



# Qualité de l'air

Études

Octobre 2007



## SCENARI DES EPISODES DE POLLUTION PAR L'OZONE DANS LA REGION DE L'ETANG DE BERRE

En collaboration avec :  
**NUMTECH**

Cette étude fait suite à une phase de faisabilité décrite dans le rapport :  
Chronologie des épisodes de pollution par l'ozone dans la région de l'Étang de Berre : Etude de faisabilité



Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la Région de l'Étang de Berre et de l'Ouest des Bouches-du-Rhône

Route de la Vierge - 13 500 Martigues - Tel. 04 42 13 01 20 - Fax. 04 42 13 01 29

Site internet: [www.airfobep.org](http://www.airfobep.org) - e-mail : [airfobep@airfobep.org](mailto:airfobep@airfobep.org)

Serveur vocal 04 42 49 35 35 (selon tarification téléphonique en vigueur)



## RESUME

### Chronologie des pics d'ozone

#### Mieux comprendre les épisodes de pollution par l'ozone dans la région de l'Etang de Berre

Nous avons tenté de voir s'il existe des scénarii types de l'évolution spatiale et temporelle de la pollution par l'ozone au cours de la journée. L'étude a utilisé les données de mesures de l'ozone réalisées par AIRFOBEP au cours de 5 années ( 2000 – 2004 ) par les 14 capteurs implantés dans la région de l'Etang de Berre. La pollution par l'ozone est traitée par le biais des dépassements du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### De la classification des situations horaires au scénarii de pollution

##### Classification Ascendante Hiérarchique :

Chaque heure de la journée, la pollution peut être caractérisée par un indicateur qui tient compte :

- du dépassement ou non d'un seuil de pollution,
- de l'étendu géographique des capteurs mesurant ce dépassement de seuil.

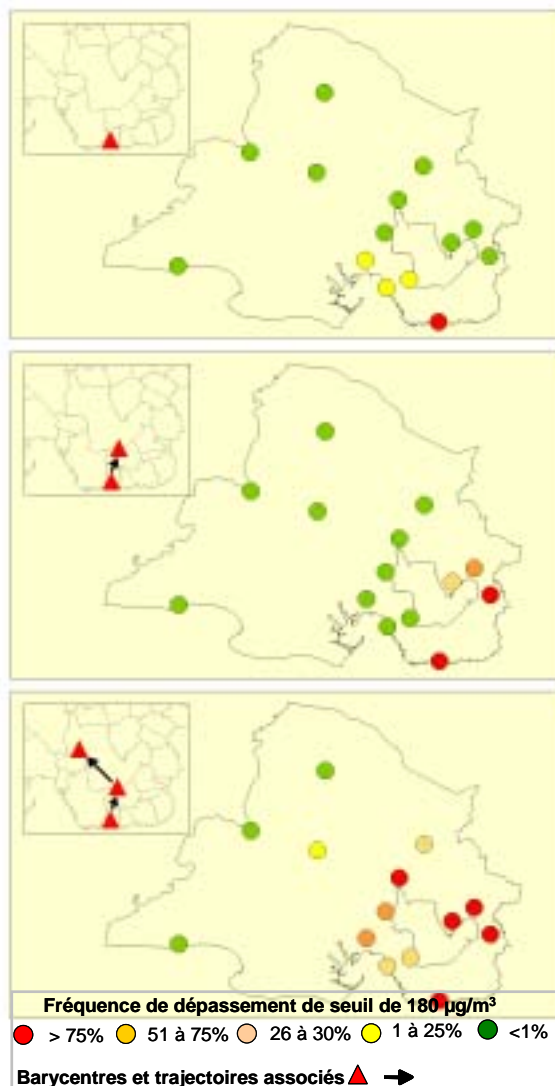
La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) de cet indicateur permet de regrouper toutes les heures dans un nombre limité de situations types ou classes. Ainsi, 20 classes de situations horaires ont été obtenues pour un seuil fixé à  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'évolution de la pollution au cours d'une journée est alors décrite avec une séquence unique de 24 situations horaires types. Cette séquence traduit le scénario de pollution de la journée.

#### Représentation des scénarii :

Pour représenter les scénarii de pollution :

- A chaque situation horaire, un barycentre est affecté à partir des concentrations mesurées dans la classe horaire correspondante (poids) et leur répartition géographique (distance).
- L'ensemble des barycentres sont ensuite reliés en fonction de la chronologie des situations horaires respectives. La trajectoire, ainsi obtenue, est la représentation graphique du scénario de pollution pour la journée considérée.



Représentation graphique d'un scénario de pollution à partir d'une séquence de 3 situations horaires :

- Détermination d'un barycentre pour chaque situation horaire,
- Tracé de la trajectoire du déplacement du barycentre.

### L'étude phénoménologique des scénarii types pour expliquer la pollution par l'ozone dans la région de l'Etang de Berre

#### Scénarii types :

L'ensemble des journées de l'historique des 5 années ont été représentées suivant la méthode décrite ci-dessus et regroupées en 9 scénarii types. Ces scénarii représentent l'évolution spatio-temporelle de pollution par l'ozone dans la zone de l'Etang de Berre au cours des journées avec des dépassements du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### Explication phénoménologique :

Les scénarii types de pollution par l'ozone ont été analysés à l'aide de la météorologie de la journée de pollution et des spécificités locales de la région.

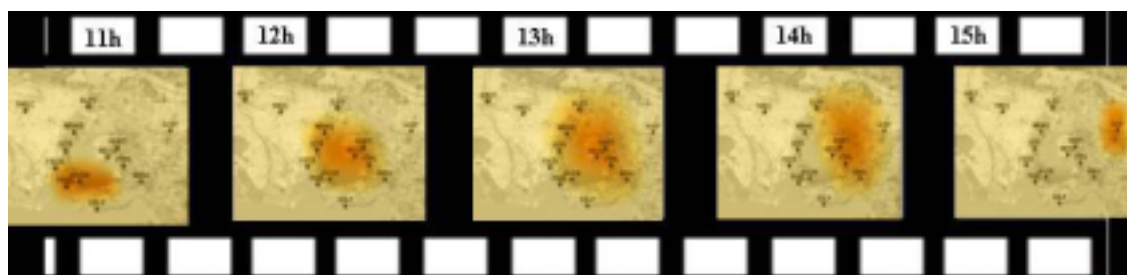
#### **La météorologie locale et les reliefs de la région de l'Etang de Berre sont à l'origine d'épisodes génériques de pollution par l'ozone :**

- 1- La présence d'une brise de mer « pure » donne lieu à un déplacement de l'ozone depuis le pourtour de l'Etang de Berre vers le Nord-Est via la Vallée de la Durance.
- 2- Si la brise de mer est associée à un mistral modéré, le déplacement de l'ozone se fait :
  - Près du littoral au niveau de l'Etang de Berre si la brise est faible.
  - A partir de l'Etang de Berre vers l'est si la brise est plus importante.
- 3- La présence d'un vent synoptique du Sud donne lieu à un déplacement de l'ozone, canalisé par les reliefs, vers le Nord et le Nord-Ouest.

Lorsqu'on s'intéresse aux situations de pollution par l'ozone par le biais des dépassements du seuil de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ces épisodes génériques se déclinent dans les 9 scénarii types. C'est le résultat de l'influence des paramètres météorologiques, du relief et de la persistance. L'explication phénoménologique des scénarii types est décrite dans le tableau ci-dessous :

1	Episode localisé loin des sources de l'Etang de Berre.		Début tardif de l'épisode associé à un vent important.
2	Episode localisé proche des sources de l'Etang de Berre.	Peu étendu	Début matinal de l'épisode associé à un vent faible et une température modérée.
3		Etendu	Même situation que l'épisode 2 avec une température plus importante.
4		Très étendu	La persistance sur plusieurs jours et/ou un vent oscillant sont à l'origine de la circulation et de l'étendu très important de l'épisode.
5	Episode se déplaçant vers le Nord-Est.	Départ sur la côte	Situation de brise de mer. Début de l'épisode au moment de la bascule de la brise, le relief aidant le déplacement vers le Nord-Est. Le départ depuis la côte ou dans les terres est dicté par les niveaux des sources et la persistance.
6		Départ au Nord de l'Etang	
7	Episode se déplaçant près du littoral.		Mistral modéré (Fin de mistral) couplé à une brise de mer . Ou retournement de brise en fin d'après-midi.
8	Episode se déplaçant vers le Nord-Nord-Ouest.		Vent de Sud et canalisation pour le relief.
9	Episode généralisé sur toute la région de l'Etang de Berre		Forte température, forte stabilité et persistance. Situation exceptionnelle de pollution généralisée.

Scénarii type et explication phénoménologique.



Exemple de scénarii type de pollution par l'ozone.

Chronologie du scénarii 5 : déplacement de l'ozone depuis l'Etang de Berre vers le Nord-Est au cours d'une journée de brise « pure ».



## Table des matières

1. Objet de l'étude	3
2. Méthodologie	5
2.1 Classification des pics horaires en typologie d'épisodes horaires de pollution	6
2.2 Classification temporelle des épisodes journaliers de pollution	10
2.3 Discussion	12
3. Conclusions	18
Table des figures	20
Table des tableaux	21
Table des annexes	22



# 1. Objet de l'étude



## 1. Objet de l'étude

Cette notice fait le bilan de l'étude sur la chronologie des pics d'ozone sur le domaine d'intervention d'AIRFOBEP.

L'objectif de cette étude est de classer les épisodes de pollution d'ozone en fonction de la localisation des stations concernées et de l'évolution de cette dernière au cours du temps. Cette classification porte sur la distinction d'épisodes typiques et atypiques, sachant que seule l'évolution temporelle des épisodes typiques est étudiée. L'ensemble de la démarche a déjà été présentée dans la notice n°36.0106 « Etude chronologique des pics d'ozone sur le pourtour de l'étang de Berre. Bilan final de la phase I ».



## **2. Méthodologie**

### **2.1. Classification des pics horaires en typologie d'épisodes horaires de pollution**

### **2.2. Classification temporelle des épisodes**

## 2. Méthodologie

La méthode employée pour permettre l'étude chronologique des épisodes de pic d'ozone suit la démarche suivante :

- Classification des situations horaires de pics d'ozone : chaque heure de dépassement est considérée indépendamment des autres. Chacune d'entre elle est simplement caractérisée par un ensemble d'indicateur spécifiant si la concentration relevée en chacune des stations dépasse un seuil donné. On tente alors de regrouper les épisodes horaires similaires, c'est à dire ceux pour lesquels les dépassements se produisent aux même stations (ou sur des stations proches géographiquement). On obtient de cette façon, différentes classes représentatives de tous les cas de pollution horaires possibles. La méthode statistique utilisée repose sur une méthode de classification hiérarchique ascendante.
- Caractérisation des journées de pollution (toute journée durant laquelle s'est produit au moins 1 pic) : une journée de pollution peut être caractérisée par un ensemble de 24 paramètres. Chacun d'eux définit l'état de pollution observé à une heure donnée et il désigne soit l'une des classes de pollution horaire définie dans l'étape précédente, soit le cas d'une absence de pollution.
- Classification des épisodes de pollution : puisque désormais les journées de pollution sont entièrement définies par un nombre limité de paramètres ne pouvant prendre qu'un nombre d'état restreint, leur classification est désormais possible. Il sera alors possible de regrouper les journées de pollution présentant les mêmes caractéristiques et d'isoler les cas atypiques. Pour l'instant, une approche mathématique n'a pas pu être développée pour permettre cette classification. Cependant une approche manuelle basée sur une représentation simplifiée des différents épisodes a été développée et appliquée.

