

La galerne du golfe de Gascogne

**Eduardo Arasti⁽¹⁾, Patrick David⁽²⁾, José Salvador Martín González⁽¹⁾
et Claude Deyts⁽²⁾**

(1) Instituto Nacional de Meteorología
Centro Meteorológico Territorial de Cantabria y Asturias
Ricardo Lorenzo
39012 Santander
ESPAGNE

(2) Météo-France
Direction interrégionale Sud-Ouest
7, avenue Roland-Garros
33700 Mérignac
Courrier électronique : patrick.david@meteo.fr

Résumé

Le mot « galerne » désigne un phénomène météorologique de la côte nord de l'Espagne, similaire aux *alongshore surges* et aux *coastal trapped disturbances* observés ailleurs dans le monde. Depuis 1992, l'Institut national espagnol de météorologie et Météo-France mènent un programme d'études coordonnées des galernes. La galerne frontale se produit au passage d'un front ou d'une ligne de grains. La galerne typique n'est, quant à elle, associée à aucun passage frontal d'échelle synoptique. L'article présente un modèle conceptuel et une climatologie des galernes. Le phénomène provoque une aggravation très soudaine des conditions météorologiques : en moins de vingt minutes, le vent peut dépasser 25 m/s et la température baisser de plus de 12 °C. Les galernes typiques se produisent principalement dans la zone côtière allant de Santander (Espagne) à Capbreton (France), de mai à septembre. Elles se déplacent rapidement d'ouest en est et leur extension en mer ne dépasse guère 60 kilomètres. Le relief joue un rôle incontestable sur ce phénomène qui peut s'expliquer par un courant de densité bloqué par les montagnes. Une prévision immédiate des galernes est maintenant possible par identification d'une situation synoptique favorable et par détection de noyaux de variation de pression à mésoéchelle.

Abstract

The galerne of the Bay of Biscay

“Galerne” is a local name for a weather phenomenon occurring on the Northern coast of Spain and similar to alongshore surges and coastal trapped disturbances observed around the world. Since 1992 a joint research program on galernes has been carried out by the Spanish Instituto Nacional de Meteorología and Météo-France. The main results are a conceptual model and a climatology of the phenomenon. Galernes may be separated into two groups: the frontal ones produced by a front or squall line, and the true ones which are not associated with any front at synoptic scale. The galerne is characterized by a sudden deterioration of weather conditions, with an increase of wind speed to over 25 m/s and a drop of temperature exceeding 12 °C. Galernes propagate from West to East and occur mainly from May to September in the coastal area between Santander (Spain) and Capbreton (France). They extend less than 60 km out to sea. Orography is an important factor for the phenomenon which can be explained by a density current trapped by the mountains. Nowcasting of galernes is now possible by identification of a favourable synoptic situation and detection of mesoscale pressure tendency cores.

Présentation générale

La galerne est un phénomène caractéristique du sud-est du golfe de Gascogne, qui se déroule dans les zones côtières des monts Cantabriques et du Pays Basque. Elle consiste en une augmentation brutale et forte de la vitesse du vent avec une rotation à l'ouest ou au nord-ouest, de fortes rafales et une chute de la température. Dans certains cas, la galerne peut être accompagnée de précipitations. Elle interrompt soudainement une période de temps calme, en général ensoleillé et chaud. Difficile à prévoir, pratiquement dépourvue de signe annonciateur et d'une exceptionnelle soudaineté, la galerne représente un danger certain pour les embarcations et les aéronefs légers. Dans les monts Cantabriques et au Pays Basque, les galernes ont fait par le passé de nombreux morts : cent pêcheurs de Bermeo perdirent la vie le 12 août 1912 et près de trois cents en mer Cantabrique lors de la tragédie du Samedi saint de 1878. Curieusement, le phénomène ne semble guère avoir attiré l'intérêt de la communauté météorologique. Depuis 1992, le Centre météorologique territorial des Cantabriques et des Asturies de l'Institut national espagnol de météorologie (INM) et la Direction interrégionale Sud-Ouest de Météo-France mènent un programme d'études coordonnées pour caractériser le phénomène par une climatologie et un modèle conceptuel. Cet article présente les principaux résultats obtenus.

Étymologie

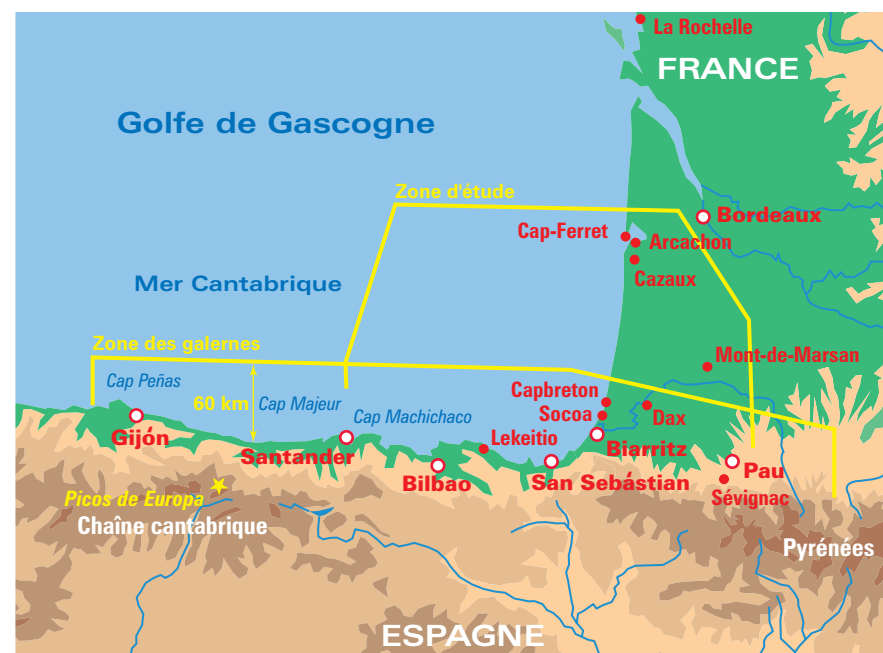
L'étymologie du terme galerne est incertaine, y compris en espagnol d'où il tire son origine : « galerna » désigne un vent fort d'ouest à nord-ouest soufflant habituellement sur les côtes cantabriques. En français, il se rencontre parfois pour désigner un vent de nord-ouest sur les côtes basques. Sur la côte de Saint-Jean-de-Luz à Hendaye, les marins parlent plutôt d'« embatta » ou de « brouillarta ». « Entrée maritime subite » serait un terme plus approprié sur le plan technique, mais « galerne » a fini par s'imposer dans les travaux communs des équipes de Bordeaux et de Santander.

La zone d'étude

La région affectée par les galernes est présentée sur la figure 1. Elle va du cap Peñas aux versants nord des Pyrénées. La zone d'étude, qui va jusqu'au bassin d'Arcachon, est également indiquée sur cette figure. La région des galernes est caractérisée par une chaîne de montagnes présentant de façon quasi ininterrompue des altitudes supérieures à 1 500 mètres sur plus de 600 km (point culminant 2 648 mètres aux Picos de Europa). Orientée de l'ouest à l'est, cette chaîne montagneuse domine la côte nord de l'Espagne située à moins de 50 km.

