



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Service Jeunesse et acteurs de l'Éducation.

18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9

Tél. : () 5 61 27 31 14 / Fax : () 5 61 28 27 67

Site Internet : www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs

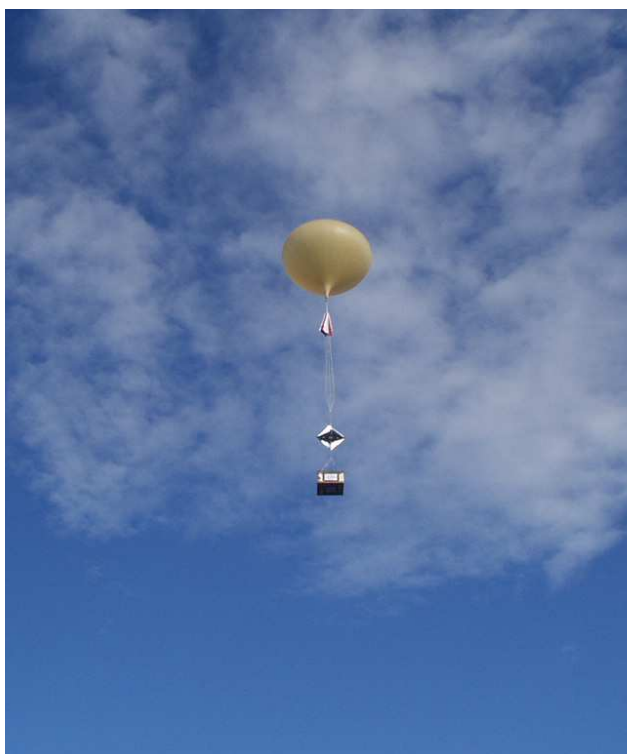


PLANETE SCIENCES - Secteur Espace

16, place Jacques Brel - 91130 RIS-ORANGIS

Tél. : () 1 69 02 76 10 / Fax : () 1 69 43 21 43

Site Internet : www.planete-sciences.org/espace



Prévision de la trajectoire d'un ballon

Version 7 (Mars 2010)

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
2. MODE D'EMPLOI	4
2.1 1° étape :	4
2.2 2° étape : Obtenir les coordonnées du lieu de lâcher.	4
2.3 3° étape : Recueillir les prévisions de vents sur le site web de la NOAA	6
2.4 4° étape : Prélever données NOAA.	10
2.5 5° étape : Sélection de l'heure de prévision.	11
2.6 6° étape : Caractéristique de la chaîne de vol.	12
2.7 6° étape : Prévisions de trajectoire	12
2.8 7° étape : Exploitation de la prévision	13
2.9 Réduction de la taille du fichier	17
2.10 Ajout d'une carte	18
3. DESCRIPTION DU MODELE	21
3.1 Pour aller au plus court	21
3.2 Pour ceux qui souhaitent en savoir plus sur le classeur excel.	21
3.2.1 Feuille Atmosphère	22
3.2.2 Feuille Chaîne de vol	23
3.2.3 Feuilles « Prévision x »	24
3.2.4 Feuille graphique	25
3.2.5 Feuille Profil	25
3.2.6 Feuille carte	25
3.2.7 Divers	26
4. CONCLUSION	27
5. AUTRES PUBLICATIONS CONSACREES A L'ACTIVITE BALLON	27

Ont contribué à la réalisation de ce document :

Michel Maignan, Samuel Blossier, Valérie Péron, Bernard Bertin
L'activité "Ballon pour les jeunes" est pratiquée sous l'égide du CNES

1. INTRODUCTION

Ce document est le mode d'emploi du classeur EXCEL « Prévisions ballons » destiné à évaluer la trajectoire probable d'un ballon. Il s'appuie sur les prévisions concernant la force et la direction des vents en tout point du globe, disponibles sur le site web états-unien de la NOAA.

Les données de la NOAA couvrent les 16 jours à venir. Bien sûr les prévisions à plusieurs jours sont moins fiables que celles du jour au lendemain. Mais l'évaluation de la trajectoire probable d'un ballon lors d'un futur lâcher permet entre autres d'évaluer le risque que le ballon survole un autre Etat.

Pour obtenir les prévisions, il est nécessaire de disposer :

- D'un PC ou d'un Macintosh connecté à Internet et équipé d'un navigateur : Internet Explorer ou Mozilla Firefox ¹, du logiciel EXCEL 2000 ou 2007 et éventuellement d'Acrobat Reader ou de logiciels équivalents pour lire ce mode d'emploi ².
- Des coordonnées du lieu de lâcher (longitude, latitude, altitude) ou de l'adresse du lieu de lâcher,
- De la date et de l'heure du futur lâcher,
- Des caractéristiques de la chaîne de vol, (type de ballon, masse de la nacelle et des accessoires, conditions de gonflage).

En environnement Windows, le tableur Excel utilise le disque C. Si le disque est verrouillé en écriture contacter votre administrateur système.

En environnement Macintosh, le tableur Excel utilise le disque Macintosh HD. Si le disque est verrouillé en écriture contacter votre administrateur système.

Au préalable vérifier que EXCEL est configuré pour accepter les macros. Pour cela il suffit de cocher :

pour EXCEL 2000 dans le menu Outils / Macro / Sécurité et cliquer sur : Niveau de sécurité moyen.

Pour EXCEL 2007 dans le menu Options EXCEL / Centre de gestion de la confidentialité / Paramètre du centre de gestion de la confidentialité / Paramètres des macros / Activer toutes les macros.

Attention certains logiciels de protection du type « Firewall » (ZoneAlarm par exemple) peuvent empêcher EXCEL d'accéder à Internet. Veuillez configurer votre Firewall pour autoriser EXCEL à accéder à Internet ou bien désactivez-le momentanément.

¹ Ne fonctionne pas avec le navigateur Safari car celui-ci ne dispose pas de la fonction enregistrement au format txt.

² Fonctionne probablement dans d'autres environnements mais nous ne les avons pas testés.

2. MODE D'EMPLOI

2.1 1° ETAPE :

Installer le fichier EXCEL « Prévisions ballons avril 2010 » dans le répertoire de votre choix.

Ouvrir le fichier « Prévisions ballons avril 2010 » à la feuille « Données NOAA ».

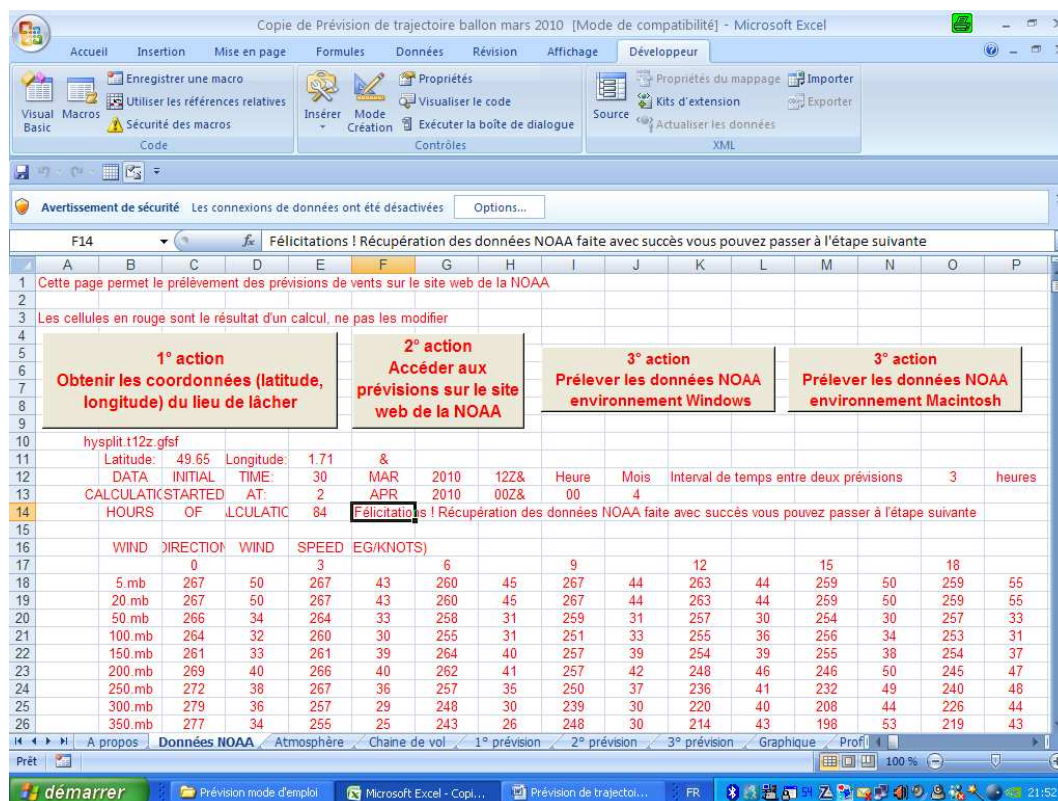


Figure 1

2.2 2° ETAPE : OBTENIR LES COORDONNEES DU LIEU DE LACHER.

Si vous ne connaissez pas les coordonnées du lieu de lâcher, le bouton « Obtenir les coordonnées du lieu de lâcher » vous permet d'accéder au site Internet <http://www.geoportail.fr> qui, à partir d'une adresse, fournit les coordonnées longitude et latitude et une carte du lieu. Vous pouvez aussi connaître les coordonnées du lieu en vous rendant sur place avec un GPS.



