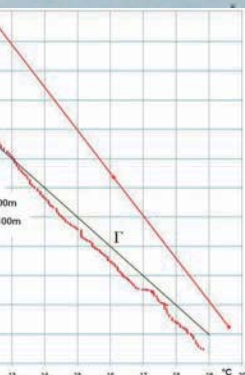


Abb. 4 | III. 4

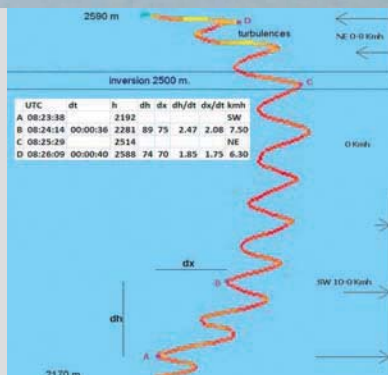


Abb. 5 | III. 5

Abb. 1: Südwesthänge des Dauladar. III. 1: Face sud-ouest du Dauladar.

Abb. 2: Aerologisches Diagramm der NCEP am Tag des Experiments. III. 2: Diagramme aérologique NCEP le jour de l'expérience.

Abb. 3: Vertikales Profil der Atmosphäre während des letzten Sinkflugs. III. 3: Profil vertical de l'atmosphère lors de la descente finale.

Abb. 4: GPS-Track des dritten Steigens und Sinkens (auf zwei Ebenen). III. 4: Trace GPS des troisièmes montée et descente projetées sur deux plans.

Abb. 5: Das Steigen (in den Farbabstufungen des Varios). III. 5: La montée (le dégradé de couleur correspond au vario).

Wechseln wir von der lokalen zur regionalen Skala (Mesoskala). Das vorgeschlagene Zirkulationsmodell ist in Abbildung 8 dargestellt. Bemerkenswert sind die drei Windschichten. Die zwei untersten sind rein regional und erscheinen also nicht auf der «blinden» synoptischen Analyse der NCEP-Modelle. Sie gleichen sich in Form eines «Rollteppichs» kinetisch aus und blasen 180° auseinander (Südwest gegen Nordost). Oberhalb 3000 m bläst in der oberen Schicht der meteorologische Hauptwind, der auf der NCEP-Makroskala-Analyse ersichtlich ist, von Nordwest, also senkrecht zu den vorherigen Winden. ETH-Professor Bruno Neininger hat im Goms ein ähnliches Phänomen beobachtet (Local Winds in the upper Rhone Valley, Geojournal, 1984). Er stellte zwei untere, lokale Windschichten fest, die zwar gegensätzlich, aber parallel zur Längsachse des Tals fließen, und eine obere Schicht, in der die Hauptwinde abhängig von der Wetterlage blasen.

Die «Blindheit» der synoptischen NCEP-Analyse wird schliesslich auch in Abbildung 2 dadurch deutlich, dass zumindest in den unteren, lokalen Schichten die Luft etwas kälter (orange Kurve) und deutlich feuchter (blaue Kurve) ist als auf der Makroskala (rote und grüne Kurven). Das kann man wie folgt erklären: Die anabatischen Winde konvergieren auf den Kämmen, erhöhen langsam die regionale Luftmasse und verursachen eine thermische Depression (LOW auf Abbildung 8), welche diese Luftmasse abkühlt und befeuchtet, wodurch sie labil wird. Um dies zu kompensieren, bildet sich natürlich eine Hochdrucksenkung (Subsidenz) der Luftmasse über der Hochebene (HIGH), welche die Inversion dort verstärkt. Nun kann man verstehen, warum sich über dem Dauladar grosse Kumuli bilden, obwohl die numerischen Modelle mit breiten Rasterabständen auf eine sehr trockene Atmosphäre hinweisen, die man vor Ort über den weiten Südebenen des Himalajas auch beobachten kann (Dunst, keine Wolken). So kann man sich anhand des synoptischen, aerologischen NCEP-Diagramms und eines etwa um die gleiche Zeit in Billing Richtung Nordwest gemachten Fotos (Abbildung 9) die lokalen Temperatur- (orange) und Taupunktskurven (blau) vorstellen.