Du cap Peñas au cap Majeur, les galernes sont en phase de développement. Du cap Majeur à la côte française, elles sont en phase d'intensité maximale. Au-delà, elles sont en phase de dissipation.

Figure 1 - Région des galernes et zone d'étude.



Ailleurs, des phénomènes similaires

Des phénomènes similaires aux galernes ont été signalés dans d'autres régions côtières du monde, caractérisées elles aussi par une chaîne de montagnes longeant la côte. Ce sont des phénomènes estivaux qui se traduisent par une chute brutale de la température, accompagnée d'un renforcement du vent pouvant excéder 15 m/s, avec un changement brusque de direction. Ainsi, Mass et Albright (1987) ont décrit un tel phénomène se propageant sur près de 2 000 km le long de la côte ouest des États-Unis, de la basse Californie à la Colombie britannique, où il est connu sous le nom de *coastal surges*. Le long de la côte est de l'Afrique du Sud, il a été décrit par Gill (1977) sous le nom de *leader front*, à l'avant de certains fronts. Sur la côte sud-est de l'Australie, ce sont les *coastal ridging* ou *southerly buster* (Colquhoun et al., 1985 ; Holland et Leslie, 1986). Des phénomènes proches, décrits par différents auteurs, semblent également affecter le sud de la Nouvelle-Zélande (Hutchings, 1944) et la côte orientale de l'Andalousie (Sánchez-Laulhé et Polvorinos, 1995). Certains coups de *pampero* sur la côte est de l'Argentine présentent également des similitudes avec la galerne.

Description et modèle conceptuel de la galerne typique

La galerne affecte le vent, l'état de la mer, la température, la pression, l'humidité, la visibilité et la nébulosité. Les variations sont extrêmement brutales, comme on peut le constater sur le cas de la galerne du 25 juillet 1995 (figures 2 et 3). Des variations similaires ont été observées lors de la galerne du 21 août 1991, décrite par Arasti (1996) et Deys (1992). En souvent moins de vingt minutes, on observe :

Figure 2 - Variations de la vitesse et de la direction du vent à la station de Lekeitio (nord-est de Bilbao) le 25 juillet 1995.

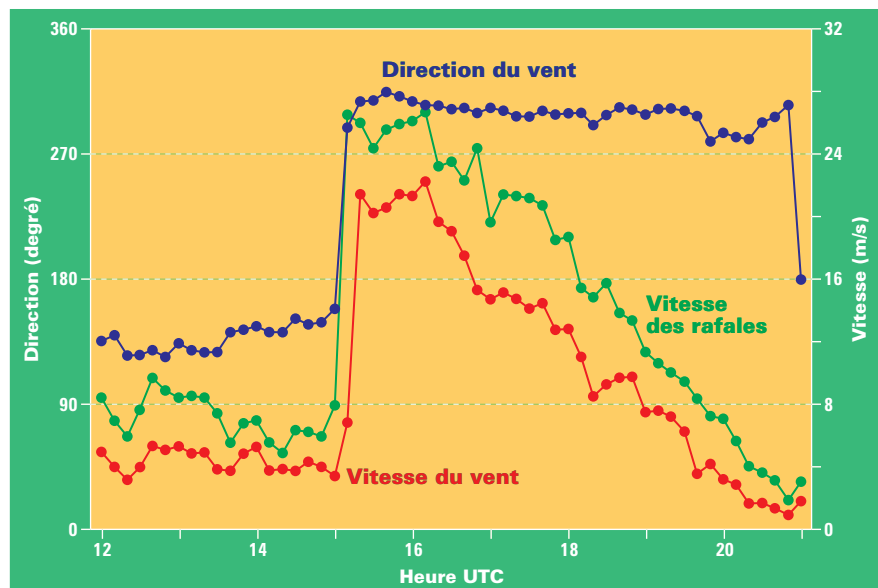
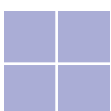
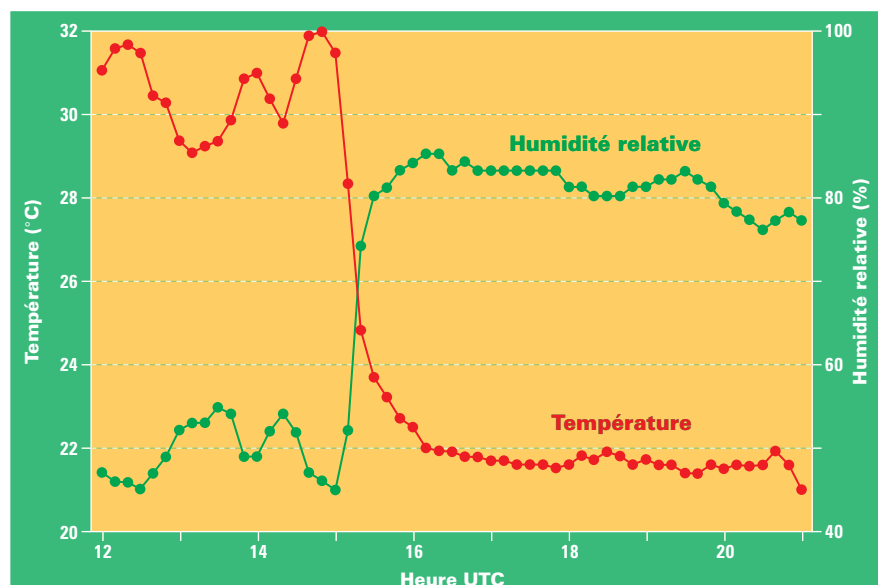


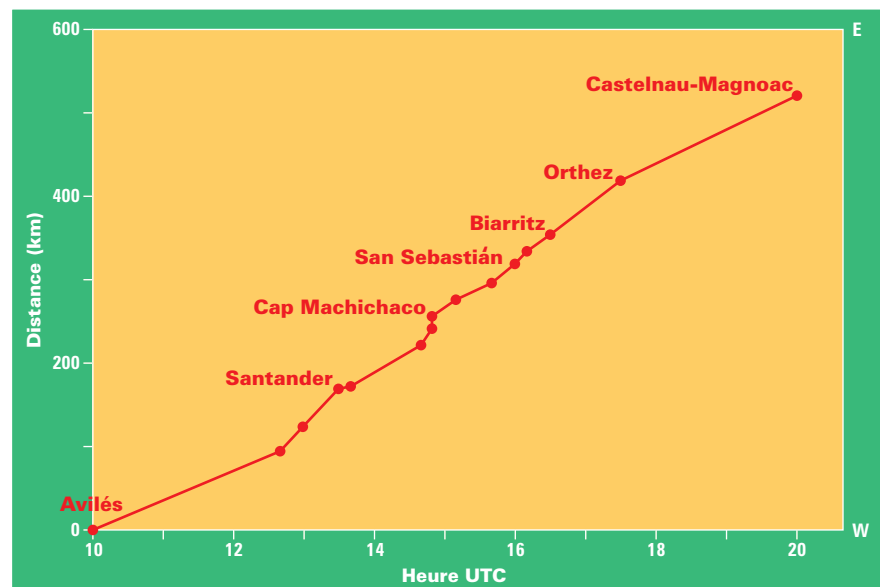
Figure 3 - Variations de la température et de l'humidité relative à la station de Lekeitio (nord-est de Bilbao) le 25 juillet 1995.