Figure 2 : saisie de l'adresse

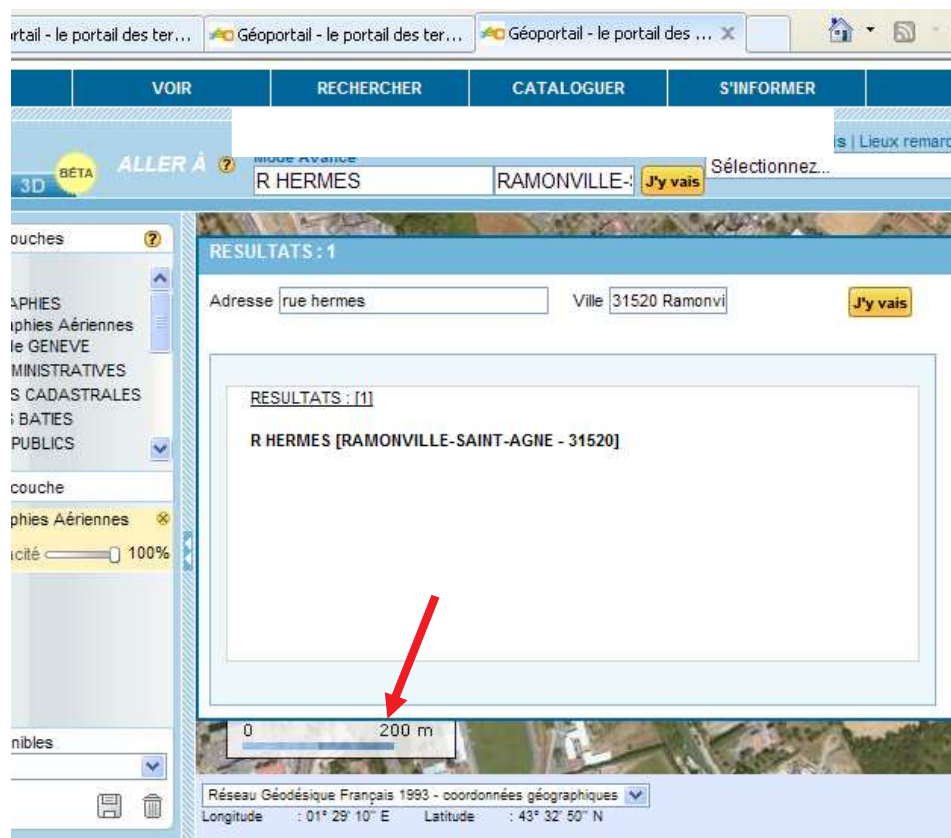


Figure 3 : coordonnées longitude latitude du lieu recherché

Si, au lieu d'accéder au site Web, vous obtenez le message d'erreur suivant :

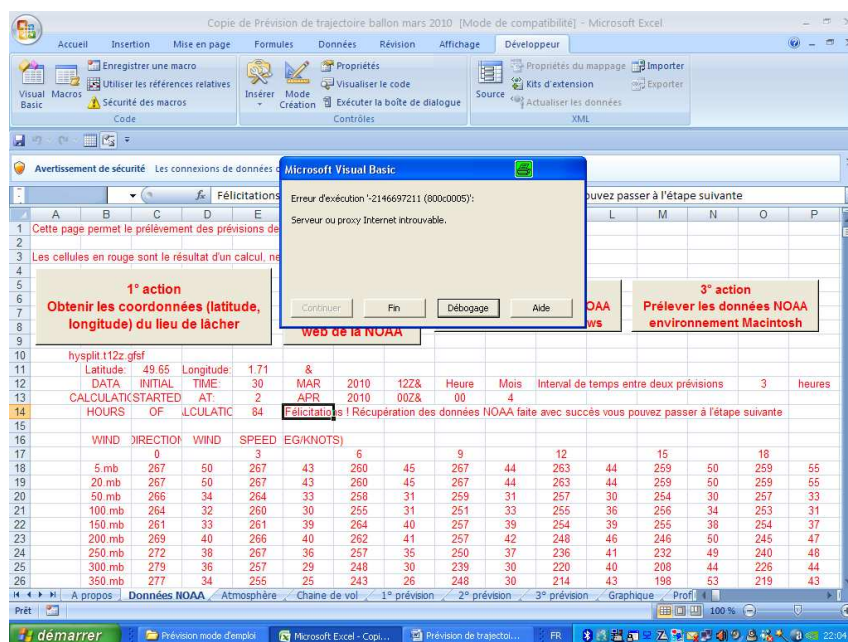


Figure 4

vous disposez très probablement d'un Firewall qui interdit à EXCEL d'accéder à Internet. Voir la remarque faite sur ce point dans l'introduction.

2.3 3° ETAPE : RECUEILLIR LES PREVISIONS DE VENTS SUR LE SITE WEB DE LA NOAA

En cliquant sur le bouton « Recueillir les prévisions sur le site web de la NOAA » vous accédez directement au site web <http://www.arl.noaa.gov/ready/cmet.html>

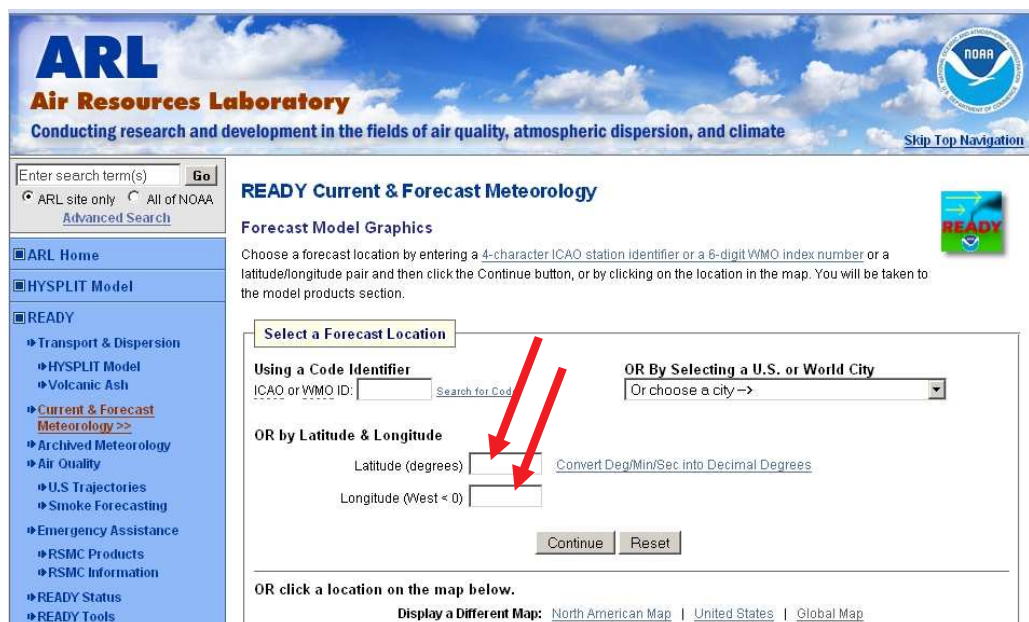


Figure 5

Entrer la longitude et la latitude du lieu de lâcher. Attention au signe : signe positif si la longitude est EST, signe négatif si la longitude est OUEST (West). Les unités sont le degré et le dixième de degré. À cette étape, une précision au demi-degré est suffisante.

Exemple : Ramonville Saint Agne 43,5 ° Nord et 1,5 ° Est

En cliquant sur « Continue », vous arrivez sur la page suivante :

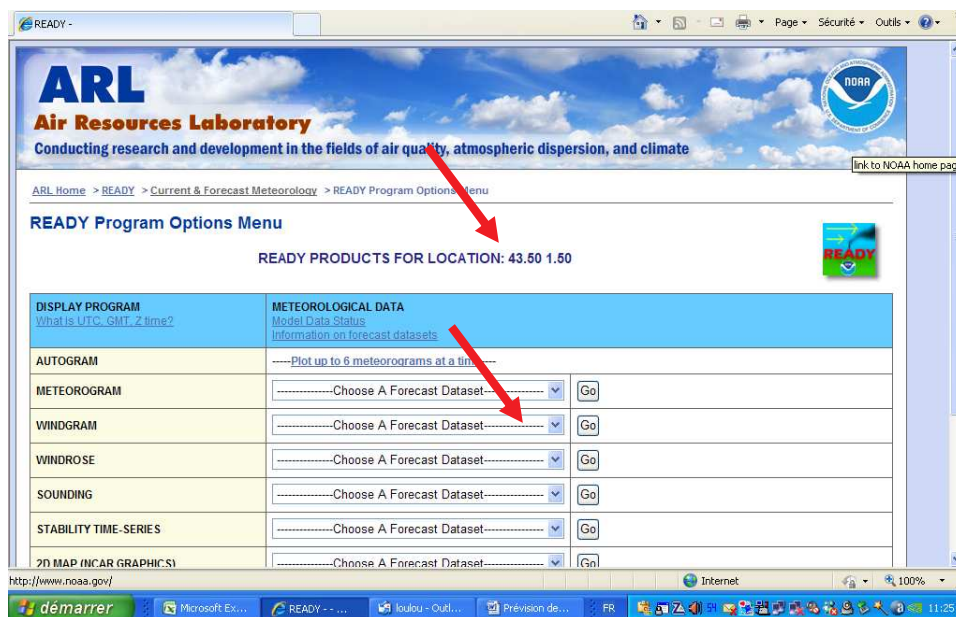


Figure 6

Vérifier la justesse des coordonnées que vous avez entrés sur la ligne « Ready Products for location : » (le site fait des arrondis) puis dans le menu WINGRAM, (diagramme de vent) sélectionner le sous-menu qui correspond le mieux à la durée jusqu'au lâcher prévu :

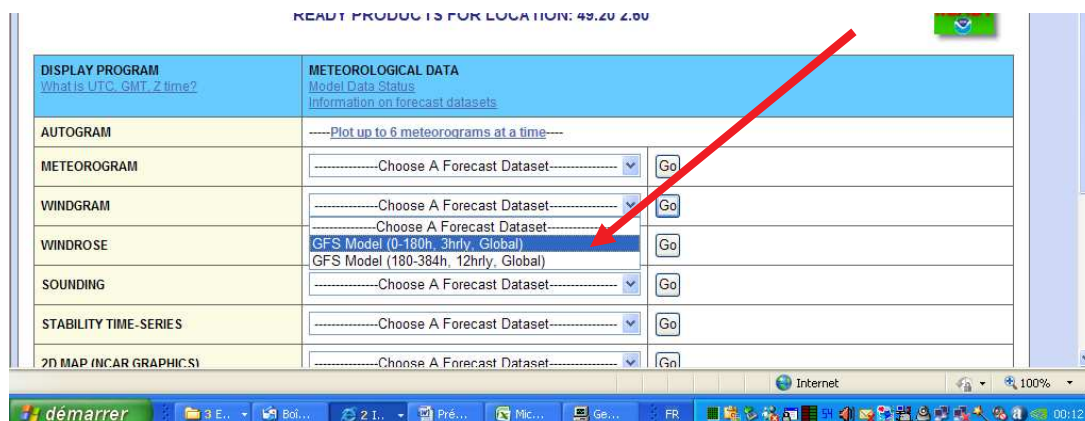
- GSF model ³ (0-180h, 3hrly, Global) :

Le modèle couvre les 180 prochaines heures et fournit des prévisions toutes les 3 heures sur le monde entier.

- GSF model (180-384h, 6hrly, Global) :

Le modèle couvre les 180 prochaines heures et fournit des prévisions toutes les 6 heures sur le monde entier.

Pour la suite de ce mode d'emploi GSF model (0-180 h, 3hrly, Global) est choisi. Mais la procédure est la même pour les autres modèles.