L'ensemble de cette méthodologie a été décrite en détail dans la notice n°36.0106 « Etude chronologique des pics d'ozone sur le pourtour de l'étang de Berre. Bilan final de la phase I ». La méthodologie proposée s'adapte aux différentes situations de dépassement d'ozone (dépassement horaire d'une valeur limite de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ou de 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Cependant, les caractères choisis pour caractériser les épisodes de pollution sont dépendant de la valeur limite choisie.

Dans cette étude, nous nous sommes attachés uniquement aux dépassements du seuil horaire de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 2.1. Classification des pics horaires en typologie d'épisodes horaires de pollution

#### 2.1.1 Constitution de la base de données de dépassements horaires

La classification des différents pics de pollution à l'aide de la classification hiérarchique ascendante passe en premier lieu par la constitution d'une base de données qui va regrouper les différents individus à classer (c'est à dire dans notre cas, les échéances horaires d'occurrence des pics sur une ou plusieurs stations) et par le choix d'un certain nombre de critères qui vont caractériser la nature de ces pics. La classification regroupera alors les individus en fonction de la plus ou moins grande proximité de ces critères.

Dans le cadre de cette étude, la CAH ne doit porter que sur les dates concernées par un pic de pollution observé sur au moins une des stations d'observation. Pour la constitution de cette base de données, nous avons à disposition les observations du réseau AIRFOBEP (16 stations disponibles), ATMO PACA (anciennement AIRMARAIX) et AIR LANGUEDOC ROUSSILLON, pour les années 1999 à 2006.

Compte tenu de la nature de l'étude (classification des épisodes typiques correspondants au dépassement du seuil horaire de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en ozone) et en concertation avec AIRFOBEP, nous avons fait les choix suivants :

- Seule la période couvrant les mois de mars à octobre a été considérée.
- Seule la période diurne, de 6h à 20h locales, a été considérée.





- Les données de l'année 1999 ont été écartées de part un trop grand nombre de données manquantes (certaines stations ont été mises en service qu'au cours de l'année 1999). En outre, comme indiqué lors de la phase I de cette étude, les stations d'Auribeau et Marignane-Ville ont été écartées.
- Les données de l'année 2006 ont été écartées de part l'arrêt de la station de Saint Martin de Crau (SMDC) depuis mai 2006. La CAH ne pouvant travailler que sur des dates (ou individus) pour lesquelles tous les caractères (concentrations sur l'ensemble des stations retenues) sont disponibles, ces données manquantes en 2006 pour SMDC conduisait à dégrader fortement les performances statistiques de la méthode de reconstruction de la base (voir dernier point), alors que la position géographique de SMDC apporte des informations importantes pour la classification. Nous avons donc écarté l'année 2006 dans son ensemble.
- Les stations du réseau AIR LANGUEDOC ROUSSILLON sont finalement, soit relativement éloignées de la zone d'étude, soit proches de la station Saint Rémy de Provence (et ne font alors que dupliquer l'information dans cette zone). En outre, les données de ce réseau sont beaucoup plus incomplètes que les données du réseau AIRFOBEP, ce qui conduit à dégrader l'approche statistique de la méthode de reconstruction de la base (voir dernier point). Nous avons écarté les données de ce réseau.
- Parmi les stations du réseau ATMO PACA, les stations les plus intéressantes (proches de la zone d'étude, et classées comme stations rurales ou péri-urbaines) sont les stations AIXP (plus intéressante en terme de pics observés que AIXA et AIXO) et MIRA. Bien que les données pour la station d'AIXP ne soient disponibles qu'à partir du 11/06/2000, sa localisation apporte une information intéressante sur la localisation des pics de pollution. Nous avons choisis de considérer ces deux stations ATMO PACA, et nous avons limité la période d'étude du 11/06/2000 au 31/10/2005 (une analyse montre que, statistiquement, très peu de cas de dépassement sont écartés pour la période mars-juin 2000).
- La CAH ne fonctionne que si, pour chaque échéance temporelle, il y a une donnée valide pour chacune des stations retenues. S'il y a un dépassement sur une station, mais une donnée manquante (période de maintenance, ...) pour une autre station, la ligne temporelle est écartée. Pour minimiser cette situation, une reconstruction automatique par analyse des configurations de dépassement a été effectuée pour compléter ces données manquantes. Pour les stations et périodes retenues, sur les 20521 échéances horaires possibles, il y avait 3674 échéances pour lesquelles l'information sur le dépassement ou non du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n'était pas disponible pour au moins une station. Au terme de la phase de reconstruction, le pourcentage d'échéances horaires ayant une information disponible sur toutes les stations est de près de 85%, ce qui est un pourcentage acceptable.

La **figure 1** présente la localisation des stations utilisées dans cette étude. On peut noter que la CAH utilisera au final une base de données de 820 échéances horaires pour lesquelles un dépassement du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est observé pour au moins une station. On peut noter également que seules 12 échéances horaires concernent un dépassement observé du seuil en dehors de la période d'étude retenue (de mai à octobre, ou de 6h à 20h).

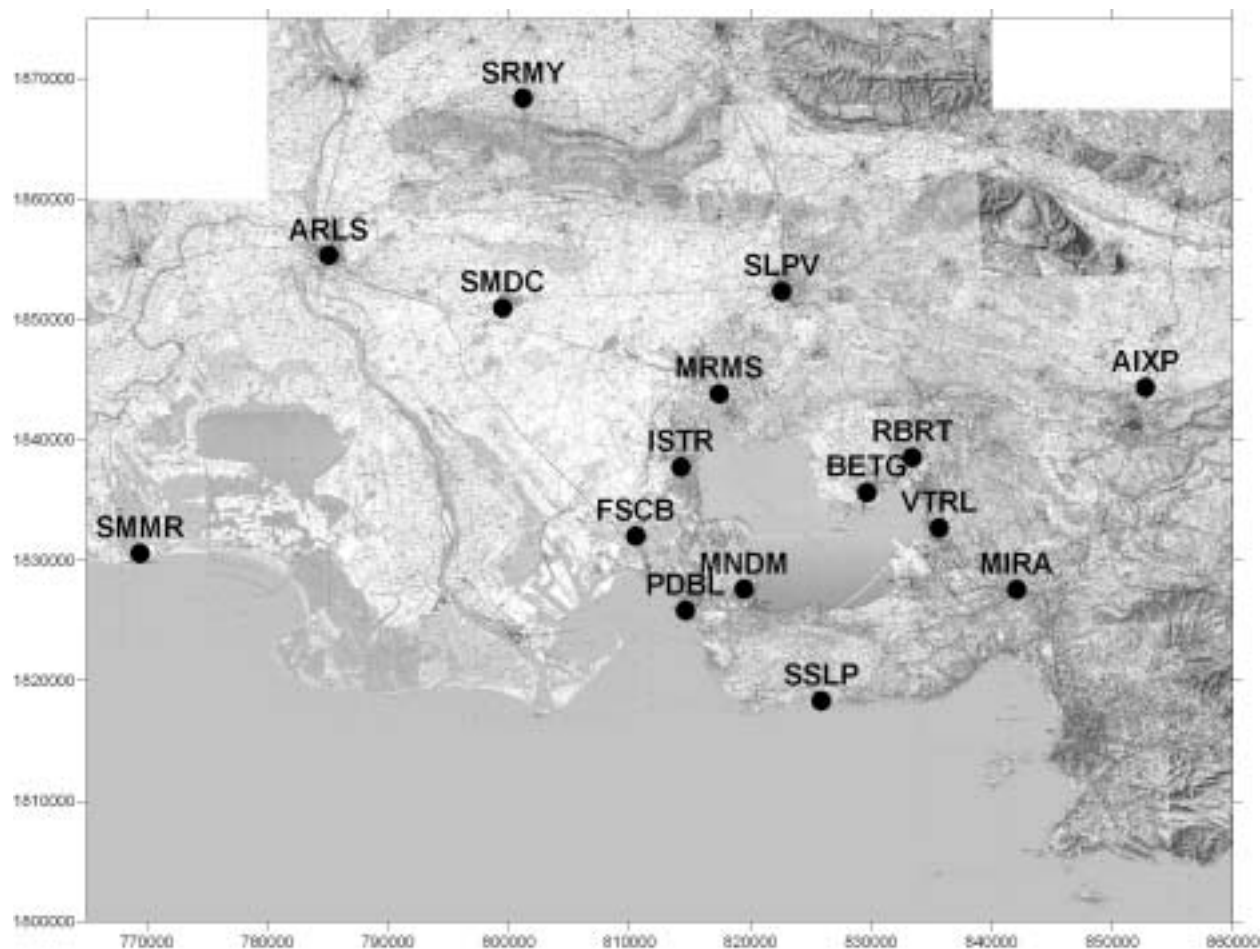


Figure 1 – Localisation des stations d'observation en ozone utilisées par la CAH

### 2.1.2 Résultats de la CAH

La CAH a été appliquée à l'ensemble du jeu d'observations sélectionné. On obtient alors le graphe de la **figure 2** qui présente le pourcentage d'agrégation en fonction du nombre de classes retenues. D'un point de vue statistique, une valeur acceptable pour le niveau d'agrégation est de 10%. Compte tenu de l'objectif ultérieur, à savoir déterminer un nombre raisonnable de typologies d'évolutions temporelles des pics d'ozone en fonction de typologies horaires, nous avons choisi de restreindre au plus possible le nombre de typologies horaires. En effet, plus le nombre de classes composant la partition des classes horaires de pollution est grand, plus la classification des événements temporels de pollution s'avérera délicate. Nous avons ainsi retenu 16 classes (niveau d'agrégation de 9.39%).