- Une rotation brutale du vent, au secteur ouest sur les côtes françaises, plutôt nord-ouest sur les côtes espagnoles ; un renforcement brutal et pouvant excéder 15 m/s de la vitesse du vent.
- Une arrivée rapide de stratus et de brume, parfois de brouillard. La galerne typique est rarement accompagnée de précipitations.
- Une chute brutale de la température de l'air, pouvant dépasser 12 °C et d'autant plus remarquable qu'il n'y a pas de refroidissement par évaporation de précipitations. Cette chute vient après des températures très élevées.
- Une hausse brutale de l'humidité relative, pouvant dépasser 50 % et en général accompagnée d'une hausse de la température du point de rosée.
- Une augmentation soudaine de la pression, après une lente baisse.

Le phénomène se déplace rapidement d'ouest en est (figure 4). Les mauvaises conditions météorologiques durent souvent moins de six heures.

Figure 4 - Heures de passage de la galerne du 25 juillet 1995 à différentes stations sur un axe ouest-est.



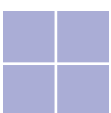
Le passage d'un front ou d'une ligne de grains peut parfois produire de telles variations subites. Mais on observe quinze fois plus de cas de telles variations subites dans la zone des galernes qu'en dehors de la zone, à La Rochelle par exemple. Cette différence laisse supposer l'occurrence d'un ou de plusieurs autres phénomènes. Les études préalables ont montré que l'on peut distinguer deux types de galernes :

- La **galerne frontale** se produit au passage d'un front ou d'une ligne de grains préfrontale amplifiés par la géographie de la zone. Un tel phénomène a été décrit et expliqué par plusieurs auteurs, dont Holland et Leslie (1986).
- La **galerne typique** qui ne peut être associée, ni à un passage de front sur les cartes synoptiques, ni à l'occurrence d'un orage ou d'une ligne de grains. C'est ce type de galerne qui est décrit dans ce qui suit, où elle est simplement désignée par le terme **galerne**.

Modèle conceptuel de la galerne

Ce modèle conceptuel est détaillé dans deux rapports (Deyts, 1992 ; Arasti, 2001). Il s'appuie sur les interprétations fournies par Gill (1977), Dorman (1985) et Mass et Albright (1987) pour des phénomènes similaires. Selon ce modèle, la galerne est un **courant de densité** (également dénommé courant de gravité) engendré par l'interaction de conditions synoptiques particulières avec le relief et les contrastes thermiques du sol. Ce courant de densité est une masse d'air frais, donc relativement dense, qui déferle le long du relief vers les basses pressions et les masses d'air plus chaudes situées à l'est.

Les conditions synoptiques propices au déclenchement d'une galerne typique consistent en une situation à marais barométrique faiblement cyclonique, avec de l'air chaud subsident dans les basses couches sur le nord de l'Espagne et le sud-ouest de la France. En outre, au niveau 850 hPa, un petit minimum (ou un talweg) traverse le nord-ouest de l'Espagne (figure 5). Il est précédé d'une dorsale thermique et d'un flux d'air chaud avec un vent modéré à fort de sud-ouest sur les monts Cantabriques. À l'arrière, une masse d'air plus frais envahit progressivement l'Espagne par l'ouest.



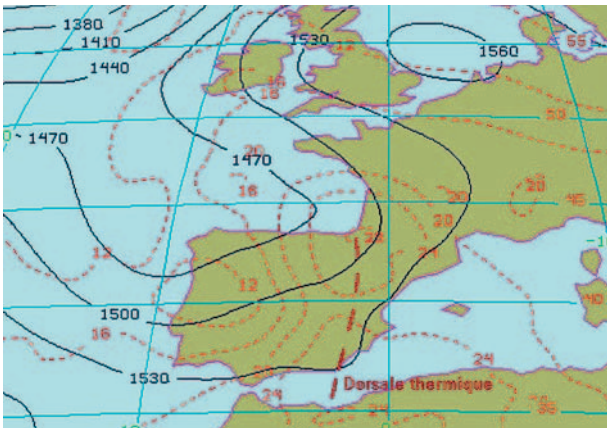


Figure 5 - Situation météorologique à 850 hPa le 25 juillet 1995 à 12 h UTC. Les isohypses à 850 hPa sont en trait plein noir (cotes en mètres) ; les isothermes à 850 hPa sont en trait pointillé rouge (cotes en °C).

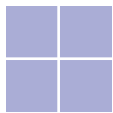
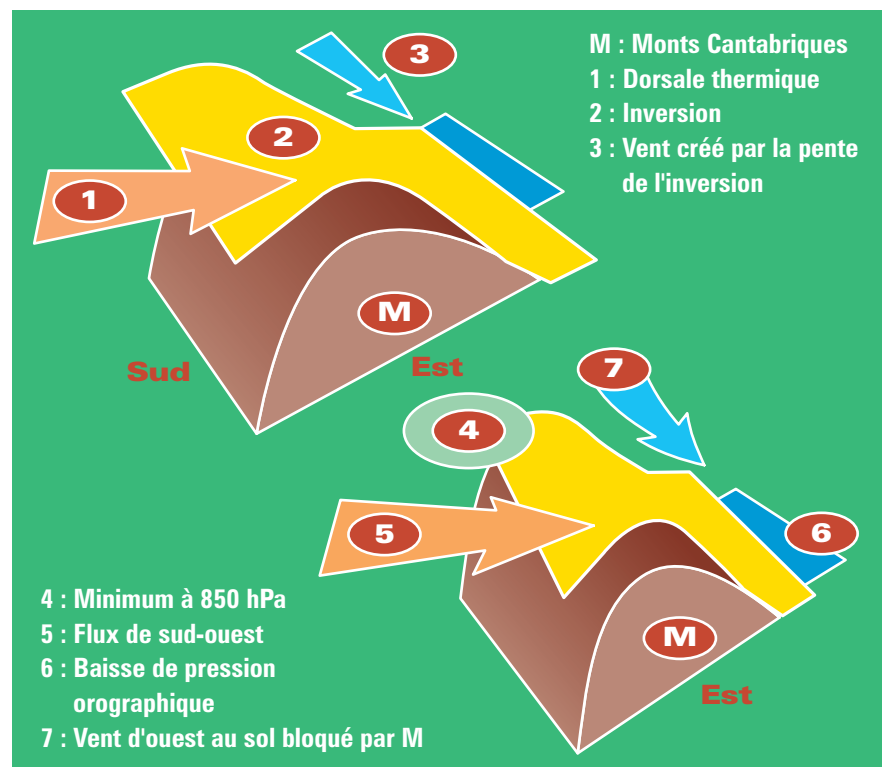
Ces conditions entraînent, d'une part une hausse de pression à l'ouest de l'Espagne sous l'advection d'air plus frais, d'autre part une baisse de pression sur l'est de la côte cantabrique. Cette baisse de pression est provoquée à la fois par l'advection d'air chaud et par un effet de foehn sous le vent de la chaîne des Cantabriques.