³ Global Forecast System

Figure 7

On obtient donc l'écran suivant : On clique alors sur Next sans modifier la fenêtre « Meteorological Forecast Cycle »

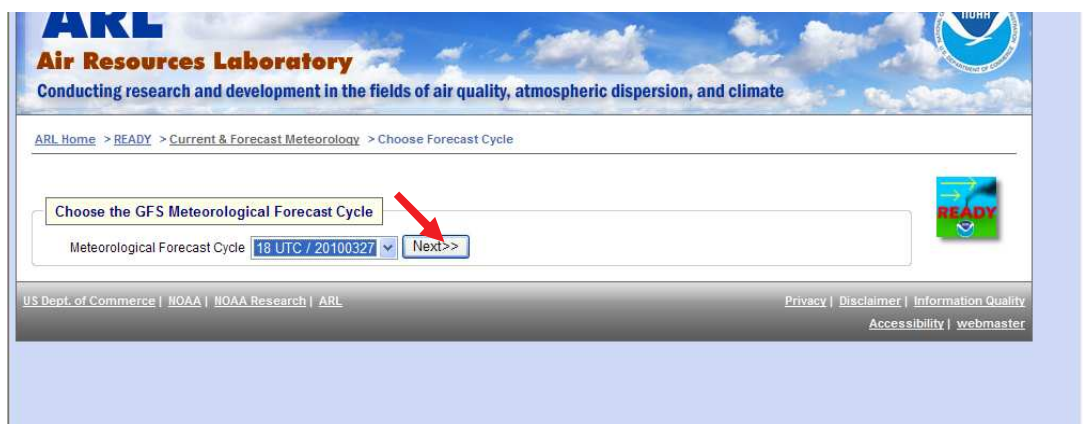


Figure 8

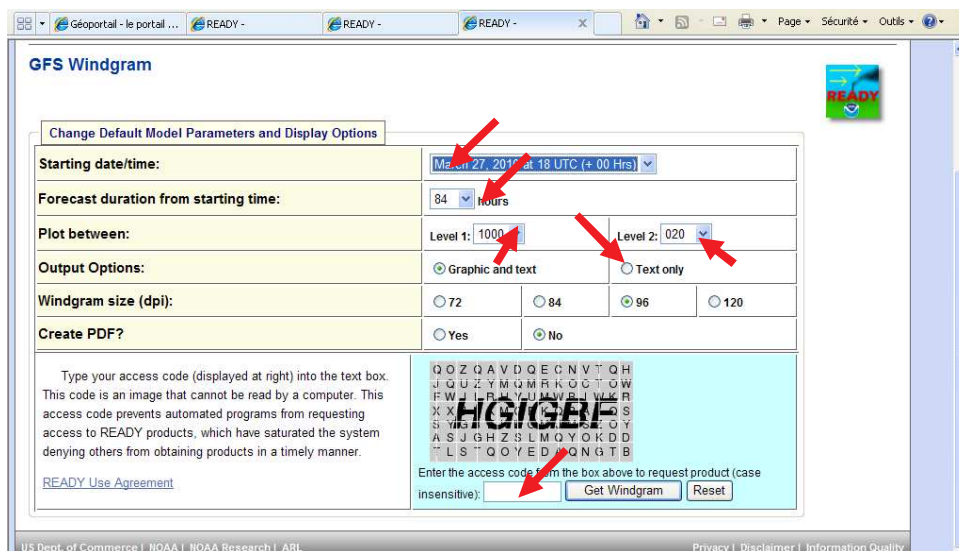


Figure 9

- Dans la fenêtre : Starting date/time,
Choisissez comme date la veille de votre date prévisionnelle de lâcher.
- Dans la fenêtre : Forecast duration from starting time ,
Choisissez la durée en heure pendant laquelle vous souhaitez faire des prévisions. La valeur par défaut 84 (3,5 jours) convient le plus souvent. Ne pas dépasser 102.
- Dans la fenêtre : Level 1,
Conserver l'indication qui s'affiche par défaut : 1000 mb, ce qui correspond à 150 m,
- Dans la fenêtre : Level 2,
Conserver l'indication qui s'affiche par défaut : 20 mb, ce qui correspond à 26 km, altitude la plus haute donnée par le modèle,

- Dans la ligne : Output Options,
Modifier la valeur par défaut et choisissez TEXT only,

Recopier le mot de passe ici : HGIGBF et get Windgram. Vous obtenez le tableau suivant :

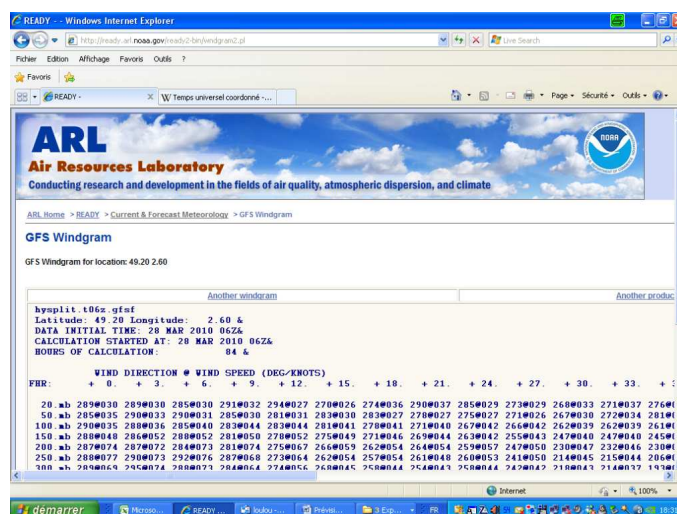


Figure 10

Enregistrer alors **directement sous la racine du disque C⁴** (environnement Windows) **ou directement sous la racine du disque Machintosh HD** (environnement Machintosh) en lui donnant le nom NOAA et en l'enregistrant au format txt.

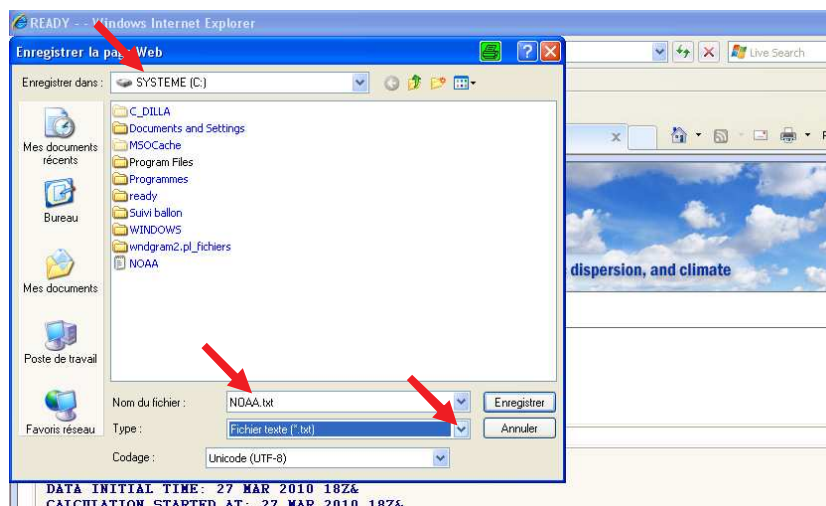


Figure 11

Si besoin écraser le fichier déjà présent et issu d'une précédente prévision. Surtout ne l'enregistrez pas sous un nom différent, EXCEL ne le retrouverait pas par la suite Puis refermer le navigateur.

Pour les curieux, le tableau de la Figure 10 se lit ainsi :

CALCULATION STARTED AT: 28 MAR 2010 06Z
Date et heure du début de la prévision, exprimée en UTC ⁵

⁴ Si le message « Il est possible que ne puisse pas être enregistrée correctement » apparaît répondez oui.

HOURS OF CALCULATION: 84 &

Heure de la dernière prévision : ici 84 heures après la CALCULATION STARTED

Donc on dispose de 28 prévisions échelonnées toutes les 3 heures

FHR: + 0. + 3. + 6. etc

Pour chaque ligne du tableau on a :

XXX mb = altitude correspondant à la pression de XXX mb

xxx@xxx = direction d'où vient le vent exprimé en degré suivant la rose des vents ⁶ @ la vitesse du vent exprimée en nœuds. (1 nœud = 1,852 km/heure). Le nœud ⁷ est l'unité de vitesse utilisée par les météorologistes.

2.4 4° ETAPE : PRELEVER DONNEES NOAA.

En revenant à la feuille Données NOAA du tableur, cliquer sur l'un des boutons « 3° action Prélever données NOAA » en fonction de votre environnement informatique Windows ou Macintosh.

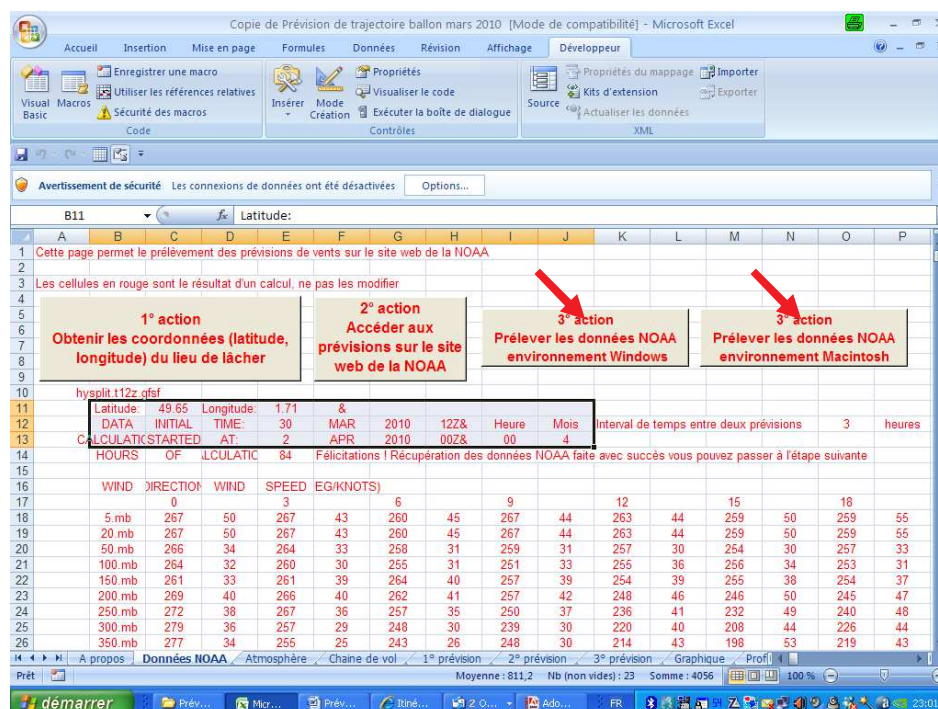


Figure 12

Une macro EXCEL transfère alors automatiquement les données utiles du fichier de la NOAA vers le tableur EXCEL. Vérifier que le fichier transféré est bien celui souhaité (cases encadrées en noir).