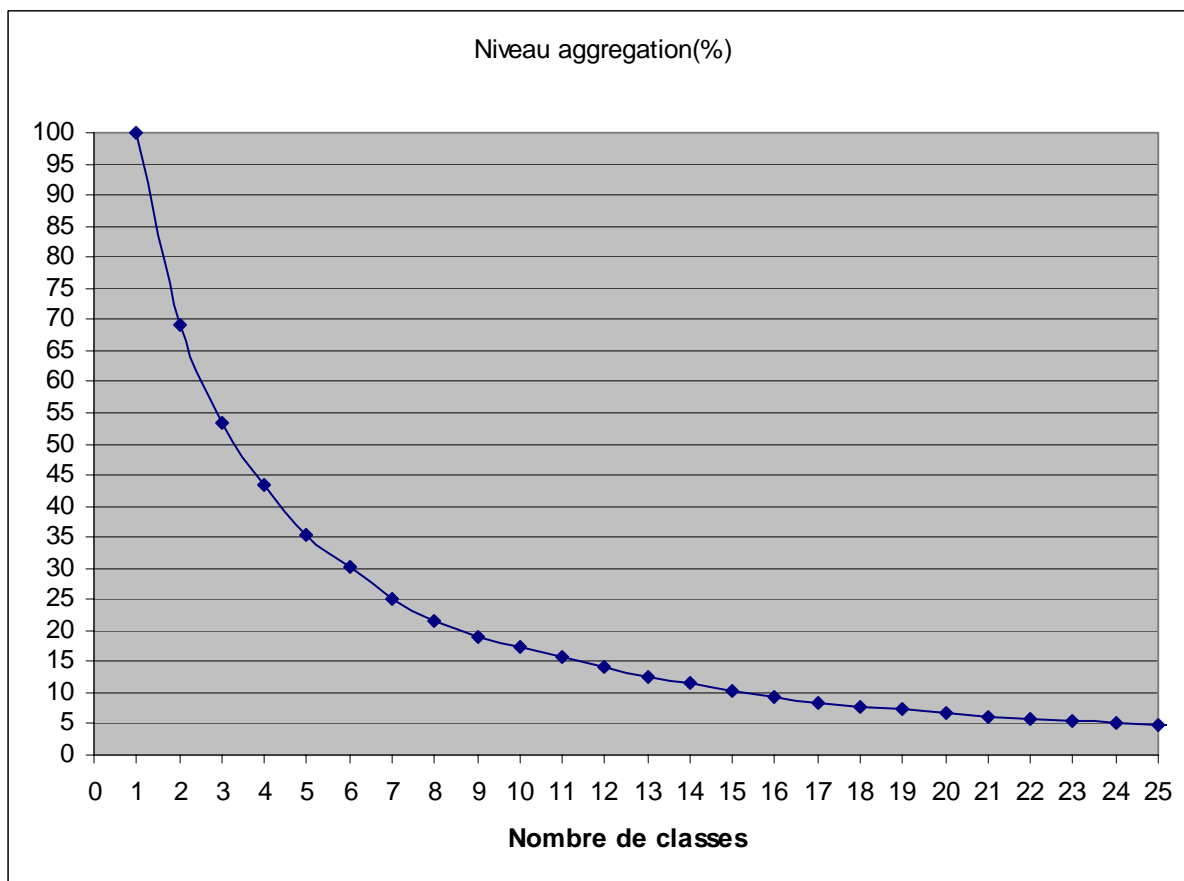


Figure 2 - Niveau d'agrégation (%) en fonction du nombre de classes au terme de la CAH

L'effectif (nombre d'échéances temporelles) de chacune de ces classes est donné dans le tableau suivant ; tandis que la **figure A1** de l'**annexe cartographique** présente les fréquences de dépassement du seuil  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en chacune des stations pour chacune des classes, ainsi que la représentation graphique associée pour chacune de ces classes pour l'étape suivante (représentation au moyen d'un barycentre dont les coordonnées dépendent des coordonnées des stations dépassants le seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pondérées par la fréquence de dépassement, et dont la couleur est représentative de l'étendue de la zone d'étude concernée par un dépassement à l'ozone : voir phase I et section 2.2 ci-dessous).

Classe	Effectif	Classe écartée
1	48	
2	61	
3	35	
4	32	
5	131	
6	79	
7	61	
8	23	
9	4	
10	100	
11	25	
12	59	
13	27	
14	8	X
15	62	
16	64	

Tableau 1 – Effectif des 16 classes horaires en sortie de la CAH

Au vu du faible effectif de la classe 14, et compte tenu de la localisation des zones de dépassement pour cette classe, nous avons choisi de l'écartier pour l'étape de classification temporelle des épisodes de pollution, en considérant les 8 cas horaires comme des cas atypiques.

## 2.2. Classification temporelle des épisodes journaliers de pollution

La première étape nous a permis d'obtenir une partition de l'ensemble des cas de pollution horaire possibles. Désormais il est possible de qualifier chaque journée de pollution comme une succession des différentes classes que l'on vient de déterminer et d'une classe correspondante à l'absence de pics.

Une représentation schématique simplifiée de visualisation de chacun des événements de pollution au cours d'une journée à été mise en place, comme indiqué lors du précédent rapport. Cette représentation est réalisée au moyen d'un graphe unique par journée qui comporte la plus grande partie des caractéristiques de la chronologie des pics. En effet, rappelons qu'à l'heure actuelle, aucune approche mathématique n'a pu être établie pour classer ces typologies journalières.

L'approche de visualisation graphique procède de la manière suivante :

- on recherche la première heure de la journée considérée présentant un pic d'ozone. Grâce aux étapes précédentes, on sait désormais quelle est la typologie de pollution horaire associée. On représente alors cet épisode horaire sur une carte de la zone d'étude par un point unique dont la position correspond au barycentre des coordonnées des stations pondérées par la fréquence de dépassement observé en chacune d'elle pour la typologie de pollution considérée. En outre, sa couleur est représentative de l'étendue des dépassements sur la zone d'étude (voir section 2.12 ci-dessus).
- la deuxième heure de pollution est représentée de la même façon. Si la typologie associée est différente de la première, on relie les deux points obtenus par une flèche donnant le sens d'évolution de l'événement, uniquement si les échéances horaires se suivent. S'il y a des heures, entre ces deux typologies horaires, pour lesquelles aucun dépassement n'est observé, aucune flèche n'est alors tracée. On procède ainsi jusqu'à la dernière heure polluée.
- Afin de visualiser les typologies horaires identiques qui se succèdent sur plusieurs heures (phénomène de persistance), la partie droite du graphe comprend la liste des typologies horaires rencontrées au cours de la journée, en rappelant le symbole graphique, le numéro de la classe horaire et son heure d'apparition. De même, la date de la journée concernée est indiquée dans la partie basse du graphe avec un numéro d'identification unique pour chaque journée. Enfin, pour permettre une détection plus aisée de « l'origine » du pic, le premier épisode de dépassement observé au cours de la journée est visualisé au moyen d'un triangle, tandis que pour les autres échéances, on utilise un cercle.

Au final, chaque journée polluée est représentée par une carte unique donnant la succession des différents pics horaires et, pour chacun d'eux, le centre et l'étendue de la zone impactée (voir **figure 3**). L'ensemble des cartes ainsi construites pour toutes les journées présentant au moins 1 heure de dépassement du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en ozone est ainsi présenté **figure A.2** de l'annexe cartographique.

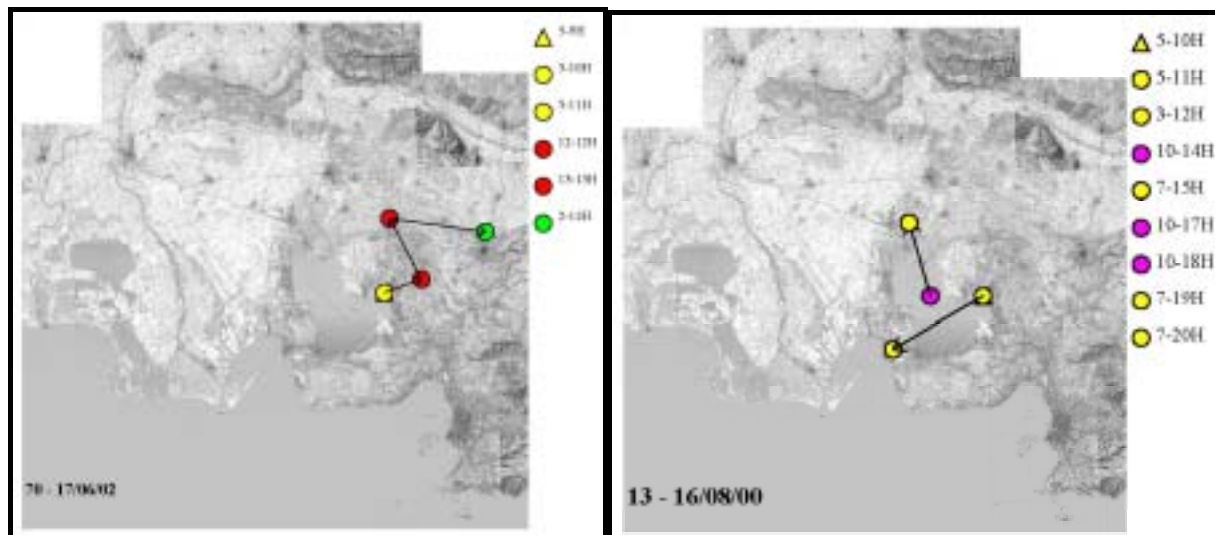


Figure 3 - Exemples de visualisation de l'évolution journalière des zones de dépassement du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les journées du 17 juin 2002 (à gauche) et du 16 août 2000 (à droite)

Un **regroupement manuel** peut alors être réalisé pour associer certaines typologies temporelles sous une même classe. Les 191 journées, qui présentent au moins un dépassement sur 1 heure, ont ainsi été classées en 10 classes d'évolutions journalières des typologies horaires. La dernière de ces classes, comptant 6 journées, regroupe des enchaînements temporels qui n'ont pu être associés à un autre enchaînement, et correspond ainsi à des évolutions dites « atypiques ». La **figure A.3** de l'**annexe cartographique** présente les 9 typologies journalières dites « typiques ». Sur cette figure sont présents des graphiques qui représentent la distribution (en %) de certains paramètres rencontrés au cours des enchaînements temporels regroupés dans la classe étudiée. Ces paramètres sont :

- la direction moyenne du vent sur la zone d'étude pour chaque échéance horaire de dépassement,
- la vitesse moyenne du vent sur la zone d'étude pour chaque échéance horaire de dépassement,
- la température moyenne sur la zone d'étude pour chaque échéance horaire de dépassement,
- la première typologie horaire de dépassement au cours de chaque journée,
- l'heure d'apparition de cette première typologie horaire de dépassement,
- la durée entre la première et la dernière typologie horaire de dépassement.

Pour les paramètres météorologiques, nous avons calculé, pour chaque échéance horaire, la moyenne des valeurs observées au niveau de 6 stations : 3 stations AIRFOBEP (Martigues, La Gatasse et Vitrolles) et 3 stations Météo France (Istres, Marignane et Salon de Provence).

La **figure A.4** de l'**annexe cartographique** présente quant à elle uniquement une visualisation schématisée et simplifiée de chaque typologie journalière d'enchaînement des zones de dépassement horaire.

On peut noter que le choix d'affecter telle journée dans une des 9 classes de typologie journalière a parfois été difficile, et a suivi les recommandations d'AIRFOBEP sur les phénomènes à considérer pour ces typologies journalières.