que trois couches de vents. Les deux inférieures, purement régionales et donc non visibles dans l'analyse synoptique «myope» des modèles NCEP, se compensent cinétiquement sous la forme d'un «tapis roulant». Leurs directions diffèrent de 180° (SW versus NE). Dans la couche supérieure (plus de 3000 m) souffle le vent météo général du NW, perpendiculaire aux vents précédents et visible à macro-échelle par l'analyse NCEP. Le professeur Neininger de l'EPFZ (Local winds in the upper Rhone Valley. Geojournal, 1984) a étudié un phénomène semblable dans la vallée de Conches (région du fameux site de Fiesch). Il a mis en évidence deux couches inférieures de vents locaux, parallèles à l'axe longitudinal de la vallée mais de sens contraire, et une couche supérieure de vents généraux dépendant de la situation météo.

La «myopie» de l'analyse synoptique NCEP est finalement aussi démontrée sur la figure 2 par le fait que, localement, dans les basses couches en tout cas, l'air est un peu plus froid (trait orange) et nettement plus humide (trait bleu) qu'à macro-échelle (respectivement courbes rouge et verte). Ceci peut être expliqué par la convergence des vents anabatiques sur les crêtes entraînant un soulèvement régional lent de la masse d'air et la formation d'une dépression thermique (LOW sur la figure 8), ce qui humidifie et refroidit cette masse d'air et augmente son instabilité. Pour compenser, il y a bien sûr un affaissement anticyclonique (subsidence) de l'air sur le plateau (HIGH) qui renforce l'inversion à ce niveau. On peut comprendre maintenant pourquoi, même avec une atmosphère très sèche annoncée par les modèles numériques à large maille et observable effectivement (brume et absence de nuage) au-dessus des larges plaines au sud de l'Himalaya, on peut avoir de gros cumulus sur le Dauladar. Ainsi, à partir d'une photo prise depuis Billing en direction NW et du diagramme aérologique synoptique NCEP à peu près à un même moment et au même endroit (figure 9), on peut s'imaginer les courbes locales de températures (orange) et de points de rosée (bleu).

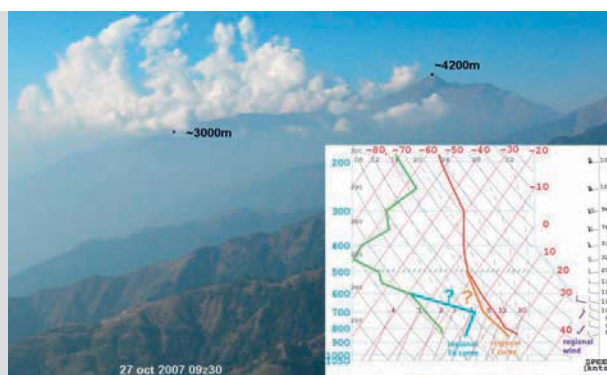
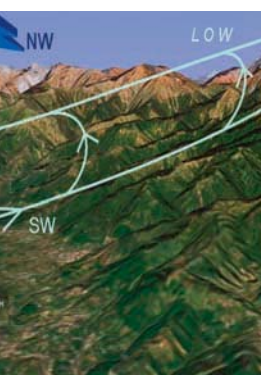


Abb. 9 | III. 9

Abb. 6: Oberhalb 2500m (Inversion) wird das Steigen verschoben. III. 6: Au-dessus de 2500 m (inversion), l'ascendance est inclinée par le vent.

Abb. 7: Thermik oberhalb der Abrisskante. III. 7: Thermique au-dessus de la ligne de déclenchement.

Abb. 8: Das Zirkulationsmodell mit den drei Windschichten. III. 8: Le modèle de circulation avec les trois couches de vents.

Abb. 9: Billing in Richtung Nordwest: Temperatur- (orange) und Taupunktskurve (blau). III. 9: Vue depuis Billing en direction NW: courbes de températures (orange) et de points de rosée (bleu).