⁵ UTC, Le temps universel coordonné (UTC) est l'échelle de temps à partir de laquelle les fréquences de référence et les signaux horaires sont disséminés de manière coordonnée entre les utilisateurs. L'échelle de temps UTC est ajustée en insérant des secondes intercalaires afin de garantir un accord approximatif avec le temps dérivé de la rotation de la Terre.

⁶ 0° pour le Nord, 90° pour l'Est, 180° pour le Sud, 270° pour l'Ouest comme sur une boussole.

⁷ Un Nœud égal un Mille nautique par heure 1 Nœud = 1,852 km/h. Un Mille nautique est la distance entre deux points sur la surface de la Terre dont les verticales passant par le centre de la Terre forment entre elles, un angle d'une minute d'arc.

À cette étape notre classeur Excel devient indépendant du fichier de la NOAA.txt et peut donc être utilisé seul, (archivé, etc.). On lui donnera avantageusement un nom en relation avec la date et le lieu du lâcher. Le fichier NOAA.txt n'a plus d'utilité.

2.5 5° ETAPE : SELECTION DE L'HEURE DE PREVISION.

Passer à présent à la feuille « Atmosphère ».

Choisir « Heure d'été ou Heure d'hiver » pour permettre au tableur de faire la conversion du temps UTC vers l'heure légale française.

Les boutons « Prévision suivante » et « Prévision précédente » permettent de choisir, parmi les prévisions fournies par la NOAA, celle dont l'heure est la plus proche de celle prévue pour le lâcher. Le tableur exploite simultanément 3 séries de données consécutives (prévision 1, prévision 2, prévision 3) afin de fournir un encadrement si l'heure de lâcher ne tombe pas exactement sur l'horaire d'une prévision.

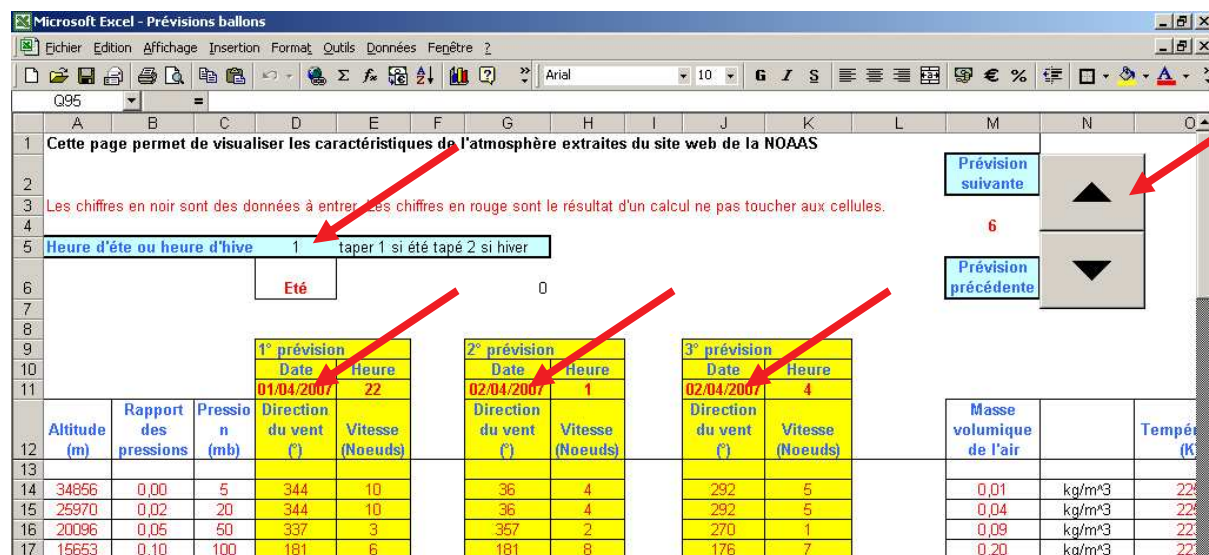


Figure 13

Au bas de cette page, des graphiques reproduisent les valeurs numériques des tableaux.

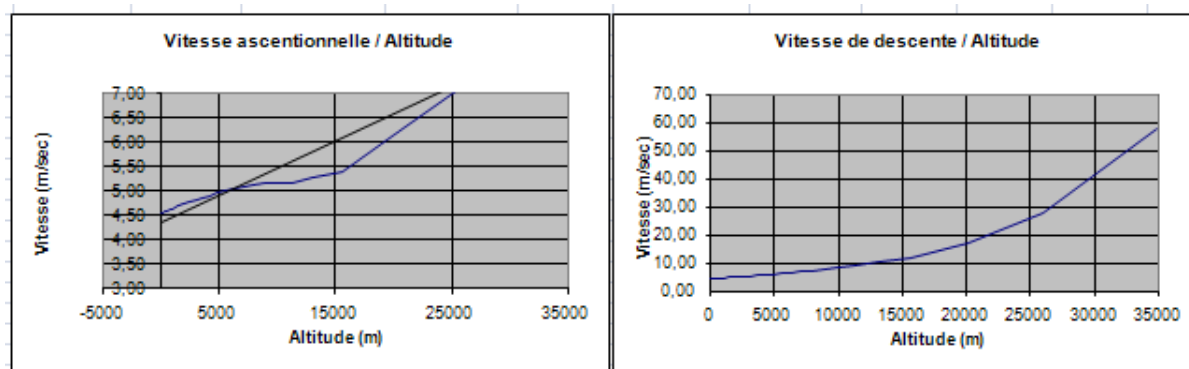


Figure 14

2.6 6° ETAPE : CARACTERISTIQUE DE LA CHAÎNE DE VOL.

Ouvrir la feuille « Chaîne de vol » et entrer les caractéristiques de la nacelle et les paramètres de gonflage du ballon. (Nombres en noir)

Paramètre	Valeur	Unité	
Type de ballon	1200	g	Choisir soit 500 g, soit 1000 g, 1200 g, soit 2000 g
Masse du parachute	260	g	
Masse du réflecteur radar	120	g	
Masse de la nacelle principale	2,5	kg	
Masse de la nacelle largable	0	kg	Si il n'y a pas de nacelle largable alors on indique 0
Masse totale	4,08	kg	
Force ascensionnelle libre conseillée	17	N	D'après documentation Planète Sciences "Le jour du lâcher"
Quantité d'Hélium conseillée	5,21	m ³	Calculée comme si le lieu de lâcher est à l'altitude 0 m, voir documentation Planète Sci
Quantité d'Hélium réellement introduite	5,21	m ³	Évaluée comme si le lieu de lâcher est à l'altitude 0 m,
Force ascensionnelle libre réelle	17,0	N	Compte tenu de la quantité d'hélium réellement introduite
Volume du ballon au décollage	5,21	m ³	Peut être différent de la quantité d'Hélium introduite (ligne 23) si le lâcher a lieu en altitu
Vitesse du ballon au décollage	4,26	m/sec	
Volume à l'éclatement	395	m ³	D'après le fabricant du ballon

Figure 15

Quelques messages d'alarme peuvent apparaître si vous entrez des valeurs non conformes au cahier des charges ballons.

2.7 6° ETAPE : PREVISIONS DE TRAJECTOIRE

Ouvrir la feuille « prévision 1 » et entrer les caractéristiques du lieu de lâcher :

Microsoft Excel - Prévisions ballons

Echier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

Arial 10

G9

Cette page permet de rentrer les caractéristiques du lieu de lâcher et fournir les résultats de la prédiction de trajectoire
 Les chiffres en noir sont des données à entrer. Les chiffres en rouge sont le résultat d'un calcul ne pas toucher aux cellules.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Cette page permet de rentrer les caractéristiques du lieu de lâcher et fournir les résultats de la prédiction de trajectoire									
2	Les chiffres en noir sont des données à entrer. Les chiffres en rouge sont le résultat d'un calcul ne pas toucher aux cellules.									
3										
4		Latitude (°)	Longitude (°)			Altitude (m)		Date	Heure	
5	Lieu de lâcher	49,213	2,576			0		01/04/2007	22	
6			positive si Est négative si Ouest							
7	Lieu d'atterrissage	49,88	2,63							
8										
9		Altitude d'éclatement (m)	Temps de montée (min)	Temps de descente sous parachute (min)	Temps de vol total (min)				Rayon du cercle tracé sur la carte (km)	
10		28556	90	43	133				70	
11										
12	Altitude (m)	Volume du ballon (m ³)	Statut	Vitesse ascensionnelle (m/s)	Temps passé dans chaque couche à la montée (min)	Vitesse de descente (m/s)	Temps passé dans chaque couche à la descente (min)	Distance parcourue vers le nord dans chaque couche à la montée (km)	Distance parcourue vers l'est dans chaque couche à la montée (km)	Distance parcourue vers le nord dans chaque couche à la descente (km)
13										
14	34856	1055,55	Eclatement	8,78	5,6	61,09	1,0	-1,7	0,5	-0,3
15	25970	263,89	Vol	6,72	15,7	29,46	4,1	-4,7	1,3	-1,2
16	20096	105,55	Vol	5,77	13,7	18,65	4,7	-1,2	0,5	-0,4
17	15653	52,78	Vol	5,04	8,7	12,92	3,6	1,6	0,0	0,7
18	13054	35,18	Vol	4,93	6,3	11,05	2,9	3,6	0,8	1,7
19	11210	26,39	Vol	4,86	4,9	9,89	2,5	4,4	1,8	2,2
20	9779	21,11	Vol	4,80	4,1	9,08	2,2	5,7	2,0	3,1

Prêt

Démarrer Gestionnaire des ts... C:\ Prévision de trajet... Microsoft Excel - ... 16:50

Figure 16

- latitude, en degré et dixième de degré,
- longitude, en degré et dixième de degré, comptée positivement à l'Est et négativement à l'Ouest,

Sur cette feuille, la précision souhaitable est le centième de degré. Grossièrement une erreur de 1/100 de degré déplace le lieu de lâcher d'un km donc le lieu d'atterrissage d'autant.

- altitude, en mètres,

Une précision d'une centaine de mètres est suffisante. La correction en altitude a été introduite pour la classe qui lâche au Pic du Midi (2877 m) !

2.8 7° ETAPE : EXPLOITATION DE LA PREVISION

Si les étapes précédentes ont été correctement menées, on obtient sur la feuille « Graphique », trois courbes de prévisions de trajectoire ainsi que les coordonnées probables du lieu d'atterrissage pour la première prévision. L'heure indiquée est l'heure légale française.