Au-delà de la simple description proposée sur la **figure A.3** de l'**annexe cartographique** via les graphiques de distribution, des tentatives d'explications phénoménologiques d'un point de vue purement météorologique ont été tentées. Malheureusement, ces tentatives ont été majoritairement vaines. Par contre, certaines explications ou hypothèses peuvent être avancées sur l'enchaînement observé dans les 9 classes de typologies journalières (voir ci-dessous). Il faut alors se rappeler que l'ensemble de la méthodologie retenue pour cette étude repose sur des données d'observations des concentrations d'ozone par un jeu limité de stations de surface :

- 1- le cheminement observé chaque journée entre les barycentres n'est qu'une indication approximative du déplacement exact des panaches d'ozone sur la région, et ne concerne que les concentrations supérieures à  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Par exemple, dans le cas présenté à gauche de la **figure 3**, le passage de la typologie horaire 13 à 2 de 13h à 14h peut nous amener à supposer que le déplacement est uniquement vers l'est. Cependant, il faut aussi faire attention à l'étendue de la zone associée à chaque barycentre. Dans ce cas précis, il est possible que, dans la réalité, le déplacement soit plus nord-est, déplacement qui n'est pas vu dans sa totalité avec la seule station d'Aix en Provence qui ressort toute seule dans notre démarche. Compte tenu de la localisation des stations utilisées (voir **figure 1**), il apparaît clairement que si des pics d'ozone sont présents en bordure ouest/sud-ouest, nord-est ou sud-est de notre domaine d'étude, ces pics ne seront pas vu ou vu uniquement par une ou quelques stations (d'où des barycentres de couleur verte alors que, dans la réalité, on aurait schématiquement des barycentres de couleur jaune ou rouge).
- 2- Les stations étant localisées en surface, la visualisation de certain enchaînement d'un barycentre d'une couleur donnée (c'est à dire d'une étendue donnée) à un autre barycentre associé à une étendue géographique plus faible est peut être biaisée par le fait que le panache d'ozone s'élève en altitude, que les stations en surface ne détectent plus un pic d'ozone et donc que l'étendue horizontale du panache reste la même dans la réalité contrairement à ce qui est observé par les stations de surface (et représenté par les barycentres).
- 3- Enfin, la méthodologie repose sur la classification de pics d'ozone correspondants à un dépassement du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Si une station mesure une concentration de  $179 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la méthode considère qu'il n'y a pas de pic d'ozone. L'étendue géographique des pics d'ozone est alors probablement plus restreinte avec notre approche contrairement à l'étendue réelle des pics d'ozone, et encore plus vis à vis des panaches d'ozone.

### 2.3. Discussion

L'ozone est un polluant dit secondaire, c'est à dire que sa formation résulte de transformations chimiques et non d'une émission directe, contrairement à d'autres composés comme les oxydes d'azote. Les fortes concentrations d'ozone se manifestent principalement au printemps et en été car sa formation photochimique nécessite un rayonnement solaire suffisant. De plus, il est favorisé par de fortes chaleurs (émission biogénique importante, émission de COVs par évaporation importante, ...). Enfin, en été, la durée de vie de l'ozone est de quelques jours dans la couche limite continentale.

Au delà de l'équilibre photochimique existant naturellement dans l'atmosphère entre l'ozone, les oxydes d'azotes et les radicaux issus de la décomposition de COVs à longue durée de vie (comme le méthane), la production supplémentaire d'ozone qui conduit aux pics de pollution nécessite la présence de radicaux issus de la décomposition de COVs à plus courte durée de vie, ainsi que la présence d'oxydes d'azote dans une gamme de concentration donnée. Le temps nécessaire pour former une quantité significative d'ozone est alors limité par le temps de dégradation des COVs, qui est de une à quelques heures pour les plus réactifs.

En général, les fortes concentrations d'ozone sont observées à l'extérieur des agglomérations à quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres, et la localisation, la forme et l'intensité des panaches d'ozone dépendent de l'intensité du vent, de la turbulence atmosphérique et de la hauteur de la couche limite. De manière simplifiée, plus l'intensité du vent est importante, plus l'intensité du panache est faible et son maximum est éloigné de l'agglomération. Lorsque le vent est quasi nul, le maximum est observé près des sources. Mais la production photochimique est alors moins efficace, car elle a lieu dans un environnement trop riche en NOx (lié aux émissions anthropiques qui sont concentrées dans et autour des agglomérations) qui conduit à une titration (destruction) de l'ozone par les oxydes d'azotes.

En outre, les maxima d'ozone sont généralement observés en milieu ou en fin d'après-midi (durée nécessaire à la mise en place de la production maximale photochimique de l'ozone dans des conditions favorables, c'est à dire correspondantes notamment à des concentrations en oxydes d'azote suffisamment diluées par le développement de la couche limite). En fin de journée, l'absence de rayonnement empêche toute formation d'ozone supplémentaire pour conduire à des concentrations faibles ou nulles la nuit près du sol. Ces concentrations faibles résultent du dépôt





de l'ozone en surface sans qu'il puisse être régénéré par la photochimie, et parce qu'il est également réduit par les oxydes d'azote dans les régions proches des sources comme expliqué précédemment.

En revanche, l'ozone peut persister en altitude lorsque les conditions atmosphériques conduisent à isoler les panaches d'ozone de la surface. Cette bulle d'ozone en altitude est alors transportée par le vent vers d'autres régions. En zones montagneuses ou sur une côte, ce transport est effectué par des brises diurnes cycliques qui peuvent conduire, le lendemain, à une re-circulation du panache vers la zone initiale d'émissions.

Lors d'épisodes ayant lieu sur plusieurs jours consécutifs, cette re-circulation peut conduire à de fortes concentrations d'ozone, ainsi qu'à un démarrage plus tôt en matinée de sa production. A l'inverse, en cours de journée après des conditions favorables à la production d'ozone, une modification des conditions météorologiques (augmentation de l'intensité du vent ou de la turbulence, formation nuageuse, ...) peut conduire à un ralentissement ou l'arrêt de la production photochimique de l'ozone, les concentrations tendant alors vers le niveau de fond « naturel ».

Sur la région de Fos-Berre, il a été observé et identifié plusieurs scénarios types d'épisodes de pollution à l'ozone, notamment via la campagne ESCOMPTE. Ces scénarios se distinguent par la localisation du(des) panache(s) d'ozone et de leur évolution géographique au cours d'une journée. Cette distinction résulte principalement des régimes de vent associés, les différences de température et de stabilité atmosphérique conduisant alors à perturber ces scénarios types en termes de localisation, étendue et intensité des panaches d'ozone. Ces scénarios types sont :

- un déplacement du panache d'ozone le long de la côte à partir des principales zones sources en bordure de côte et au niveau de l'étang de Fos-Berre et de Marseille. Ce scénario correspond généralement à un épisode de mistral modéré (ou mistral modéré associé à une brise de mer faible).
- Un déplacement du panache d'ozone à partir des principales zones sources (pourtour de l'étang de Fos-Berre, Marseille, ...) vers l'est. Par rapport au scénario précédent, l'intensité du mistral est moins prononcée contrairement à celle de la brise de mer.
- Un déplacement du panache d'ozone à partir des principales zones sources (pourtour de l'étang de Fos-Berre, Marseille, ...) vers le nord-est (vallée de la Durance, ...). Ce scénario correspond à la présence de brise de mer pure.
- Un déplacement du panache d'ozone à partir des principales zones sources (pourtour de l'étang de Fos-Berre, Marseille, ...) vers le nord-ouest (Avignon, ...). Ce scénario correspond à la présence de vent synoptique de sud qui canalise une grande partie des panaches vers le nord / nord-ouest en fonction du relief.

Les différentes classes journalières de succession d'apparition des pics d'ozone supérieurs à  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au cours d'une journée qui ont été obtenues au terme de cette étude s'articulent autour de ces principaux scénarios Type de pollution à l'ozone sur la région. Une description de ces différentes classes journalières et une tentative d'explication (hypothèses) de différenciation entre-elles et par rapport aux scénarios types sont indiquées ci-dessous.

A noter que les classes concernent le dépassement du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et non les panaches d'ozone dans leur ensemble. Avec l'approche et les données utilisées, il n'est pas possible de déterminer si ces dépassements de seuil se localisent au milieu ou sur le pourtour du panache d'ozone par exemple. L'évolution journalière des dépassements de seuils n'est ainsi pas forcément une vision stricte du développement des panaches d'ozone sur la région.

#### Classe 1 : Episode localisé à une station

Cette classe regroupe des épisodes journaliers, en moyenne de courte durée (2 heures ou moins), avec des dépassements observés que sur une station. Ces stations sont Sausset les pins, Aix en Provence, Saint Rémy de Provence ou Les Saintes Marie de la mer.

Comparativement aux autres classes, en particulier la classe 2, on peut supposer que les épisodes restent aussi localisés du fait de la période tardive de démarrage des pics d'ozone (début d'après-midi au alentour



de 14H) et du fait d'une vitesse moyenne du vent relativement importante (en moyenne 6m/s). Par ailleurs, cette vitesse est probablement plus importante les heures suivantes où les pics ne sont plus observés (effet de dilution des panaches).

Rappelons également que, pour la plupart des zones concernées (Sausset les pins, Aix en Provence, Saint Rémy de Provence et Les Saintes Marie de la mer), les dépassements réels sont peut être plus étendus que la vision ponctuelle obtenue par l'observation à ces stations.

Enfin, il est intéressant de replacer l'existence de ces journées de dépassements limitées à une station dans le cadre de la persistance de la pollution (voir fin de cette section).

### Classe 2 : Episode localisé à quelques stations proches les unes des autres sur le pourtour de l'étang de Berre

Cette classe regroupe des épisodes journaliers de pics qui se déplacent peu et restent localisés au niveau d'une zone couverte par des stations d'observation qui sont proches les unes des autres (barycentres de couleur jaune). Les zones concernées sont principalement l'ouest de l'étang de Berre (19 journées sur 25), le sud-ouest de l'étang et le nord de l'étang.

Comparativement à la classe 1, on observe une étendue plus importante des pics d'ozone. Ceci est probablement lié à un démarrage des pics plus tôt dans la journée (en moyenne entre 10H et 11H) associé à des vents plus faibles en intensité (principalement 4 m/s). Par contre, on peut supposer que les panaches d'ozone restent très localisés de part une augmentation des vitesses de vent (6m/s et plus) après le démarrage des pics qui disperse les panaches d'ozone et conduit à une limitation de l'étendue et du nombre de dépassements de la valeur seuil de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Logiquement, on observe que la durée moyenne des épisodes est courte (de l'ordre de 2 heures). On peut noter également que la température moyenne observée comprend des températures de 25°C, contrairement aux autres classes. Ces plus faibles températures peuvent aussi expliquer la limitation de l'étendue géographique des zones de dépassements, des températures « faibles » étant peu favorables à la production d'ozone. Enfin, il est possible qu'en fin d'épisode, les panaches d'ozone se déplacent selon la verticale et que les maximums (du moins les valeurs supérieures à 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ne soient plus en surface mais en altitude (au-dessus des capteurs).