La dorsale thermique produit également une inversion de température dont l'altitude diminue des hauts plateaux espagnols jusqu'à la mer Cantabrique ; au-dessus de cette dernière, la hauteur de la couche de mélange est très faible (figure 6). Par effet de vent thermique, cette pente orientée au nord crée sous l'inversion une composante d'ouest du vent au niveau du sol (Brost et al., 1982). La baisse de pression sur l'est de la côte cantabrique, par effet de foehn, doit également contribuer à provoquer au niveau du sol un vent d'ouest à nord-ouest sur l'ouest de la côte cantabrique.

Ces advections d'ouest à nord-ouest au niveau du sol (figure 6, flèches 3 et 7) apportent de l'air maritime sur l'ouest de la côte cantabrique. En raison de son trajet au-dessus de l'océan, cet air maritime est nettement plus frais et plus humide que l'air chaud et sec amené par effet de foehn sur l'est. Cet air plus dense venant de l'ouest et du nord-ouest se bloque et s'accumule contre la chaîne des Cantabriques, en raison de la force de Coriolis orientée vers le sud ou de la composante de nord du flux. Cette accumulation augmente la hausse de pression à l'ouest de la côte cantabrique. La différence de pression résultant de la hausse à l'ouest et de la baisse à l'est engendre alors un courant de densité le long de la côte. En effet, à mésoéchelle, l'air maritime accumulé ne peut s'écouler vers le sud comme le voudrait la loi géostrophique. Il déferle donc vers les basses pressions à l'est, parallèlement à la barrière montagneuse et perpendiculairement aux isobares. Il se produit un fort contraste thermique à l'interface, qui peut être assimilée à un microfront séparant deux fluides de caractéristiques thermiques très différentes.

Ainsi, la galerne prend très localement les caractéristiques d'un passage frontal accompagné de rafales, d'une augmentation de la pression et d'une chute de la température. Ces variations sont de plus en plus brutales jusqu'au moment où la galerne entre en phase de dissipation.

Figure 6 - Schéma conceptuel de la circulation de basses couches favorable à une galerne.



Analyse météorologique de la galerne du 25 juillet 1995

Le modèle conceptuel de la galerne est illustré à l'aide du cas du 25 juillet 1995. Les situations météorologiques en surface et à 850 hPa sont présentées sur les figures 7 et 5. Elles illustrent les conditions synoptiques propices aux galernes et décrites ci-dessus.

À 12 h UTC (figure 7), le vent vient de tourner à l'ouest - nord-ouest à l'ouest de la côte cantabrique. Sur le reste de la côte, il est de secteur est à sud-est. Les températures sur la côte cantabrique, et surtout sur la côte basque, sont élevées, ce qui tend à créer une circulation cyclonique qui apporte sur la côte de l'air dont la température très élevée est encore augmentée par effet de foehn. Ainsi, les 32 °C de la côte basque contrastent avec les 25 °C du littoral à l'ouest de Santander. À première vue, on peut encore penser qu'il s'agit d'une situation de beau temps, de ciel bleu et de température élevée sur toute la côte cantabrique et sur la côte basque. Rien n'est plus erroné : trois heures plus tard, des rafales dépassant 100 km/h vont se produire.

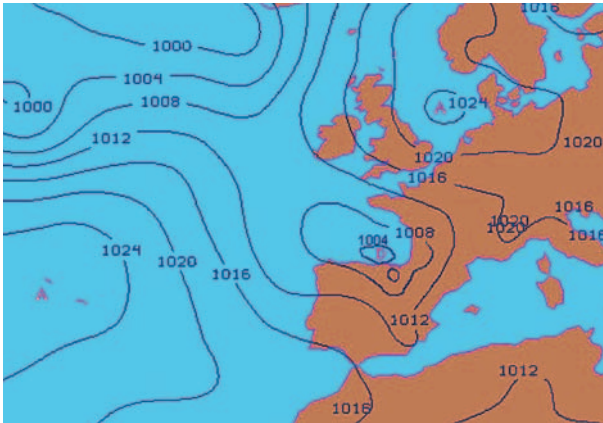


Figure 7 - Situation météorologique au niveau de la mer le 25 juillet 1995 à 12 h UTC. Les isobares, en bleu, sont cotées en hPa.

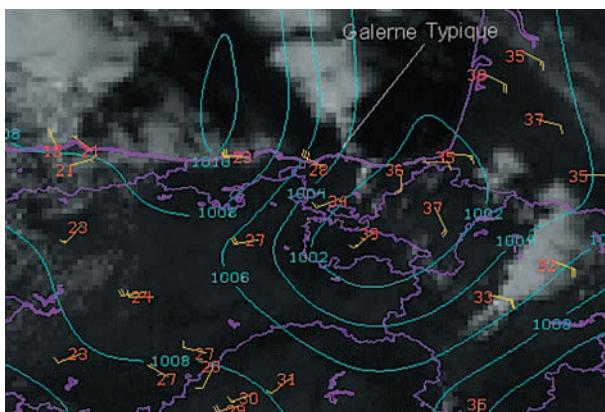


Figure 8 - Analyse à mésoéchelle de la pression au niveau de la mer et du vent le 25 juillet 1995 à 15 h UTC. Les isobares (en bleu) sont cotées en hPa ; la direction et la vitesse du vent en nœuds sont indiquées par une hampe et des barbules (en jaune). En superposition, l'image *Météosat* canal visible du 25-07-95 à 15 h UTC et les températures relevées au sol à 15 h UTC en °C (en rouge).

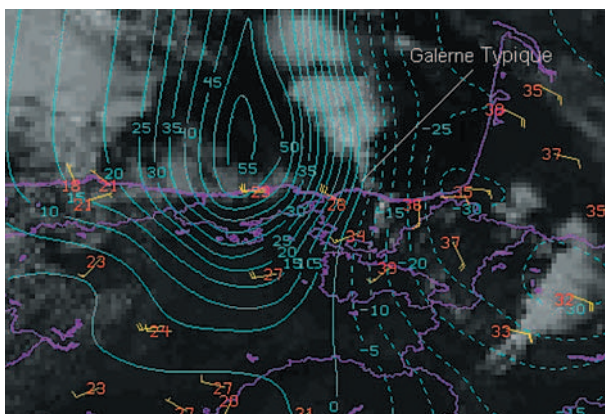


Figure 9 - Analyse à mésoéchelle de la tendance de pression en trois heures le 25 juillet 1995 à 15 h UTC. Les isotendances de pression (en bleu) sont cotées en dixièmes d'hectopascal ; la direction et la vitesse du vent en nœuds sont indiquées par une hampe et des barbules (en jaune). En superposition, l'image *Météosat* canal visible du 25-07-95 à 15 h UTC et les températures relevées au sol à 15 h UTC en °C (en rouge).