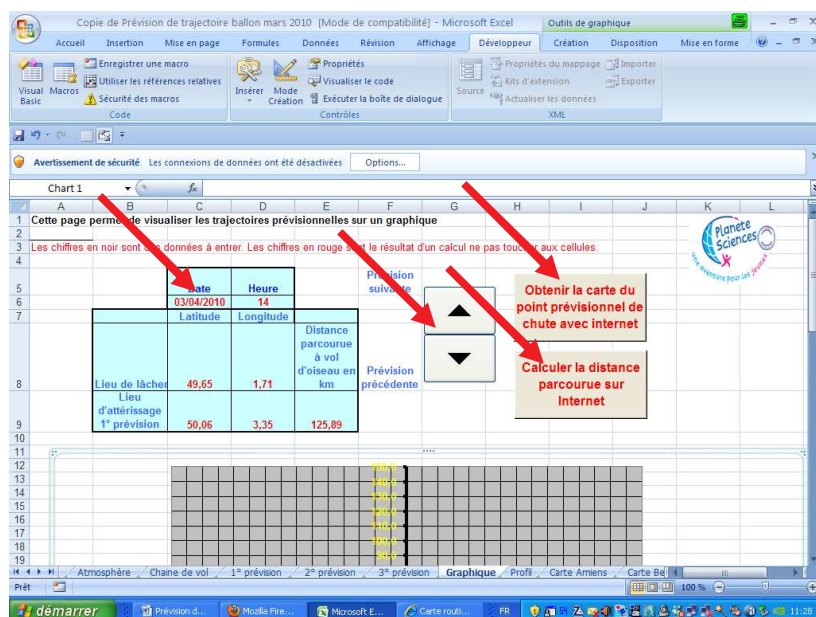


Figure 17

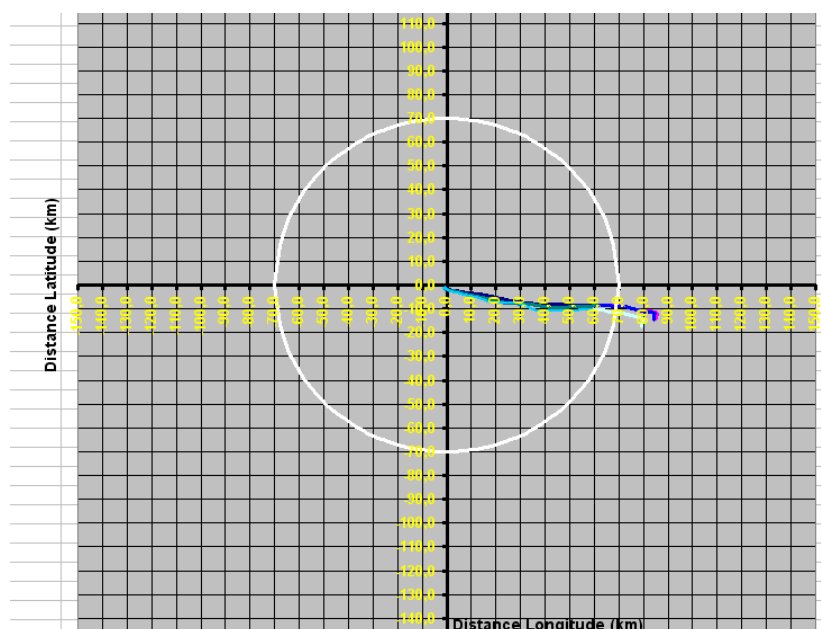


Figure 18

- Le centre du graphique représente le lieu du lâcher. L'axe vertical est orienté plein Nord. Les axes sont gradués en km,
- Pour chaque tracé les deux segments de couleur différente correspondent à la montée puis à la descente.
- En cliquant sur les axes, on accède à la fenêtre EXCEL qui permet d'en modifier l'échelle.
- En sélectionnant le graphique et en tirant sur un de ses coins **tout en appuyant sur la touche Majuscule** on peut modifier son échelle pour tenter de l'adapter à celui d'une carte routière. (si l'on n'appuie pas sur la touche majuscule le cercle sera transformé en une ellipse). Après impression du graphique sur un support transparent, on pourra superposer le graphique à celui de la carte routière.

- En cliquant sur le bouton « Prévision suivante » ou « Prévision précédente », vous pouvez modifier la date de la prévision. En fait ces deux boutons permettent de se déplacer dans les colonnes du fichier de données (voir Figure 12) et de sélectionner la prévision la plus proche de la date souhaitée.
- Le bouton « Obtenir la carte du point prévisionnel de chute » permet d'accéder directement au site web <http://www.mapquest.fr/mq/maps/mapInput.do> qui fournit une carte soit à partir du nom de la commune, soit centrée sur les coordonnées indiquées.

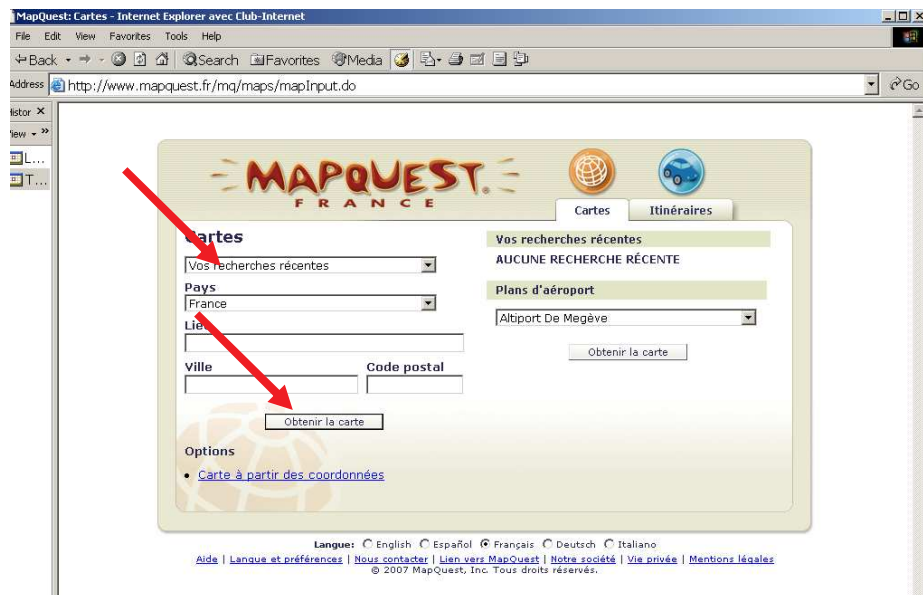


Figure 19

Le bouton « Calculer la distance parcourue sur Internet » permet d'accéder directement au site web http://www.lexilogos.com/calcul_distances.htm qui calcule la distance séparant deux points dont on connaît les coordonnées. Vous pouvez donc vérifier la distance parcourue à vol d'oiseau par le ballon.

Figure 20

Dans la feuille « prévision 1 », on peut choisir le rayon du cercle qui s'inscrira sur le graphique. Les feuilles « prévision 2 » et « prévision 3 » dupliquent les calculs et sont seulement à consulter.

Copie de Prévision de trajectoire ballon mars 2010 [Mode de compatibilité] - Microsoft Excel

Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage Développeur

Orthographe Recherche Dictionnaire des synonymes Traduction Vérification

Supprimer Précédent Suivant Afficher/masquer le commentaire Afficher tous les commentaires Afficher les entrées manuscrites Commentaires

Protéger la feuille Protéger le classeur Partager le classeur Protéger et partager le classeur Permettre la modification des plages Suivi des modifications Modifications

Avertissement de sécurité Les connexions de données ont été désactivées Options...

1 Cette page permet de rentrer les caractéristiques du lieu de lâcher et fournir les résultats de la prévision de trajectoire

2 Les chiffres en noir sont des données à entrer. Les chiffres en rouge sont le résultat d'un calcul ne pas toucher aux cellules.

	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Date	Heure
Lieu de lâcher	49,65	1,71	150	03/04/2010	14
		positive si Est négative si Ouest			
Lieu d'atterrissage	50,06	3,35			

Altitude d'éclatement (m)	Temps de montée (min)	Temps de descente sous parachute (min)	Temps de vol total (min)
30815	86	43	130

Rayon du cercle tracé sur le graphique (km)