Il est aussi intéressant de replacer l'existence de ces journées de dépassements limitées à des stations proches les unes des autres dans le cadre de la persistance de la pollution (voir fin de cette section).

### Classe 3 : Episode localisé à l'est de l'étang de Berre

Cette classe regroupe des épisodes qui restent localisés à l'est de l'étang de Berre, avec parfois une étendue spatiale relativement importante.

Ces épisodes ont une durée moyenne de 4 à 6 heures, avec un démarrage en matinée (entre 9H et 12H) ; tandis que la vitesse moyenne du vent est comprise entre 4 et 6 m/s. La température moyenne est également importante, entre 30°C et 35°C. On peut noter que 6 des 20 épisodes observés correspondent à une persistance d'un jour sur l'autre (associé logiquement à un démarrage parfois à 8 heures du matin). Il est possible que, comparativement à la classe 2, les températures observées plus fortes correspondent à des effets de stratification thermique plus importants, et ainsi que (i) les panaches soient confinés plus longtemps au niveau de la surface et que (ii) les conditions météorologiques favorisent une extension spatiale importante des pics. Enfin, il est difficile de discriminer une situation particulière en terme de direction de vent, le vent observé (à partir des stations disponibles) étant essentiellement de sud/sud-ouest.





#### Classe 4 : Episode large localisé sur le pourtour de l'étang de Berre

Cette classe regroupe des épisodes qui sont localisés sur le pourtour de l'étang de Berre, avec parfois des épisodes relativement stagnants sur une zone, et parfois des épisodes qui se déplacent sur ce pourtour. Il est fort probable que les enchaînements observés entre des barycentres de couleur jaune et rouge correspondent en réalité à des concentrations qui oscillent autour de la valeur seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ce qui conduit avec notre méthodologie à la présence ou non d'un pic, et donc d'une étendue associée à chaque barycentre plus ou moins importante) et éventuellement à des panaches qui se déplacent selon la verticale de manière plus ou moins marquée.

Par rapport à la classe précédente, outre une localisation géographique du premier pic qui est variable autour de l'étang, on peut noter la plus grande prépondérance des vents de  $6\text{m/s}$ , avec une direction moyenne plus sud et une température moyenne de l'ordre de  $30^\circ\text{C}$ . Néanmoins, ces seuls paramètres ne permettent pas d'expliquer les différences avec les autres classes. Seule la vitesse moyenne légèrement plus sud peut traduire un vent oscillant, et ainsi une localisation du centre du panache qui se déplace autour de l'étang. Enfin, on peut remarquer que, sur les 46 jours qui composent cette classe, 29 jours correspondent à des journées successives de dépassement qui peuvent regrouper parfois 3 ou 4 jours. C'est la seule classe journalière où la persistance observée est plus grande que 2 jours consécutifs.

#### Classe 5 : Episode démarrant sur la côte et pénétrant dans les terres

Cette classe regroupe des épisodes dont le démarrage est observé, en moyenne entre 11H et 12H, au niveau de Sausset Les Pins (et probablement, dans la réalité, sur toute la côte). Le panache d'ozone pénètre ensuite dans les terres. Sur les 8 journées présentes dans cette classe, on peut observer que 3 d'entre elles correspondent à un épisode qui se termine vers Aix en Provence (en accord avec le changement de direction de vent, voir ci-dessous), et que 4 journées correspondent à l'été 2003.

Tout comme la classe précédente, on observe des directions moyennes du vent de  $225^\circ$ , mais également des directions allant entre  $270^\circ$  et  $360^\circ$ . On peut supposer que ces épisodes sont associés à des journées où les phénomènes de brise de mer sont importants en matinée (avec des vitesses faibles), et au cours de la journée, au fur et à mesure de la pénétration des panaches, la direction du vent (relativement sud au niveau de la côte) tourne pour prendre une direction plus sud-ouest/ouest sur le continent (et une vitesse plus importante). Les épisodes démarreraient alors sur la côte au moment de la bascule de brise de terre à brise de mer. On notera que la vitesse du vent est en moyenne de  $6\text{m/s}$ , mais atteint parfois des vitesses de l'ordre de  $12\text{m/s}$ .

#### Classe 6 : Episode localisé à l'est de l'étang de Berre et se terminant vers Aix en Provence

Cette classe regroupe des épisodes similaires à ceux de la classe 3 avec, en plus, un déplacement observé vers Aix en Provence, ou du moins vers le nord-est dans la réalité. Par rapport aux épisodes de la classe 3, ces épisodes commencent plus tôt (avant 13H), et sur les 23 journées concernées, 9 correspondent à des épisodes de persistance sur deux jours consécutifs.

Sur la base des paramètres disponibles et étudiés, il est difficile d'expliquer pourquoi un tel déplacement vers Aix en Provence est observé par rapport à la classe 3. Mais il est probable que des effets de canalisation des champs de vent par le relief soient associés à ce déplacement des panaches vers le nord-est.

#### Classe 7 : Episode démarrant dans les terres et se terminant sur la côte

Cette classe concerne des épisodes qui, généralement, débutent dans les terres et se terminent vers la côte (avec des pics observés au niveau de la seule station côtière qu'est Sausset les Pins). Peu de caractères



particuliers sont associés à cette classe, hormis une durée relativement longue (jusqu'à 12H) pour des épisodes ne débutant qu'en matinée.

On peut supposer que cette typologie est associée éventuellement à des périodes de fin de Mistral (vent de nord-ouest) ou alors à des phénomènes de retournement de brise en fin d'après-midi qui ramènent les panaches vers la côte.

#### Classe 8 : Episode localisé autour de l'étang de Berre et se terminant vers Saint Rémy de Provence

Cette classe regroupe des épisodes journaliers avec généralement un démarrage dans les terres (principalement à l'ouest de l'étang de Berre) aux alentours de 10H du matin, puis une extension spatiale relativement importante au cours de journée, et un épisode qui se termine vers Saint Rémy de Provence (ou du moins vers le nord/nord-ouest de la région).

A partir de la direction moyenne du vent observé sur la zone, il est difficile d'expliquer un tel déplacement, bien que la direction prépondérante est de 225° (c'est à dire une direction plus sud que pour certaines directions associées à d'autres classes), ce qui n'est pas une direction de vent de sud-est (il faut noter également que parmi les stations de mesures à notre disposition, la station la plus au « Nord » est Salon de Provence : il est donc difficile d'affirmer que le vent n'est pas de sud/sud-est dans la partie nord-ouest du domaine). D'autres phénomènes physiques doivent également conditionner un tel déplacement, tels que des effets de différences de température entre le nord-ouest de la région et la zone de l'étang de Berre, ou des effets de canalisation par le relief. En outre, il ne faut pas oublier qu'il est possible que le déplacement de l'épisode ne soit pas strictement vers le nord-ouest, mais plus généralement vers le nord de la région (plus en accord avec une direction de 225°), ce qui ne peut pas être observé compte tenu de la localisation des stations de mesures d'ozone disponibles et utilisées dans cette étude.

#### Classe 9 : Episode englobant toute la zone d'étude

Cette dernière classe regroupe, presque de manière exhaustive et exclusive, tous les épisodes journaliers présentant un dépassement généralisé sur toute la région (barycentre noir). Les épisodes débutent en matinée, sont relativement de longue durée, et sont associés à des températures élevées (35°C en moyenne). D'ailleurs, il est important de noter que 11 des 19 épisodes ne concernent que l'été 2003.

Par rapport à certains épisodes d'autres classes, on peut supposer un effet de stabilité thermique très important qui limite la dispersion verticale des panaches et permet de les confiner plus longtemps et plus largement au niveau de la surface, ce qui conduit à ces observations de surface plus étendues spatialement.

#### Commentaires sur la persistance :

Pour la période qui a été étudiée, il est intéressant d'analyser les périodes de persistance de dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup>, en particulier si ces périodes de persistance concernent principalement une ou plusieurs des typologies journalières décrites ci-dessus.

Sur les 191 journées recensées, de nombreuses journées font partie d'une période de persistance, c'est à dire que ces journées sont suivies ou suivent une journée présentant également un dépassement. Les périodes de persistance sont plus ou moins longues et suivent la répartition suivante :



- 22 périodes de persistance sur 2 jours, soit 44 jours concernés,
- 5 périodes de persistance sur 3 jours, soit 15 jours concernés,
- 4 périodes de persistance sur 4 jours, soit 16 jours concernés,
- 3 périodes de persistance sur 5 jours, soit 15 jours concernés,
- 2 périodes de persistance sur 6 jours, soit 12 jours concernés,
- 3 périodes de persistance sur 7 jours, soit 21 jours concernés,
- 1 période de persistance sur 15 jours, cette période concerne le mois d'août 2003.

Le nombre de jours faisant partie d'une période de persistance est de 138, ce qui représente plus de 70% des journées pour lesquelles un dépassement de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est observé. Ceci montre l'importance de la persistance pour que cette valeur seuil soit dépassée. Par contre, la répartition de ces 138 jours au sein des différentes typologies journalières est relativement équivalente et uniforme.

Si on s'intéresse aux typologies 1 et 2 (dépassement limité à une station ou quelques stations proches), sur les 47 journées concernées, 18 (38%) sont des journées isolées et 29 (62%) sont des journées incluses dans une période persistance. Les journées qui suivent ou précèdent ces journées de la typologie 1 ou 2 sont alors majoritairement des journées des autres typologies.



## 3. Conclusions



### 3. Conclusions

L'objectif de cette étude était d'établir une classification temporelle de l'enchaînement des épisodes horaires de pollution à l'ozone sur la zone d'intervention d'AIRFOBEP.

A partir d'une base de données d'observations d'ozone couvrant la période 2000 à 2005, il a été sélectionné un sous-ensemble répondant à certains critères dans le cadre d'une étude du dépassement du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ces critères sont nécessaires entre autre pour l'application d'un premier traitement statistique, au moyen d'une classification hiérarchique ascendante, qui a pour objet de regrouper les échéances temporelles ayant des caractéristiques similaires. A cette fin, nous avons choisi d'associer à chaque échéance temporelle, 4 caractères qui permettent de décrire l'étendue géographique où des dépassements sont observés. Au terme de cette classification, 16 classes ont été obtenues, dont une classe dite atypique.

A partir de ces typologies horaires, il est possible de caractériser chaque journée de pollution (191 journées) qui est alors réduite à un ensemble restreint de paramètres indiquant la succession des typologies horaires de pollution rencontrées au cours de la journée. La détermination de famille d'épisodes journaliers de pollution est désormais réalisable en associant les événements caractérisés par le même ensemble d'indicateurs (ou par des indicateurs proches).