À 15 h UTC, la situation a radicalement changé (figure 8). La galerne a atteint le cap Machichaco où l'on relève des rafales de 104 km/h ; mais elle n'a pas atteint Lekeitio, 20 km plus à l'est. À mésoéchelle, une dorsale de pression s'est créée à l'ouest. Avec la baisse relative de pression en Navarre, elle génère un fort gradient de pression à mésoéchelle qui produit le courant de densité avec un vent agéostrophique et localement perpendiculaire aux isobares. L'analyse de tendance de pression en trois heures à 15 h UTC (figure 9) montre deux noyaux de tendance de pression très forts et opposés, qui sont de toute évidence responsables du fort gradient de pression à mésoéchelle déjà mentionné. Le microfront de la galerne se situe à proximité immédiate de la tendance zéro et est associé à une bande de nuages bas, visible sur la figure 9 à l'emplacement désigné par « galerie typique ». De tels noyaux de tendance de pression à mésoéchelle sont caractéristiques d'une galerne. Leur présence annonce l'arrivée imminente de cette galerne à l'est de la tendance zéro. Sur le littoral basque, les températures atteignent à ce moment 36 °C, en raison de l'effet de foehn provoqué par le relief. Ainsi, le contraste thermique ne fait que se renforcer progressivement entre les températures de l'ordre de 23 °C dans la zone de la galerne et les températures de plus en plus élevées à l'avant. Ce contraste thermique atteint à ce moment 13 °C en quelques kilomètres.

À 18 h UTC, la galerne entre dans son parcours terrestre en France. Elle prend toutes les caractéristiques d'un courant de densité. Sur la figure 10, on observe une bande nuageuse en forme d'arc associée au microfront au moment de son passage sur la station de Sévignac. Une telle bande nuageuse n'est pas toujours observable dans les cas de galerne. La galerne est déjà dans sa phase de dissipation ; la baisse de température n'est plus que de 5,2 °C en 30 minutes. Cependant, il s'agit là d'une extension exceptionnelle à l'est.

La galerne du 25 juillet 1995 a affecté Capbreton, mais pas les stations situées plus au nord. La figure 4 montre son déplacement rapide vers l'est. Sa vitesse de déplacement a augmenté progressivement de 14 ou 15 m/s à Santander à 19 m/s à San Sebastián. Le gradient de pression générant le vent de la galerne est de 5 hPa en 50 km et le gradient thermique de 13 °C en 30 km, tous deux étant parallèles à la côte. Selon la classification d'Orlanski (1975), la galerne serait ainsi un phénomène d'échelle méso-β. Les mesures du profilier de vent situé à Getxo (Bilbao) montrent que l'épaisseur de la galerne du 25 juillet 1995 n'a pas atteint 1 500 mètres ; la galerne est un phénomène de basses couches.

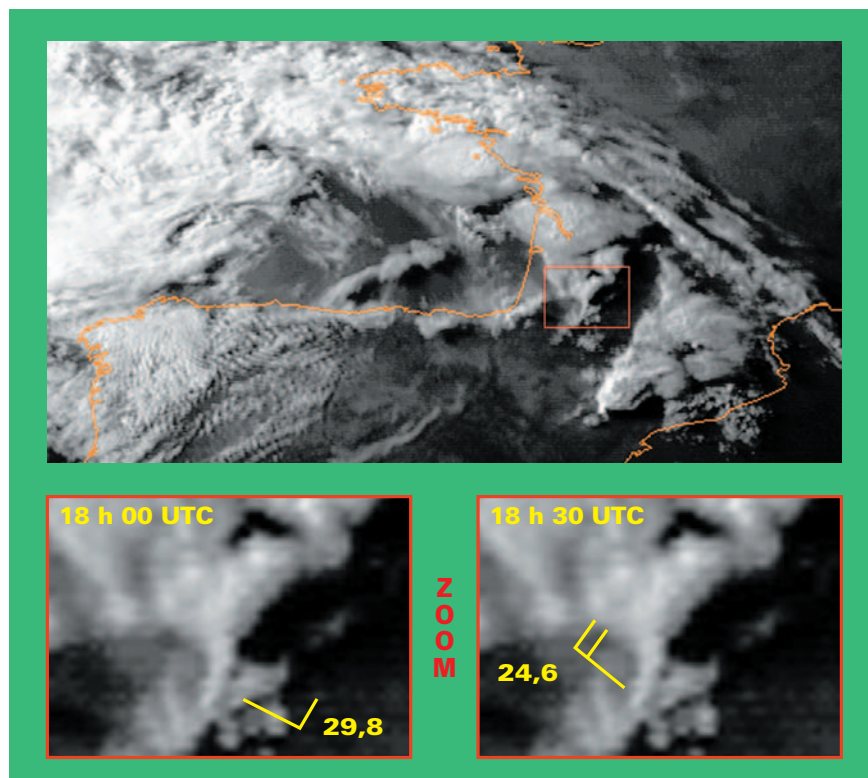


Figure 10 - Image du satellite *Météosat 5* dans le canal visible le 25 juillet 1995 à 18 h 30 UTC et zoom sur la station de Sévignac avec les observations de vent et de température de cette station à 18 h UTC et à 18 h 30 UTC.

Comment obtenir une climatologie des galernes ?

L'identification des cas de galerne est habituellement faite par dépouillement manuel des diagrammes à pas de temps fin d'une station. En l'absence de critère simple sur un seul paramètre, le résultat dépend du jugement complexe d'un météorologiste connaissant bien le phénomène. Il s'agit donc d'une opération très longue, avec une appréciation qui peut varier dans le temps, selon les stations et les experts, particulièrement pour les cas qui ne sont pas très marqués. Un tel traitement n'est donc pas possible sur une longue période et plusieurs stations. Pour obtenir une climatologie sur une période significative (trente ans) et sur une partie suffisante de la zone, il faut développer un algorithme informatisable et pouvant être appliqué sur les fichiers de données climatologiques. Cette méthode permet d'obtenir une sélection objective et stable des cas de galerne.

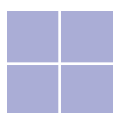
Observations utilisées

Les paramètres climatologiques utilisés sont les suivants :

- les valeurs trihoraires de la température, de l'humidité relative, de la pression, du temps présent et de la visibilité ;
- les valeurs quotidiennes de la vitesse maximale instantanée du vent et de la direction associée, de la hauteur de précipitations, de la durée d'insolation du matin et de l'après-midi et de la température maximale du jour.

Ces données ont été traitées sur la période 1965-1995 pour les stations de Biarritz, Socoa, Pau, Dax, Cazaux, Cap-Ferret, Mont-de-Marsan et La Rochelle. La Rochelle a été choisie en dehors de la zone d'étude en tant que référence de station côtière sans galernes pour la mise au point de l'algorithme. Les stations de Santander et Igueldo, traitées par l'INM avec un algorithme adapté à des paramètres disponibles différents, sont ajoutées dans la deuxième partie de l'algorithme décrit plus loin.