70

Planète Sciences
une aventure pour les jeunes

Figure 21

Feuille Profil de vol

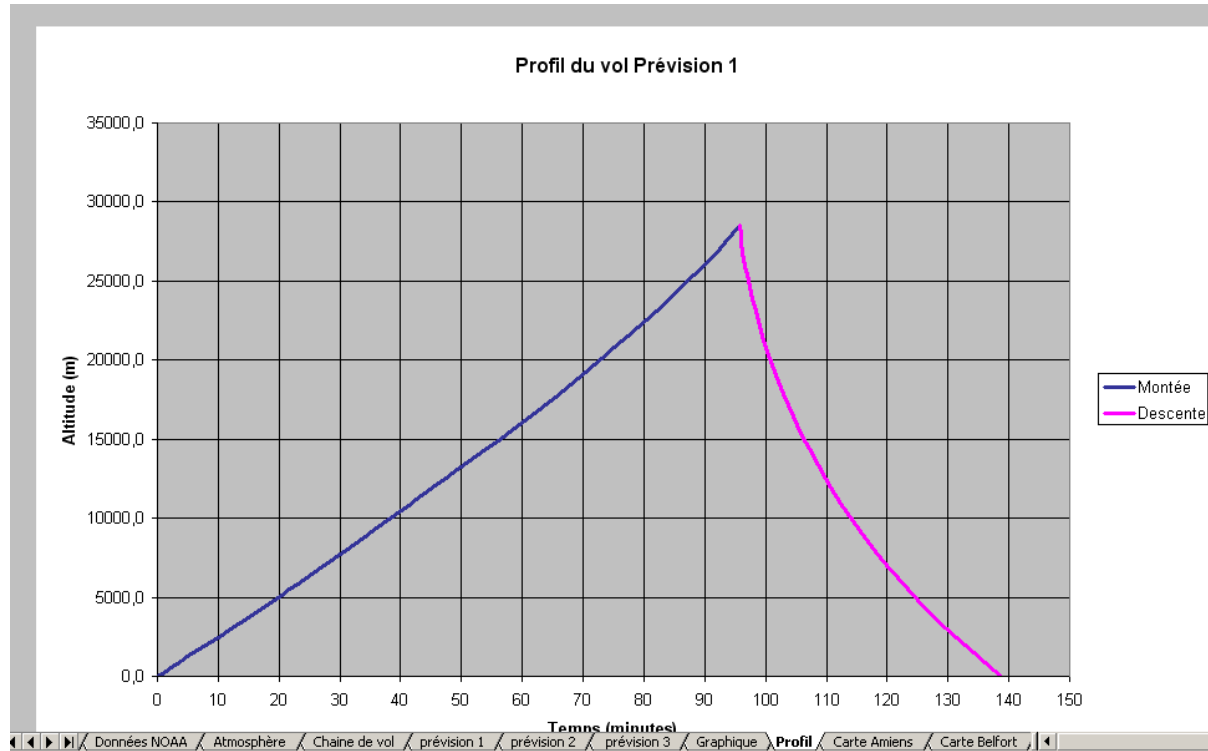
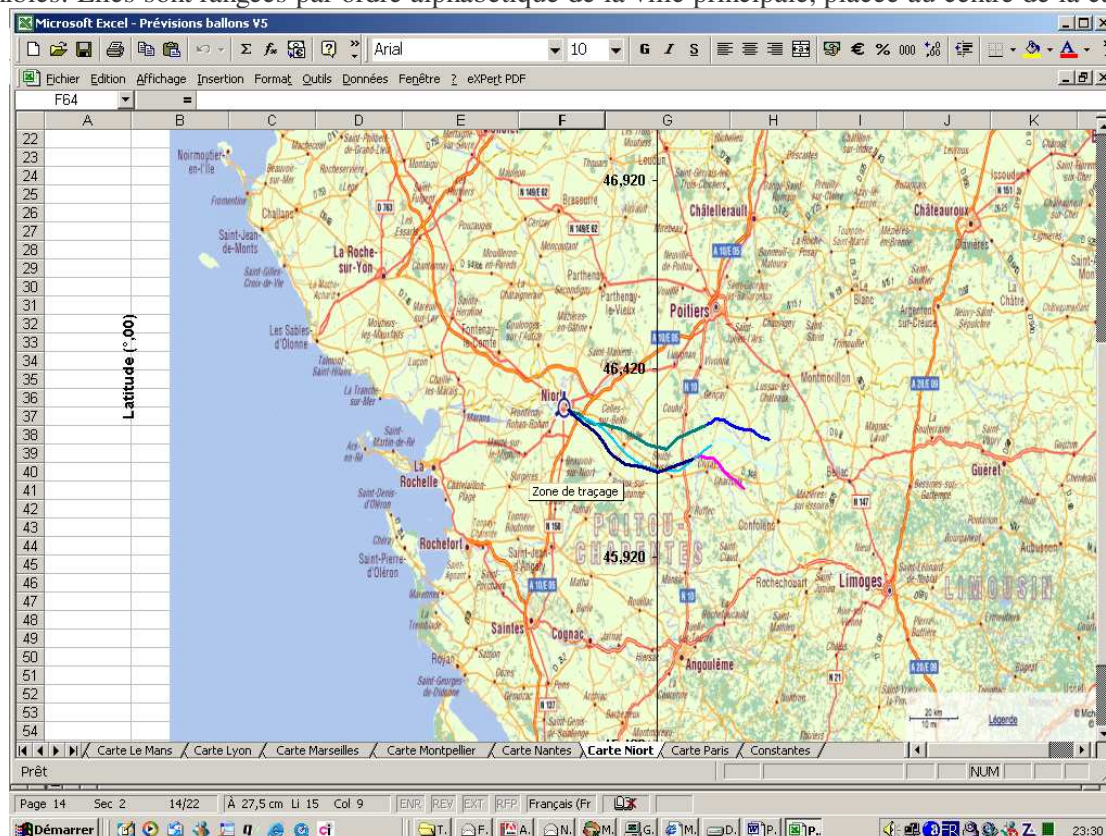


Figure 22

Profil vertical du vol projeté dans un plan. Altitude en fonction du temps.

Feuilles Carte

Les feuilles Carte superposent les trajectoires sur la carte de la région concernée. Les boutons ont les mêmes fonctionnalités que sur la feuille « Graphique ». Dans cette version, plusieurs cartes sont disponibles. Elles sont rangées par ordre alphabétique de la ville principale, placée au centre de la carte.



Exemple de superposition de la trajectoire sur la carte de la région de Niort.

Figure 23

2.9 REDUCTION DE LA TAILLE DU FICHIER

Du fait de la présence des cartes, le fichier EXCEL est volumineux, en particulier si vous souhaitez archiver la prévision pour un vol. Si vous souhaitez manipuler un fichier moins volumineux, vous pouvez supprimer les cartes qui ne présentent aucun intérêt pour vous. Pour cela, après avoir sélectionné la carte que vous souhaitez effacer vous devez :

- Déverrouiller la protection de la feuille menu Outils / Protection / Oter la protection dela- feuille ⁸. Le mot de passe est : planetesciences.
- Utilisez la commande « supprimer une feuille » dans le menu Edition et répéter l'opération pour toutes les cartes que vous souhaitez supprimer,
- Re-verrouiller la feuille pour éviter des erreurs de manipulation par la suite. Outils / Protec- tion / Protéger la feuille.

Si possible réutilisé le mot de passe « planetesciences » pour que le classeur EXCEL reste conforme à ce mode d'emploi.

⁸ Environnement EXCEL 2000.

2.10 AJOUT D'UNE CARTE

Si aucune carte ne vous convient vous pouvez ajouter votre propre carte. Vous devez disposer d'une carte au format .gif. Le site web <http://www.mapquest.fr> fournit des cartes avec ce format mais vous pouvez aussi en obtenir à partir d'autres sources et si besoin les transformer en .gif avec un logiciel adapté⁹.

Ensuite il faut déterminer les coordonnées longitude et latitude des 4 cotés de la carte et cela avec précision. Il faut repérer dans les coins ou sur les cotés de la carte des points remarquables nom de ville ou de village et rechercher leurs coordonnées en s'aidant du site <http://www.mapquest.fr> comme indiqué sur la Figure 19 ou de Google Earth ou de Geoportail. En final il s'agit de remplir le tableau suivant, les coordonnées étant exprimées en degré décimaux.

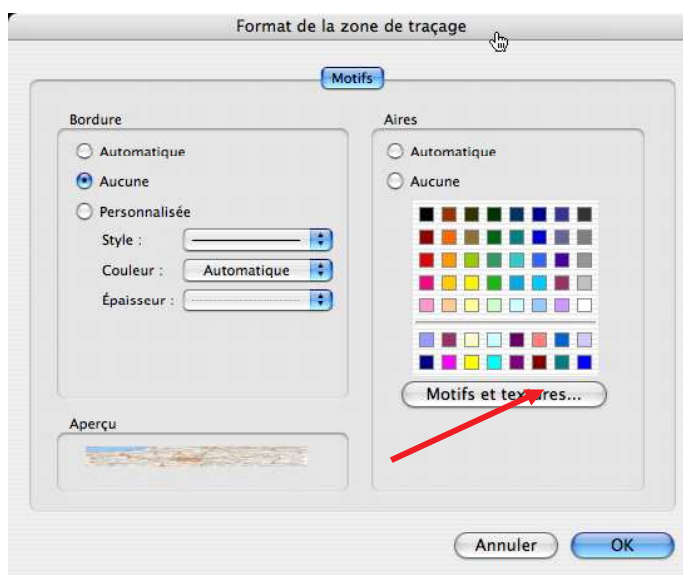
	Longitude	Latitude
Coté supérieur		Y max
Coté inférieur		Y min
Coté gauche	X min	
Coté droit	X max	

Figure 24

Ensuite :

- déverrouiller la protection de la feuille. Menu : Outils / Protection / Oter la protection de la feuille¹⁰. Le mot de passe est : planetesciences.
- Sélectionner et dupliquer l'une des cartes du tableur. Menu : Edition / Déplacer ou copier une feuille. Choisissez la position de la future carte et cochez l'option Créer une copie.
- Dans la nouvelle carte, double-cliquer sur le fond de carte existant pour obtenir la fenêtre ci-contre :

Figure 25



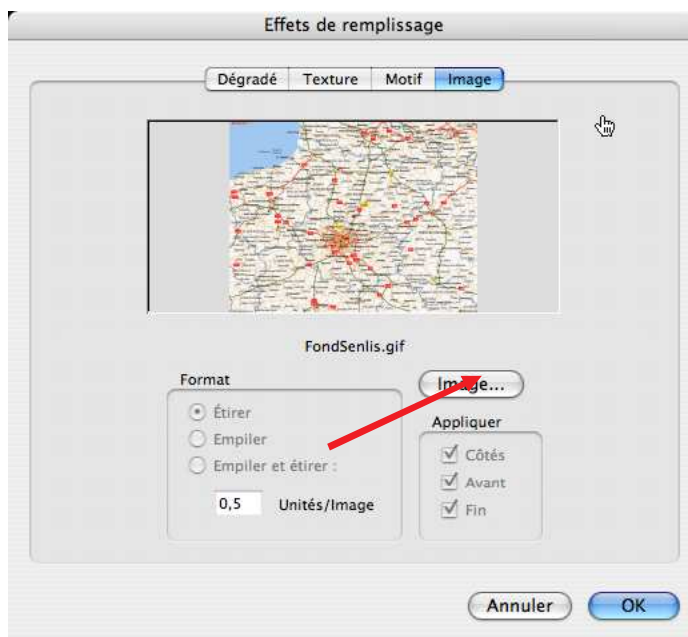
- Cliquer ici pour obtenir la fenêtre ci-dessous :

⁹ .IrfanView., logiciel gratuit peut vous aider à faire ces conversions de format.

¹⁰ Environnement EXCEL 2000.

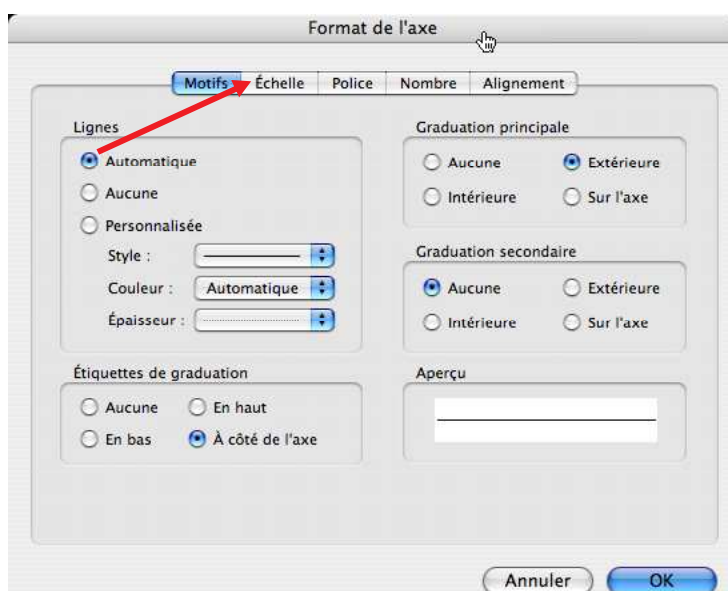
- Cliquer ici et choisir votre nouveau fond de carte, puis valider 2 fois.