Cependant, cette classification n'a pu être réalisée par une approche mathématique et une méthode manuelle a été appliquée : elle repose sur une représentation simplifiée et concise de chaque épisode de pollution sous la forme d'une cartographie unique schématisant la succession des différents états de pollution et, pour chacun d'eux, la localisation et l'étendue de la zone impactée. La comparaison de ces cartographies a pu aboutir à la constitution d'une classification des épisodes pollués d'ozone. Dix classes ont été ainsi construites, dont une classe d'épisodes « atypiques » qui ne concerne que 6 journées. Les 185 autres journées ont alors regroupé sous 9 typologies journalières, et une tentative d'explication sur l'existence de cette classification a été tentée. Cette tentative repose sur la répartition de l'apparition de certains paramètres au cours de chaque typologie : la vitesse moyenne du vent sur la zone d'étude pour chaque échéance horaire de dépassement, la température moyenne sur la zone d'étude pour chaque échéance horaire de dépassement, l'heure d'apparition de la première typologie horaire de dépassement, ...

Enfin, une représentation graphique relativement concise a été construite pour décrire l'évolution temporelle des pics d'ozone pour chacune des 9 typologies journalières.



## ■ Table des figures

<b>Figure 1</b> – Localisation des stations d'observation en ozone utilisées par la CAH .....	10
<b>Figure 2</b> - Niveau d'agrégation (%) en fonction du nombre de classes au terme de la CAH .....	11
<b>Figure 3</b> - Exemples de visualisation de l'évolution journalière des zones de dépassement du seuil de 180 µg/m <sup>3</sup> pour les journées du 17 juin 2002 (à gauche) et du 16 août 2000 (à droite) .....	13



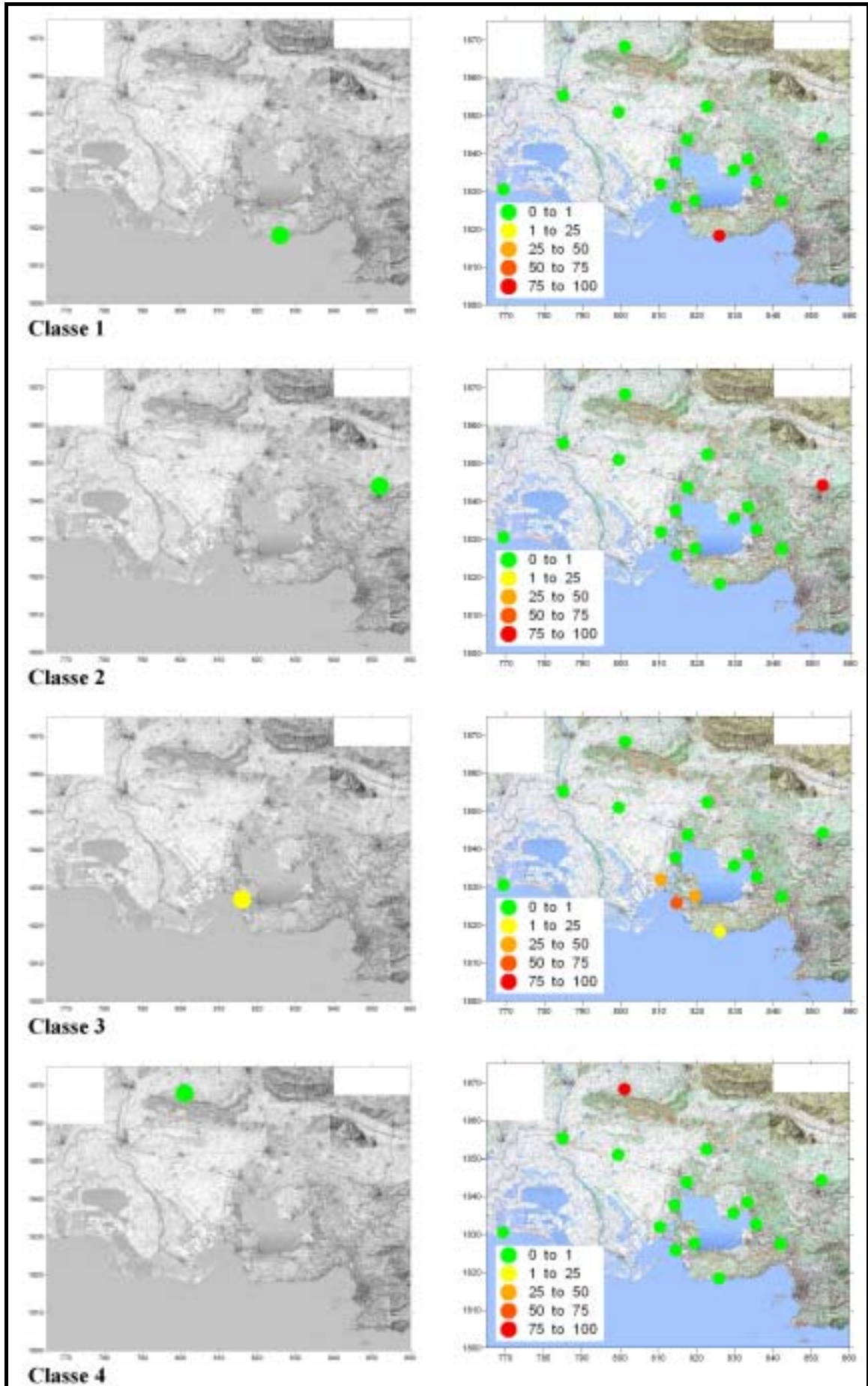
## ■ Table des tableaux

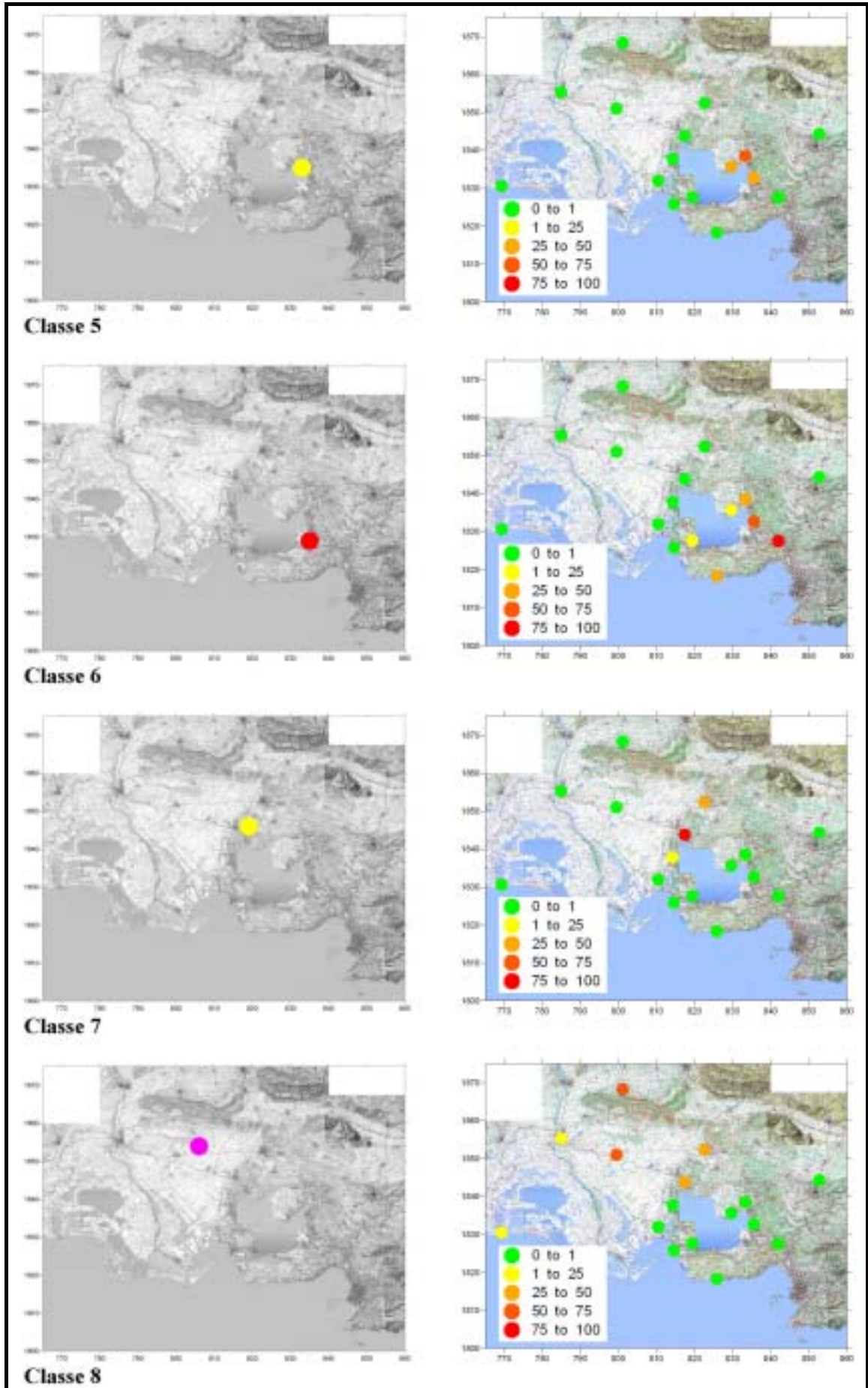
**Tableau 1** – Effectif des 16 classes horaires en sortie de la CAH .....11