Nous avons vu que la galerne est un phénomène soudain et de courte durée de vie. Elle se prête donc mal à une identification à partir de données climatologiques ne fournissant des observations que toutes les trois heures au mieux. Cependant, en dehors des cas peu marqués, les variations que provoque une galerne sont suffisantes pour laisser une signature sur les données mentionnées ci-dessus. D. Wisdorff avait déjà montré, en 1991, la faisabilité de l'utilisation de certaines de ces données pour l'identification des cas de galerne.



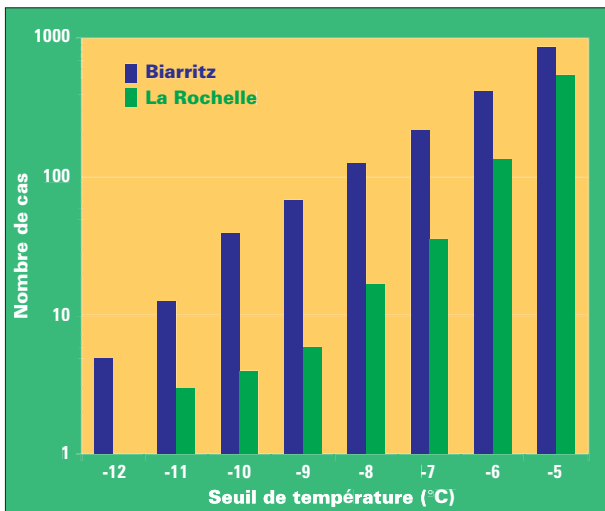


Figure 11 - Histogramme des variations en trois heures de la température inférieures à un seuil donné (°C) à La Rochelle et à Biarritz. Période 1965-1995, mois de mars à novembre.

Spécificité climatologique de la zone

Sur les stations de la côte basque et de la côte landaise, on observe de très fortes chutes de température et de très fortes hausses de l'humidité relative, qui ne sont pas observées par les stations situées plus au nord. Ainsi, en 31 ans à Biarritz, on observe 69 cas de chutes de température inférieures à -9 °C en trois heures contre 6 cas à La Rochelle (figure 11). De même, on observe à Biarritz 109 hausses d'humidité relative supérieures à 44 % contre seulement 14 à

La Rochelle. De telles valeurs constituent une singularité climatologique de la zone d'étude. Mais plusieurs phénomènes, tels que des passages de front, l'établissement de la brise de mer, des orages ou des galernes, sont susceptibles de provoquer de telles variations.

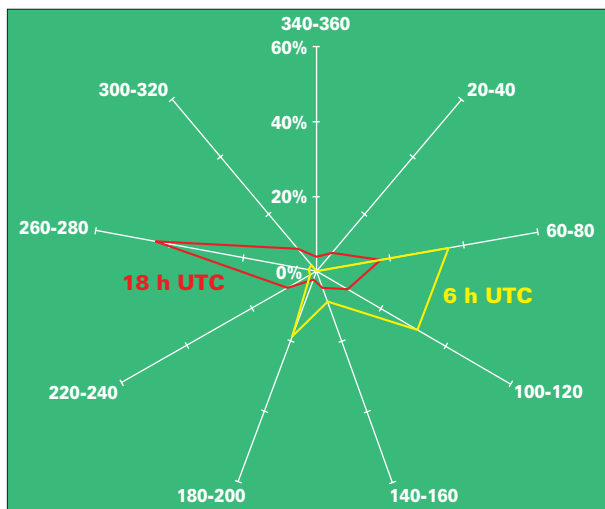
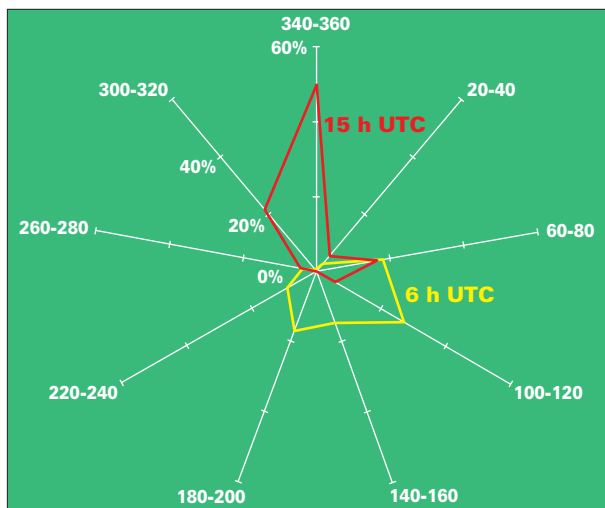


Figure 12 - Roses des vents (fréquences des classes de direction) obtenues à 6 h UTC et à 18 h UTC à Biarritz pour 120 jours présentant une durée d'insolation supérieure à quatre heures le matin et des variations fortes de température et d'humidité relative (DT < -7 °C et DU > 32 %).



La figure 12 présente les roses des vents obtenues à Biarritz à 6 h UTC et à 18 h UTC pour les journées marquées par une variation importante de la température et de l'humidité relative. On constate qu'à 18 h UTC, les vents d'ouest sont les plus fréquents, alors que les vents de secteur nord sont rares. La figure 13 présente les roses des vents obtenues à Biarritz à 6 h UTC et à 15 h UTC pour les journées caractéristiques du régime de brise, c'est-à-dire avec une insolation continue le matin et l'après-midi. Conformément aux connaissances des prévisionnistes, ces roses montrent une rotation très nette au nord à 15 h UTC, avec l'établissement de la brise de mer, avant un retour au secteur sud-est en cours de nuit. Les directions de secteur nord sont donc caractéristiques de la brise de mer à Biarritz. Il est ainsi possible de séparer les cas de galerne des cas de brise de mer en ne conservant que les cas de variations fortes de température et d'humidité relative non accompagnées de vent de secteur nord.

Par vérification manuelle sur les cartes d'analyse météorologique, on a constaté que les variations importantes de température et d'humidité relative précédées de vent de sud-ouest, d'une durée d'insolation faible ou de pluie continue correspondaient à des journées avec passage frontal. Il est ainsi possible de séparer les galernes typiques des passages frontaux ou des galernes frontales. Les cas de fronts ainsi détectés sont de 93 en trente et un ans à Biarritz, de 53 à Pau et de 66 à Dax. Dans la même période, on détecte seulement 5 cas à La Rochelle. Il s'agit donc encore d'un phénomène beaucoup plus fréquent dans la zone d'étude, très probablement la galerne frontale. Il se produit environ trois fois par an.

Figure 13 - Roses des vents (fréquences des classes de direction) obtenues à 6 h UTC et à 15 h UTC à Biarritz pour 590 jours présentant une insolation continue et supérieure à six heures (cas de la brise de mer).

Description de l'algorithme

	Toutes galernes	Galernes marquées	Galernes très marquées
Biarritz	193	94	42
Ciboure-Socoa	28 (144)	7 (37)	3
Pau-Uzein	160	54	21
Dax	157	40	12
Cap-Ferret	26	5	3
Cazaux	60	8	4
Mont-de-Marsan	96	32	11
La Rochelle	15	4	1
Santander	155	70	30
Igueldo	154	71	35

Tableau 1 - Nombre de cas de galerne détectés de 1965 à 1995 dans les dix stations de l'étude. Galernes marquées : $F_{xi} > 9$ m/s avec DD_{xi} de 240 à 320 degrés et DT, DU moyennes ou fortes. Socoa : valeurs sur 1989-1995, nombres estimés sur trente ans entre parenthèses. Santander, Igueldo (San Sebastián) : valeurs estimées sur trente ans avec une méthode légèrement différente.