Figure 26



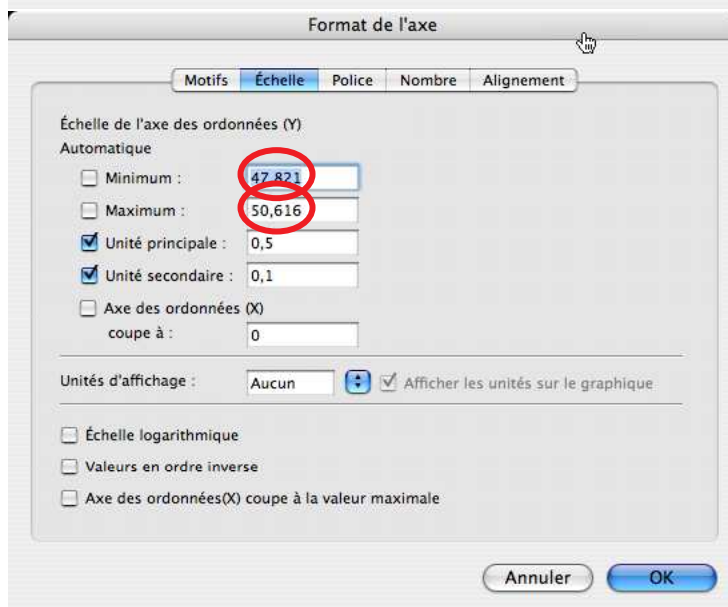
- Une fois le nouveau fond de carte inséré, double-cliquer sur l'axe vertical (Y) pour obtenir la fenêtre ci-contre :

Figure 27



- Cliquer sur le format d'échelle pour obtenir la fenêtre ci-dessous :
- Modifier le minimum et le maximum (Y) avec les valeurs que vous avez établies, Figure 24, puis cliquer sur OK.

Figure 28



- Appliquer la même procédure à partir de la Figure 27 pour l'axe horizontal (X),
- Modifier l'onglet de feuille pour lui donner le nom de la carte,
- Re-verrouiller le classeur pour éviter des erreurs de manipulation par la suite. Outils / Protection / Protéger le classeur.

Si possible réutilisé le mot de passe « planetesciences » pour que le classeur EXCEL reste conforme à ce mode d'emploi.

3. DESCRIPTION DU MODELE

3.1 POUR ALLER AU PLUS COURT

Un ballon est d'abord immobile maintenu au sol par la main de l'expérimentateur. L'air n'exerce alors sur lui aucune force de frottement et la cordelette qui le retient subit sa force ascensionnelle libre. La force ascensionnelle libre est la différence entre la poussée d'Archimède et le poids de la chaîne de vol (ballon, parachute, nacelle et accessoires). Quand la poussée d'Archimède est égale au poids de la chaîne de vol, la force ascensionnelle libre est nulle et le ballon est en équilibre : il ne monte pas, ni ne descend. Pour monter le ballon doit disposer d'une Force Ascensionnelle Libre. (FAL) que l'on suppose constante au cours du vol.

Au moment du lâcher, le ballon accélère sous l'action de la force ascensionnelle libre. Mais en même temps son déplacement vertical produit une force de frottement sur l'air qui s'oppose à la force ascensionnelle libre. Très rapidement (une seconde environ) les deux forces s'équilibrent, l'accélération du ballon cesse et sa vitesse devient constante. Il atteint alors sa vitesse ascensionnelle limite.

Pour un ballon de jeunes « standard » (enveloppe de 1200 g et nacelle de 2,5 kg), la vitesse ascensionnelle se situe autour de 4 m/s au décollage. Au cours de la montée la masse volumique de l'air diminue ce qui devrait avoir pour effet d'augmenter la vitesse du ballon mais simultanément son volume augmente ce qui devrait avoir pour effet de le ralentir. D'autres effets secondaires contribuent à l'évolution de la vitesse comme la modification de sa forme au cours de la dilatation. Le ballon a une forme de poire au décollage et il tend vers une forme de sphère à l'éclatement. En final les divers effets se compensent presque. La force de frottement dans l'air est quasi constante et la vitesse ascensionnelle évolue assez peu. Un ballon ayant décollé à 4,5 m/s aura une vitesse ascensionnelle d'environ 7,5 m/s à culmination vers 28 km d'altitude.

Au cours de l'ascension le volume du ballon augmente jusqu'à l'éclatement. Le volume à l'éclatement est indiqué par le fabricant. L'altitude à laquelle un ballon atteint ce volume dépend bien sûr des conditions de gonflage au sol. Un ballon sous gonflé atteindra le volume d'éclatement plus tard à une altitude plus élevée et inversement pour un ballon sur gonflé. Dans la pratique, on constate une dispersion dans le volume à l'éclatement et de ce fait l'altitude d'éclatement ne peut être déterminée avec précision. On retiendra que pour les ballons de jeunes l'altitude d'éclatement se situe aux alentours de 28 km.

Juste après l'éclatement, la nacelle se retrouve en chute libre mais la vitesse acquise permet à l'air de s'engouffrer dans le parachute et de l'ouvrir. Vers 28 km la densité de l'air étant faible, la vitesse de descente sous parachute est cependant élevée (environ 30 m/s) puis elle ralentit au fur et à mesure que le parachute rencontre les couches plus denses de l'atmosphère près du sol. La vitesse à l'atterrissage est de 5 m/s environ.

3.2 POUR CEUX QUI SOUHAITENT EN SAVOIR PLUS SUR LE CLASSEUR EXCEL.

Dans ce classeur, les grandeurs régissant le comportement du ballon sont calculées par pas successifs d'altitude. En effet dans les modèles NOAA, l'atmosphère est découpée verticalement en 23 couches. Les couches sont espacées de 25 mbar puis de 50 mbar.

Les étapes successives du calcul sont :

Pour chacune des couches :

- Calcul du volume du ballon à partir des conditions initiales et de la pression dans la couche,
- Calcul de la vitesse ascensionnelle dans la couche à partir du volume du ballon et de la masse volumique de l'air dans la couche et des caractéristiques de la chaîne de vol,
- Calcul du temps passé dans la couche à partir de la vitesse du ballon dans la couche et l'épaisseur de cette dernière,
- Calcul de la dérive vers le Nord à partir du temps passé dans la couche et de la composante vers le Nord de la vitesse du vent dans cette couche,
- Calcul de la dérive vers l'Est à partir du temps passé dans la couche et de la composante vers l'Est de vitesse du vent dans cette couche,

Puis ensuite le temps de vol est obtenu par addition du temps passé dans chaque couche et les dérives du ballon vers le Nord et vers l'Est sont additionnées pour décrire couche après couche la trajectoire du ballon.

3.2.1 Feuille Atmosphère

Colonne A, B et C : l'atmosphère est découpée en 24 couches suivant le modèle atmosphérique proposé par la NOAA.

Colonne B : le rapport des pressions de chaque couche est calculé en divisant la pression de la couche par 1013 mb, pression standard à l'altitude 0 m.

Colonne A :

L'altitude est obtenue à partir du rapport des pressions en utilisant les formules suivantes (Voir « Note technique sur l'Atmosphère » de Planète Sciences)

De 0 à 11 km,

$$\frac{P}{P_0} = (1 - 3.32 \cdot 10^{-5} \cdot h)^{\frac{7}{2}}$$

Au-dessus de 11 km,

$$\frac{P}{P_0} = 0,204 \cdot e^{-1.56 \cdot 10^{-4} \cdot (h-11000)}$$

Colonne M :

La masse volumique de l'air en fonction de l'altitude est obtenue en appliquant la formulation simplifiée de Chapman. La masse volumique R_0 est approximée par une suite de fonctions exponentielles liées chacune à une couche donnée d'atmosphère :

$R_0 = A \exp(B \times h)$, avec h altitude en km, A et B étant précisés ci-dessous :

Paramètres	A (kg/m ³)	B (1/km)
De 0 à 17 km	1,225 ¹¹	-0,1202
De 17 km à 22 km	3,8923	-0,185
De 22 km à 25 km	1,3553	-0,13707
De 25 km à 30 km	2,11643	-0,15489
De 30 km à 35 km	3,51386	-0,1718

3.2.2 Feuille Chaîne de vol

La quantité d'hélium conseillée est calculée suivant la méthode décrite dans le document « Le jour du lâcher » : chaque « mole » d'hélium (22,4 L) fournit au niveau de la mer (altitude 0 m) une force ascensionnelle capable de soulever de 25 g ¹².

La quantité d'hélium réellement introduite est une valeur à rentrer à la main. A priori, elle est égale à la quantité conseillée mais l'aérotechnicien peut décider d'introduire une quantité d'hélium un peu différente si les circonstances du lâcher le justifient. La suite du calcul est menée en utilisant cette valeur qu'il faudra donc renseigner. À défaut on réécrit la valeur conseillée.

La force ascensionnelle libre (FAL) réelle est recalculée au décollage en tenant compte de la quantité réellement introduite d'hélium. Si une nacelle est larguée au cours du vol, la FAL est recalculée en conséquence après le largage.

La vitesse ascensionnelle varie en fonction de l'altitude. Elle découle de la formule :

$$V = \sqrt{\frac{FAL}{\frac{1}{2} \rho S Cx}}$$

avec ρ = masse volumique calculée à l'altitude correspondante par la formule présentées au paragraphe 3.2.1.

S = maître couple du ballon, calculé en considérant le ballon comme une sphère parfaite. Le maître couple est la surface du cercle qui passe par l'équateur de la sphère. Comme le volume du ballon croît avec l'altitude, le maître couple croît également avec celle-ci.

$Cx = 0,45$. Le ballon est mou et allongé sous l'action du poids de la nacelle. Son maître couple est plus petit que celui d'une sphère. Cette valeur du Cx permet de tenir compte de cet effet et de corriger le fait que l'on a considéré le ballon sphérique pour le calcul du maître couple. Dans la pratique la valeur de 0,45 donne des vitesses de montée proches de celles expérimentalement constatées.

Volume à l'éclatement : voir la notice du fabricant

<http://www.weatherballoon.co.jp/pages/english/1cosmo.html>

sous menu « Standard List »

¹¹ Masse volumique de l'air sec à 15 °C et à l'altitude 0 m ;

¹² La masse d'une mole d'air est de 29 g, celle d'une mole d'hélium de 4 g. Suivant la définition de la poussée d'Archimède, pour chaque mole, la masse du volume déplacé est de 29 g mais pour déplacer ce volume, il faut injecter une mole d'hélium soit 4 g. En final par mole la poussée d'Archimède est de 29 g – 4 g soit 25 g..