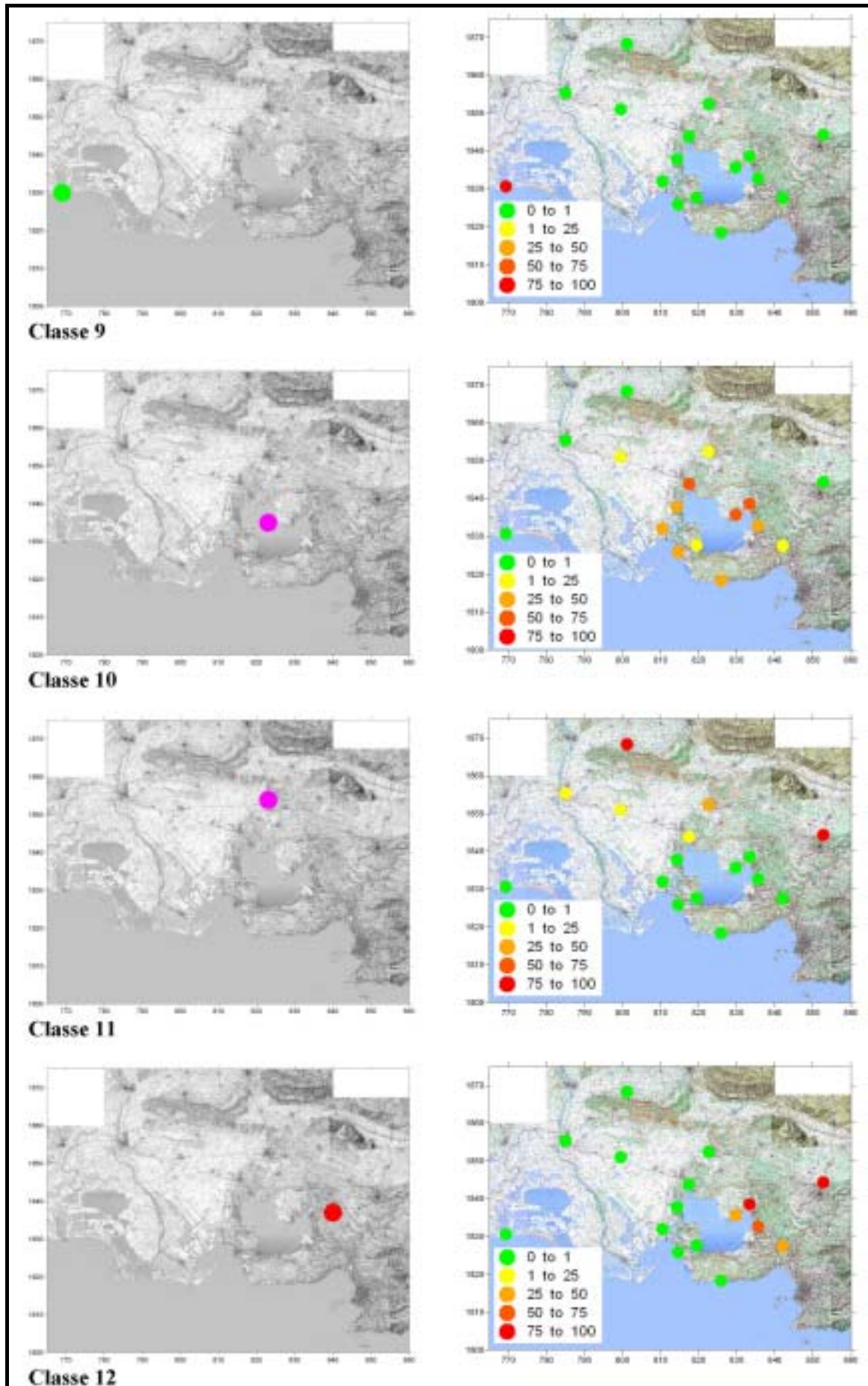
## ■ ANNEXE CARTOGRAPHIQUE











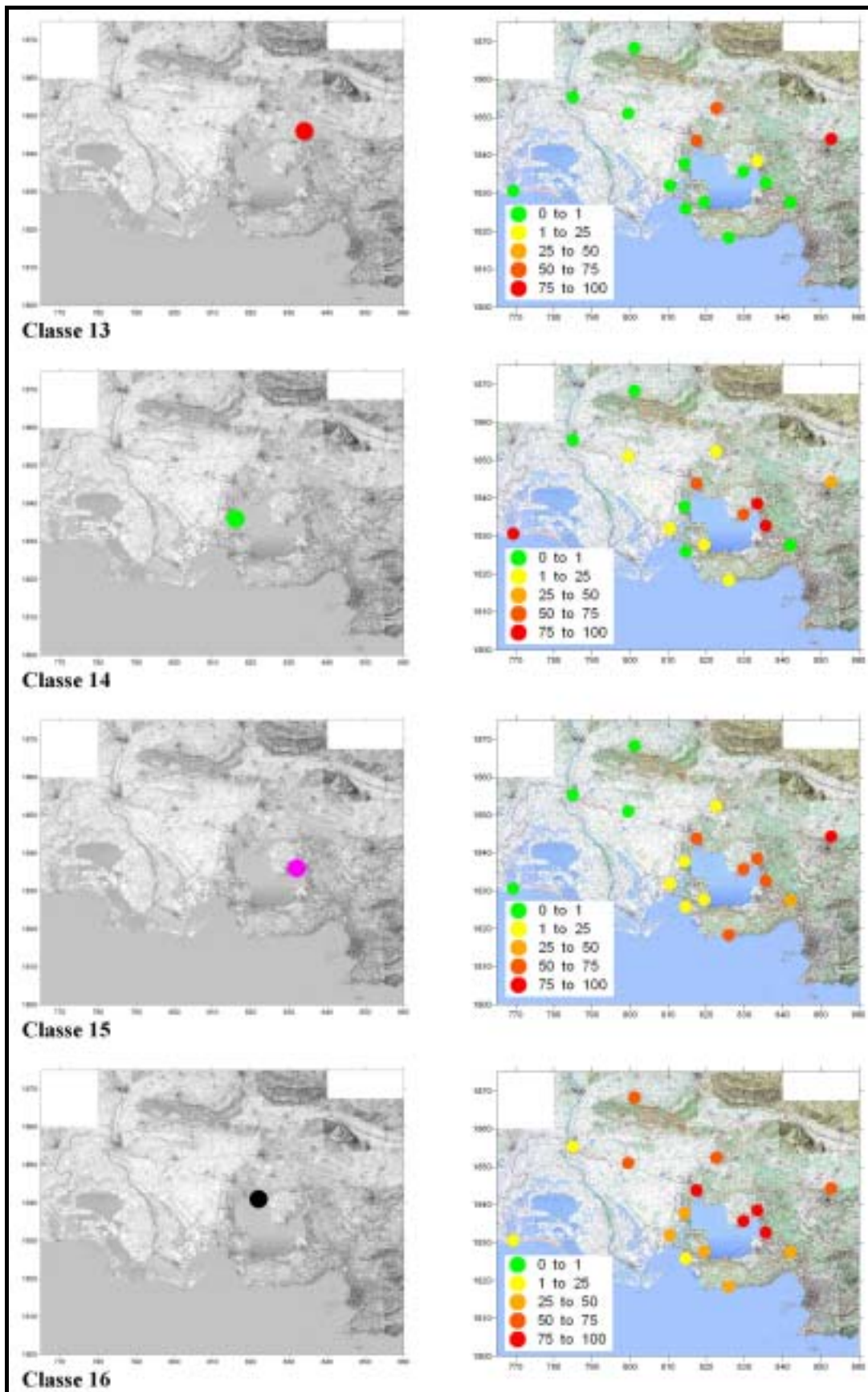
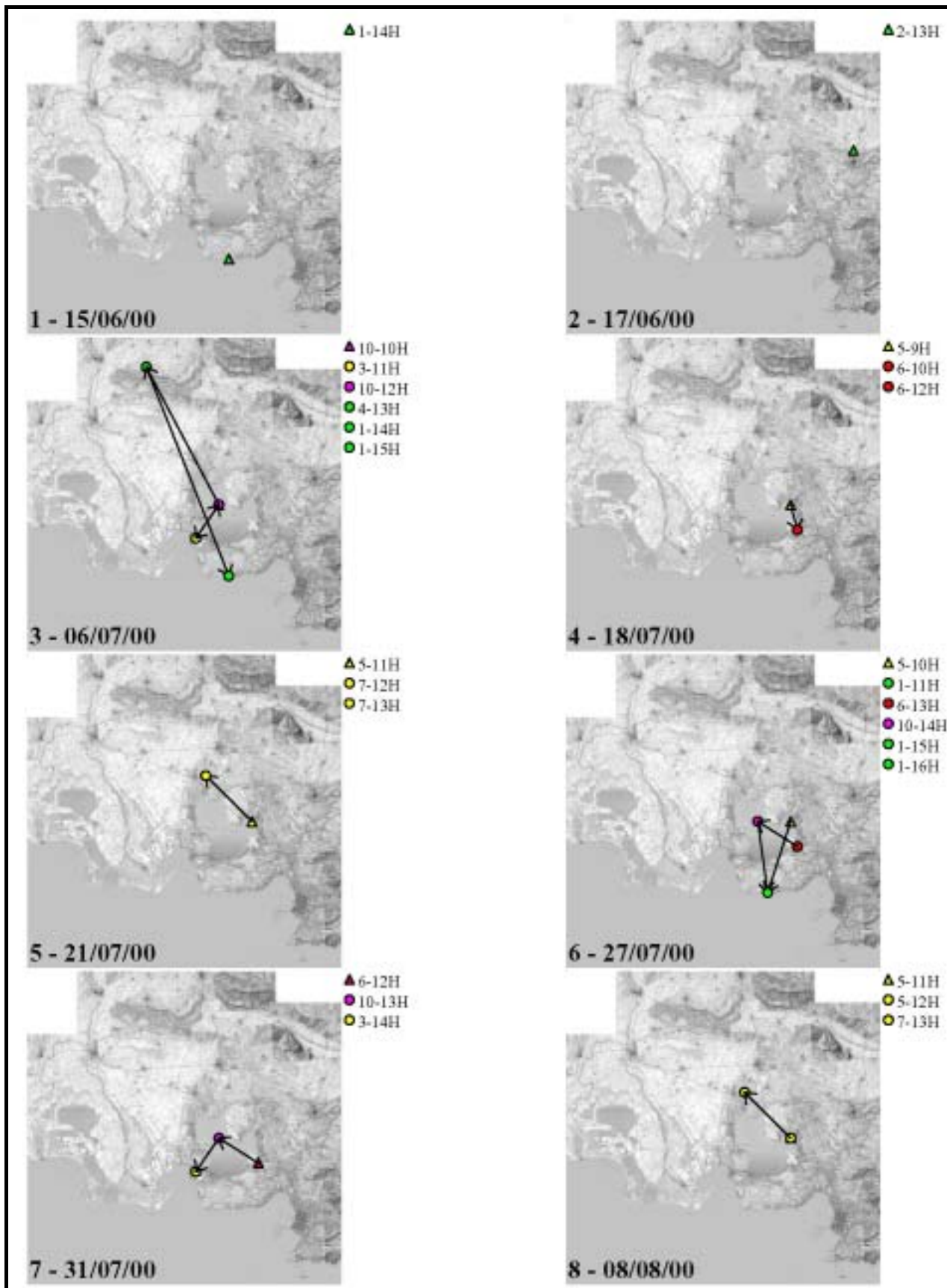
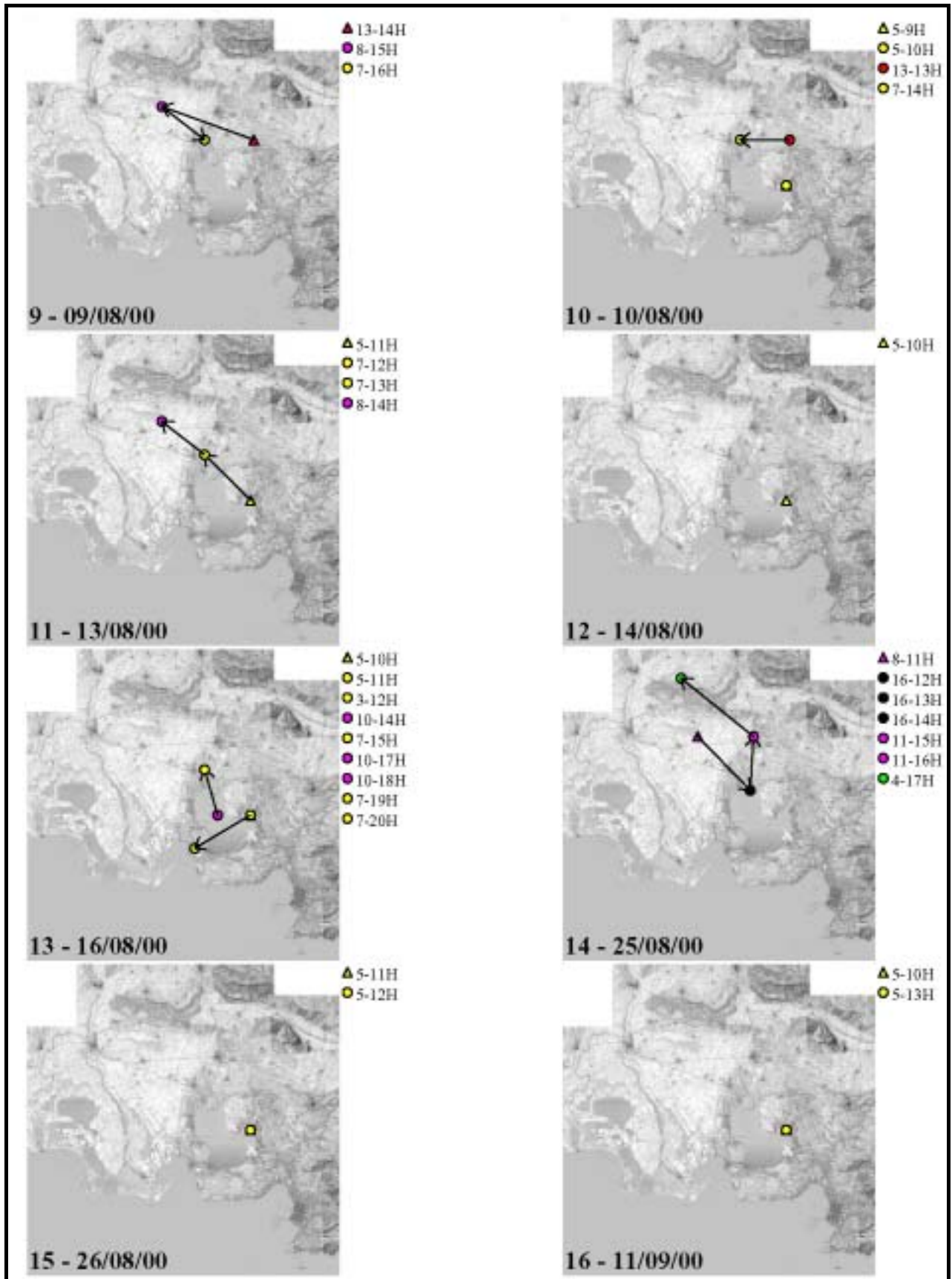
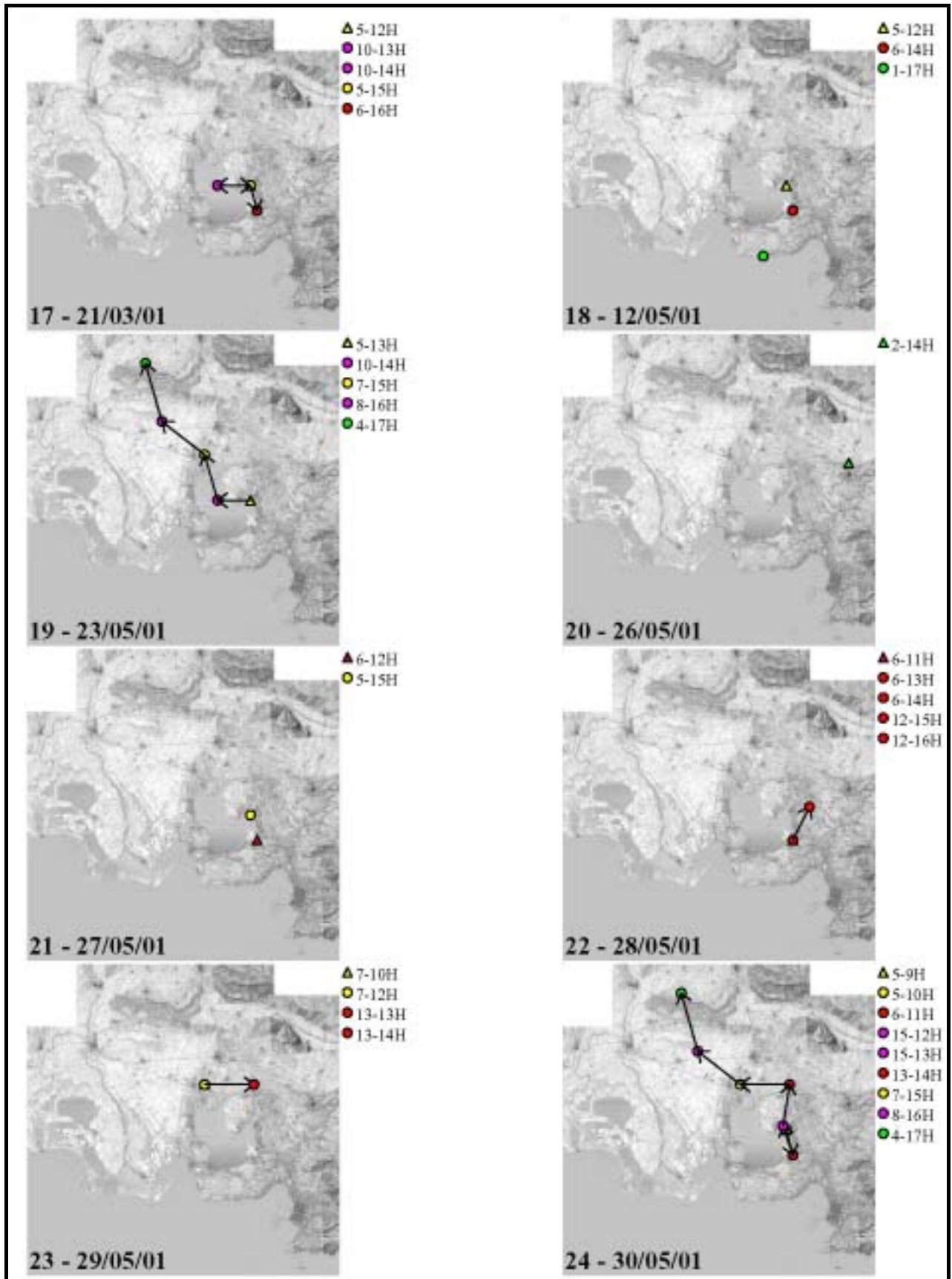