L'algorithme opérationnel comprend deux étapes pour chaque journée considérée. La première est une recherche de conditions de galerne station par station pour cette journée. La deuxième n'est lancée pour cette journée, avec des seuils moins élevés, que si de telles conditions sont réunies pour au moins une station. À ce niveau, sont également prises en compte les sélections de cas de galerne faites à Santander et à Igueldo. Les conditions de galerne pour une journée sont les suivantes :

- Minimum de DT inférieur à un seuil et maximum de DU supérieur à un seuil, DT et DU désignant les variations en trois heures de la température et de l'humidité relative, corrigées du cycle diurne pour la station et la saison.
- Il faut en outre que ces variations extrêmes de température et d'humidité relative soient simultanées, à trois heures près.
- Plusieurs conditions parmi les suivantes :
 - direction du vent après la variation comprise entre 240 et 300 degrés ;
 - durée d'insolation importante ou forte hausse de température avant la variation ;
 - chute de la visibilité ;
 - température maximale du jour supérieure à 25 °C ;
 - crochet de pression (baisse, puis hausse).
- L'absence d'une des signatures de la brise ou des fronts :
 - direction du vent après la variation comprise entre 340 et 20 degrés ;
 - direction du vent avant la variation comprise entre 200 et 260 degrés ;
 - durée d'insolation faible avant la variation ;
 - temps présent avec pluie continue ou bruine observé dans les neuf heures précédant la variation et dans les six heures la suivant.

À chaque étape, la détection de telles signatures de brise de mer ou de front dans une station entraîne l'abandon de la recherche de galerne pour la journée considérée et pour l'ensemble des stations.

La validation de la méthode par comparaison avec une identification manuelle des cas de galerne sur cinq ans montre qu'il est ainsi possible de détecter avec moins de 10 % d'erreur les cas de galerne. Cette méthode permet même de détecter au moins 70 % des cas de galerne faible (non accompagnée de vents forts).

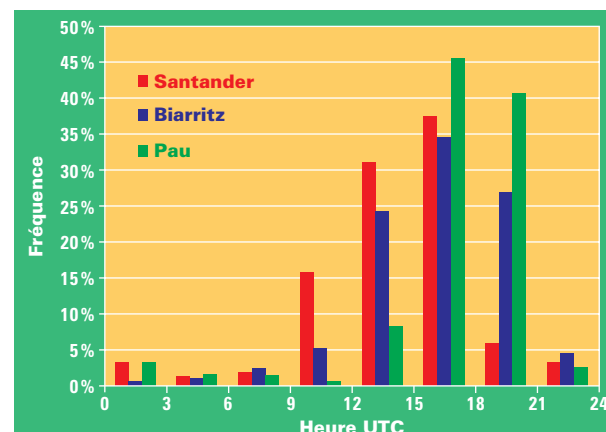
Climatologie des galernes de 1965 à 1995

Sur les côtes basque et cantabrique, la fréquence d'apparition de la galerne est en moyenne d'une fois par an pour les cas très marqués (tableau 1). Certaines années, on n'observe pas de galerne marquée. Si l'on considère toutes les galernes, y compris celles se produisant sous la forme atténuée de galerne faible, la fréquence est en moyenne de cinq par an. En outre, nous avons vu précédemment que se produit environ une « galerne frontale » par an, trois par an si l'on prend en compte les cas peu marqués.

La région où les galernes sont les plus fréquentes se situe du cap Majeur à Capbreton et se prolonge au pied des Pyrénées jusqu'à Pau. Leur fréquence diminue rapidement lorsque l'on remonte vers le nord (tableau 1). Quelques galernes atteignent parfois des stations situées plus au nord sur la côte aquitaine ou plus à l'est jusqu'à la Bigorre.

Fréquences mensuelles et horaires

Le tableau 2 présente le nombre de galernes observées par station et par mois. On note que la galerne est un phénomène de saison chaude. Sa fréquence est maximale de mai à août. Quelques cas de galernes faibles sont toutefois observés en automne et, parfois, en hiver.



La figure 14 montre les histogrammes des heures d'apparition de la galerne pour les stations de

Figure 14 - Fréquence d'apparition des galernes par plages de trois heures à Santander, à Biarritz et à Pau.

Santander, Biarritz et Pau. On constate que les galernes se produisent majoritairement l'après-midi et d'autant plus tardivement que l'on se situe à l'est de la zone. Ce dernier point peut être relié au fait que le phénomène se déplace d'ouest en est (figure 4).

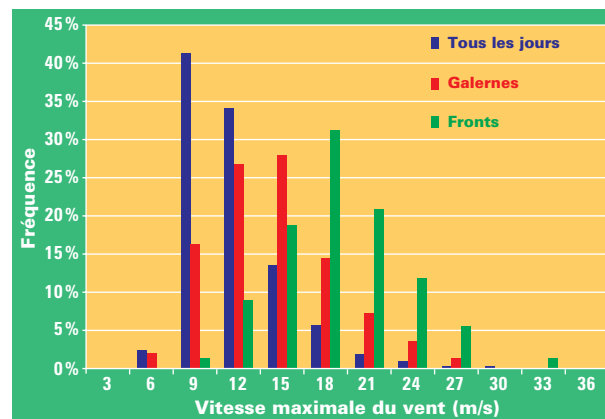
Tableau 2 - Nombre mensuel de cas de galerne détectés de 1965 à 1995 dans les dix stations de l'étude. Socoa : valeurs sur 1989-1995. Santander, Igueldo (San Sebastián) : valeurs estimées sur trente ans avec une méthode légèrement différente. Les cases foncées indiquent les trois ou quatre valeurs mensuelles les plus fortes pour chaque station.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Biarritz	2	3	9	14	34	33	41	30	16	7	1	3
Ciboure-Socoa	0	0	0	4	3	6	7	4	3	1	0	0
Pau-Uzein	2	3	9	11	25	19	41	24	10	6	4	6
Dax	0	2	8	9	19	35	37	24	17	5	0	1
Cap-Ferret	0	0	0	1	2	5	13	1	3	1	0	0
Cazaux	0	0	3	3	8	11	22	4	8	1	0	0
Mont-de-Marsan	0	1	8	6	15	12	21	20	6	2	0	1
La Rochelle	0	0	1	1	0	5	4	2	2	0	0	0
Santander	0	1	5	7	21	16	39	21	29	15	0	1
Igueldo	0	1	5	6	19	18	48	18	26	12	0	1