3.2.3 Feuilles « Prévision x »Calcul de l'altitude d'éclatement

L'altitude d'éclatement est calculée en réutilisant la formule :

$$\frac{P}{P_0} = 0,204.e^{-1.56.10^{-4}.(h-11000)}$$

$$\text{avec } \frac{P}{P_0} = \frac{\text{Volume du ballon au décollage}}{\text{Volume du ballon à l'éclatement}}$$

Colonne B : volume du ballon en fonction de l'altitude

Calculé à partir du volume au décollage et du rapport des pressions en altitude calculé sur la feuille atmosphère.

Colonne D : vitesse ascensionnelle

Calculée à partir de la formule

$$V = \sqrt{\frac{FAL}{\frac{1}{2} \rho S C_x}}$$

avec FAL = force ascensionnelle libre calculée sur la feuille « Atmosphère ». Dans le cas du largage d'une nacelle, la FAL est modifiée en conséquence à l'altitude de largage. Le largage de la nacelle augmente la FAL d'autant.

S = maître couple du ballon déduit du volume du ballon qui croît avec l'altitude.

$$S = \pi \cdot \left(\frac{3}{4\pi} \cdot V \right)^{2/3} = 1,209 V^{2/3}$$

$$C_x = 0,45$$

Temps passé dans chaque couche atmosphérique du modèle de la NOAA : Colonne D

Calculée en divisant l'épaisseur d'une couche par la vitesse du ballon dans la couche,

Vitesse de descente : Colonne E

Calculée à partir de la formule

$$V = \sqrt{\frac{(\text{masse de la nacelle} + \text{masse du parachute} + \text{masse du réflecteur})}{\frac{1}{2} \rho S C_x}}$$

avec ρ = masse volumique dans la couche calculée dans la feuille « Atmosphère ».

S : surface du parachute. Le rayon des parachutes CNES est de 65 cm.

C_x du parachute évalué à 1.4.

Temps passé dans la couche à la descente : Colonne G

Calculé en divisant l'épaisseur d'une couche par la vitesse sous parachute dans la couche,

Temps de montée et de descente : Cellules C10 et D10

Calculés en sommant les temps passés dans chaque couche.

Distance parcourue en direction du nord : Colonne J

Calculée à partir de la formule :

$$D = \text{Vitesse du vent dans la couche SIN}(\text{Direction du vent.} + PI) \text{ temps de vol dans la couche}$$

PI (3,14) indique simplement que le ballon se déplace à l'opposé d'où vient le vent.

Distance parcourue en direction de l'est : Colonne K

Calculée à partir de la formule :

$$D = \text{Vitesse du vent dans la couche COS}(\text{Direction du vent.} + PI) \text{ temps de vol dans la couche}$$

Les dernières colonnes font la sommation couche atmosphérique après couche atmosphérique des déplacements du ballon dans chaque direction.

3.2.4 Feuille graphique

La feuille Graphique trace les déplacements vers le Nord en fonction des déplacements vers l'Est.

Par convention un déplacement négatif vers le Nord est un déplacement vers le Sud.

Par convention un déplacement négatif vers l'Est est un déplacement vers l'Ouest.

- La latitude du point d'atterrissage est calculée en additionnant à la latitude du lieu de lâcher la distance parcourue vers le nord convertie en degré d'angle suivant la règle $1^\circ = 111,11 \text{ km}$. La Terre a en effet une circonférence de 40 000 km. $40\,000 \text{ km} / 360^\circ = 111,11 \text{ km}$. Tous les méridiens de la Terre ont la même longueur. Le géodésique de la terre est considéré comme sphérique.
- La longitude du point d'atterrissage est calculée en additionnant à la longitude du lieu de lâcher, la distance parcourue vers le Est convertie en degré d'angle. Comme les parallèles ont une longueur qui dépend de la latitude du lieu, la circonférence du parallèle (CP) correspondant à la latitude du lieu de lâcher est d'abord calculée. ($CP = 40\,000 \text{ km} \times \sin(\text{latitude})$) Ensuite la règle $1^\circ \text{ vers l'est} = CP/360^\circ$ est appliquée sans autre correction.

3.2.5 Feuille Profil

La feuille Profil trace l'altitude du ballon en fonction du temps de vol. Colonne X fonction des colonnes U et W de la feuille prévision 1.

3.2.6 Feuille carte

Sur les feuilles « x° prévision », les colonnes P, Q, R, S convertissent les distances parcourues en longitudes et latitudes à l'altitude de chaque couche suivant les formules ci-dessus. Ces valeurs sont tracées sur la feuille Carte.

La feuille Carte trace les déplacements vers le Nord en fonction des déplacements vers l'Est comme la feuille Graphique mais une carte est superposée au tracé et l'origine du tracé a été calée en utilisant la fonction Echelle des graphiques EXCEL.

3.2.7 Divers

Les modèles NOAA indiquent la direction et la vitesse des vents à partir de la pression 1000 mb soit 150 m environ. On fait l'hypothèse simplificatrice que de 0 à 150 m, les vents sont identiques à ceux annoncés à 150 m.

Les modèles NOAA indiquent la direction et la vitesse des vents jusqu'à la pression 20 mb soit 26 000 m environ. Pour les ballons qui éclatent au-dessus de cette altitude, on fait l'hypothèse simplificatrice qu'au-delà de 26 000 m, les vents sont identiques à ceux annoncés à 26 000 m.

Les modèles NOAA GSF model (0-180h, 3hrly, Global) à une résolution au sol de 35 km tandis que le modèle GSF model (180-384h, 12hrly, Global) a une résolution au sol de 75 km. (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/models/gfs/>). On fait l'hypothèse simplificatrice que les conditions météorologiques ne varient pas au cours du vol et sur le parcours du ballon. On en déduit aussi que les prévisions sur la période 180-384 h sont moins précises. Il est en effet toujours difficile de prévoir l'avenir surtout quand il est loin !

En effet à l'altitude proche de l'éclatement (28 km environ) la nacelle monte vite (7 m/s environ) et redescend vite sous parachute (30 m/s environ). De plus les vents dans cette couche sont beaucoup plus faibles qu'à l'altitude de la tropopause (12 km environ). Le ballon passe donc peu de temps dans une zone où en plus son déplacement horizontal est lent. Un éclatement 1 km plus bas ou plus haut ne change pratiquement pas le point de chute. Cela modifie un peu le temps de vol.

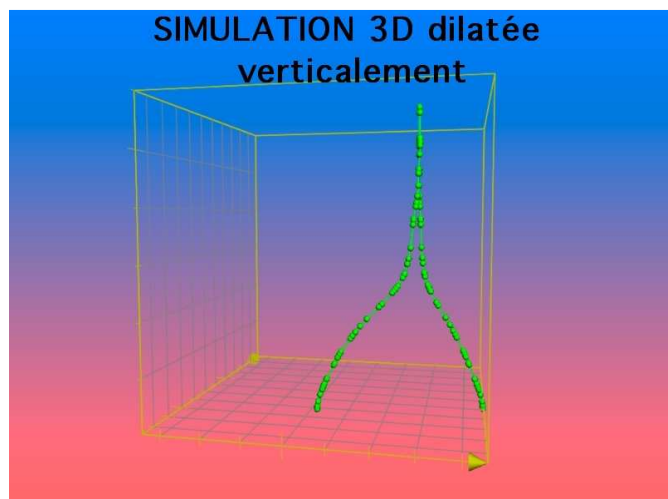


Figure 29

Pour ceux qui savent manipuler les macros et qui souhaiteraient sauver le fichier NOAA.txt à un autre emplacement que la racine du disque C ou du disque Macintosh HD il suffit de modifier la macro correspondant à l'environnement à la ligne :

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:="TEXT;C:\NOAA.txt", _
```

Pour éviter des modifications du classeur Excel suite à des manipulations erronées, les feuilles de calcul sont en partie verrouillées par le mot de passe : planetesciences.

Les auteurs de cet outil de prévision de trajectoire tentent de le mettre à jour régulièrement pour suivre les évolutions des sites web consultés et des versions de logiciels. Néanmoins, ils ne peuvent garantir être au fait des dernières évolutions qui peuvent altérer le bon fonctionnement cet outil.

4. CONCLUSION

N'oublions pas qu'une prévision fournit la trajectoire probable du ballon. Mais une prévision n'est pas une certitude !.

Si vous vous rendez par avance sur le lieu d'atterrissage annoncé, vous avez très peu de chance de voir votre nacelle atterrir devant vous.

Par contre, il y a de fortes chances que l'événement ait lieu dans les parages !

Pour les animateurs amenés à lâcher un ballon en zone frontalière, ce tableur est un outil d'aide à la prise de décision de lâcher ou pas.

5. AUTRES PUBLICATIONS CONSACREES A L'ACTIVITE BALLON

- Les ballons expérimentaux : mise en œuvre & cahier des charges,
- Présentation de l'opération "Un ballon pour l'école"
- Que peut-on faire avec un ballon ?
- La gestion d'un projet ballon,
- Le système de télémesure KIWI Millenium à l'usage des écoles,
- Le système de télémesure KIWI Millenium à l'usage des clubs,
- Le jour du lâcher,
- Comment exploiter les données Excel® du logiciel Kicapt,
- L'histoire des ballons,
- Caractéristiques standards de l'atmosphère et mécanique du vol,
- Caractéristiques moyennes de l'atmosphère (table GOST 4401.64),
- De quel côté faut-il placer la couverture ?
- Guide d'aide aux suiveurs UBPE,
- Guide du coordinateur régional,
- Document valise,
- Démodulateur Kiwi Notice de fabrication, réglages, tests et utilisation,
- Plan Qualité UBPE,

La plupart des publications de Planète Sciences sont disponibles sur son site web :

www.planete-sciences.org

Utilisez les gaz en toute sécurité

Le transport des bouteilles

Attention aux fuites

- Une bouteille vide n'est jamais absolument vide ! Si le robinet n'est pas fermé, au moindre réchauffement la matière poreuse de la bouteille acétylène peut relâcher du gaz. Quelques litres d'acétylène suffisent pour provoquer l'explosion d'un coffre de véhicule.



- Les fuites proviennent le plus souvent des détendeurs, tuyaux ou chalumeaux.

Attention aux chocs

- Même couchée dans un coffre, une bouteille peut devenir un dangereux projectile en cas de choc avant ou de tonneau.



Ce qu'il faut faire



- Fermez les robinets, même si les bouteilles sont vides.



Aérez votre véhicule.



- Démontez les équipements pour le transport.

- Arrimez les bouteilles solidement



- Ne laissez pas vos bouteilles séjourner dans votre véhicule sans nécessité.



AIR LIQUIDE