La vitesse du vent en présence de galerne

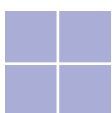
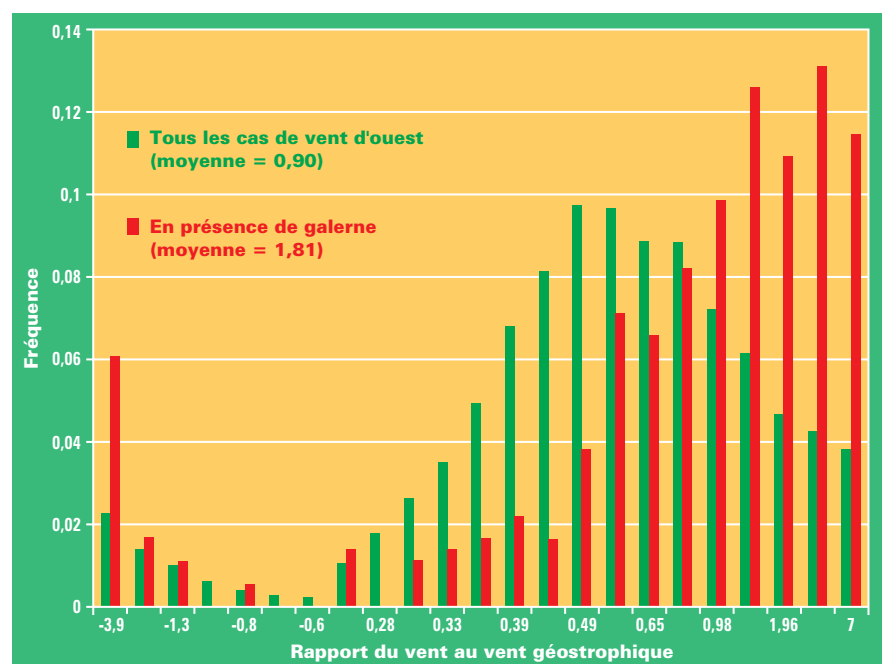
Figure 15 - Histogrammes des vitesses maximales du vent (en m/s) à Biarritz pour les cas de galerne, pour tous les jours et pour les cas de front.

L'histogramme des vitesses maximales instantanées relevées à Biarritz en présence de galerne (figure 15) montre que celle-ci s'accompagne de vitesses notablement plus élevées (12 m/s en moyenne) que lorsque l'on considère toutes les situations confondues (6 m/s en moyenne).



Près de 10 % des cas de galerne s'accompagnent de vitesses maximales dépassant 21 m/s (soit 76 km/h) et succédant soudainement à des vents très faibles. Les vitesses maximales les plus élevées sont toutefois associées aux cas de front ou de galerne frontale (15 m/s en moyenne).

Figure 16 - Histogrammes du rapport [vitesse du vent moyen trihoraire à Biarritz]/[composante zonale du vent géostrophique calculée à partir du gradient de pression entre Biarritz et La Rochelle] pour les cas de galerne et tous les jours avec vent d'ouest.



Les vents (vents moyens sur dix minutes à l'heure synoptique) observés à Biarritz au moment des galernes sont en général bien supérieurs au vent géostrophique correspondant au gradient synoptique de pression entre Biarritz et La Rochelle. Le rapport entre vent observé et vent géostrophique est deux fois plus important dans les cas de galerne que dans les autres cas de vent d'ouest (figure 16).

La température maximale en présence de galerne

Enfin, 80 % des cas de galerne se produisent un jour où la température maximale est supérieure à 25 °C (résultat obtenu lorsque le critère sur la température maximale n'est pas inclus dans l'algorithme). Mais, en moyenne, sur six jours avec une température maximale supérieure à 25 °C, cinq ne sont pas des jours avec galerne. La température maximale n'est donc pas un critère efficace de prévision.

Conclusion

Nous disposons maintenant d'une description de la galerne typique et d'une caractérisation climatologique de ce phénomène. L'étude a permis de préciser l'étendue géographique de la galerne, sa fréquence, ses caractéristiques et les intempéries qui lui sont associées. Le relief joue un rôle incontestable dans l'apparition de la galerne. Un modèle conceptuel, résultant de l'explication la plus probable, a été établi ; ce modèle conceptuel apporte des éléments permettant une prévision des galernes. Cette prévision s'appuie sur l'identification des conditions synoptiques favorables à l'apparition d'une galerne, puis sur la détection de son apparition grâce à un suivi fin des tendances de pression sur la côte cantabrique. Un accord bilatéral et renouvelé annuellement entre le Centre météorologique territorial des Cantabriques et des Asturies et la Direction interrégionale Sud-Ouest de Météo-France prévoit en outre l'échange des messages d'alerte entre les centres français et espagnol.

Quant à l'explication scientifique avancée pour la genèse de la galerne, seule une étude reposant sur l'utilisation d'un modèle numérique à maille fine et d'observations supplémentaires au large de la côte cantabrique permettrait de la vérifier et de l'approfondir.

Remerciements

Les auteurs remercient la Commission interministérielle des sciences et des technologies (Espagne) qui financé l'étude de l'INM (projet CICYT CLI95-1778). Ils remercient également les réviseurs dont les remarques ont permis d'améliorer l'article.

Bibliographie

- **Arasti E.**, 1996 : Modelo conceptual de galerna no frontal. IV Simposio nacional de predicción del INM. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, Espagne.
- **Arasti E.**, 2001 : Estudio de la galerna típica del Cantábrico. Nota Técnica del CMT en Cantabria y Asturias, INM y Ministerio de Medio Ambiente, 63 p. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, Espagne.
- **Brost R. A., D. H. Lenschow et J. C. Wyngaard**, 1982 : Marine stratocumulus layers. Part I: Mean conditions. *J. Atmos. Sci.*, 39, 800-817.
- **Colquhoun J. R., D. J. Shepherd, C. E. Coulman, R. K. Smith et K. McInnes**, 1985 : The southerly buster of Southeastern Australia: an orographically forced cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 2090-2107.
- **David P.**, 1998 : Coopération DIR/SO – CMTCAS. Étude d'algorithmes de détection automatique de galernes sur des données climatologiques. Application à la climatologie des galernes sur la période 1965-1995. Note interne de la DIR Sud-Ouest. Météo-France, Mérégnac.
- **Deyts C.**, 1992 : La galerne du 21 août 1991. Note interne de la DIR Sud-Ouest. Météo-France, Mérégnac.
- **Dorman C. E.**, 1985 : Evidence of Kelvin waves in California marine layer and related eddy generation. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 827-839.
- **Gill A. E.**, 1977 : Coastally trapped waves in the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103, 431-440.
- **Holland G. J. et L. M. Leslie**, 1986 : Ducted coastal ridging over S.E. Australia. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 731-748.
- **Hutchings J. W.**, 1944 : Orographical disturbances of the pressure field over New Zealand. New Zealand Meteorological Office, ser. A, n° 7, 4 p.
- **Mass C. F. et M. D. Albright**, 1987 : Coastal southerlies and alongshore surges of the West Coast of North America: Evidence of mesoscale topographically trapped response to synoptic forcing. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1707-1738.
- **Orlanski I.**, 1975 : A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 36, 527-530.
- **Sánchez-Laulhé J. M. et F. Polvorinos**, 1995 : Entradas bruscas de vientos de Levante en la costa norte de Alborán. *Boletín de la Asoc. Meteor. Española*, 18/19, 30-35.