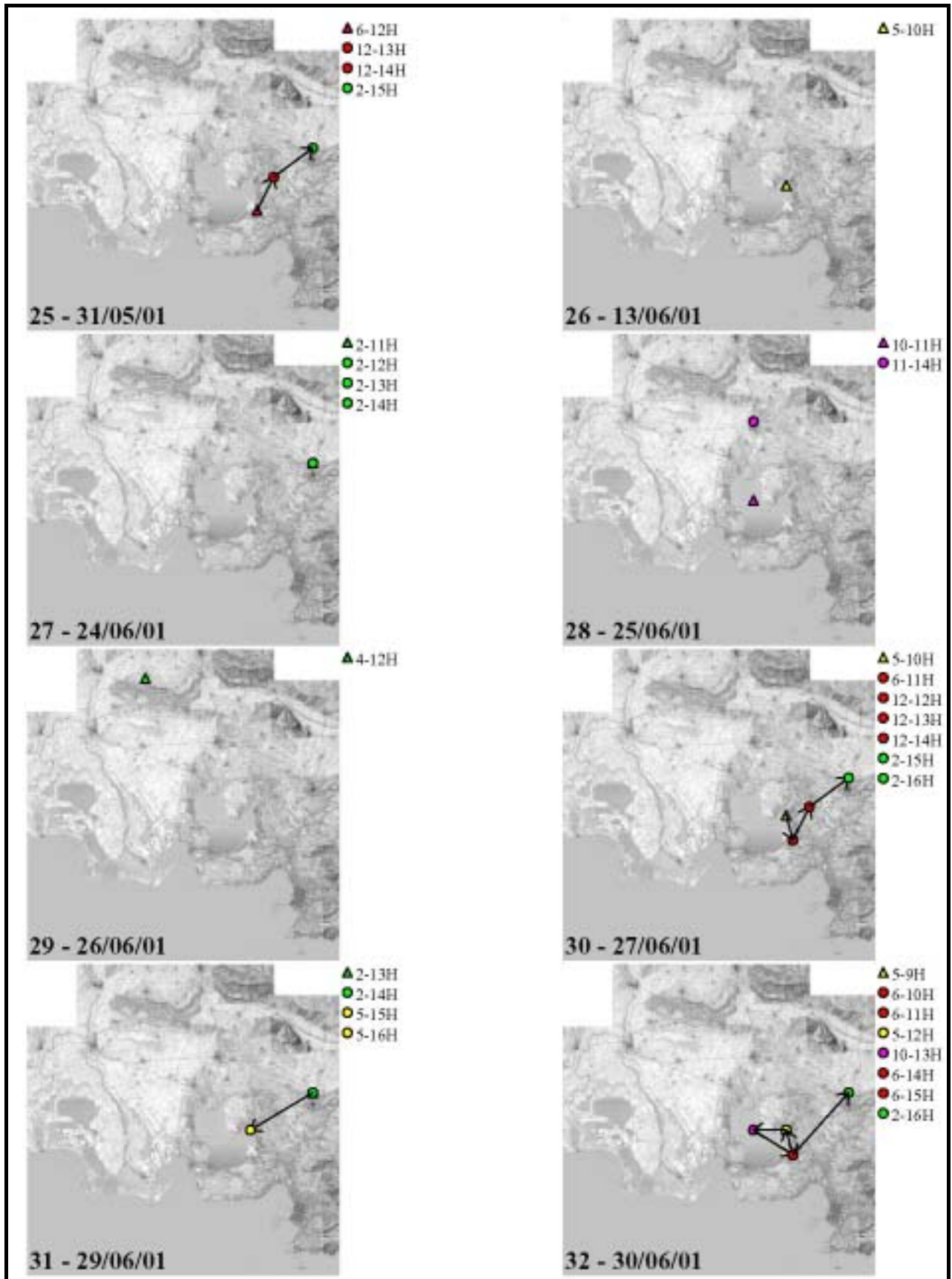
Figure A.1 – Barycentres (à gauche) associés à chacune des 16 classes d'épisodes horaires de dépassement du seuil de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (à droite). La couleur du barycentre représente l'étendue géographique des stations qui dépassent le seuil, couleur allant de vert (une station) à noir (toute la zone), en passant par jaune, rouge puis violet. Pour chacune des classes d'épisodes horaires, la couleur associée à chaque station représente la fréquence de dépassement du seuil.



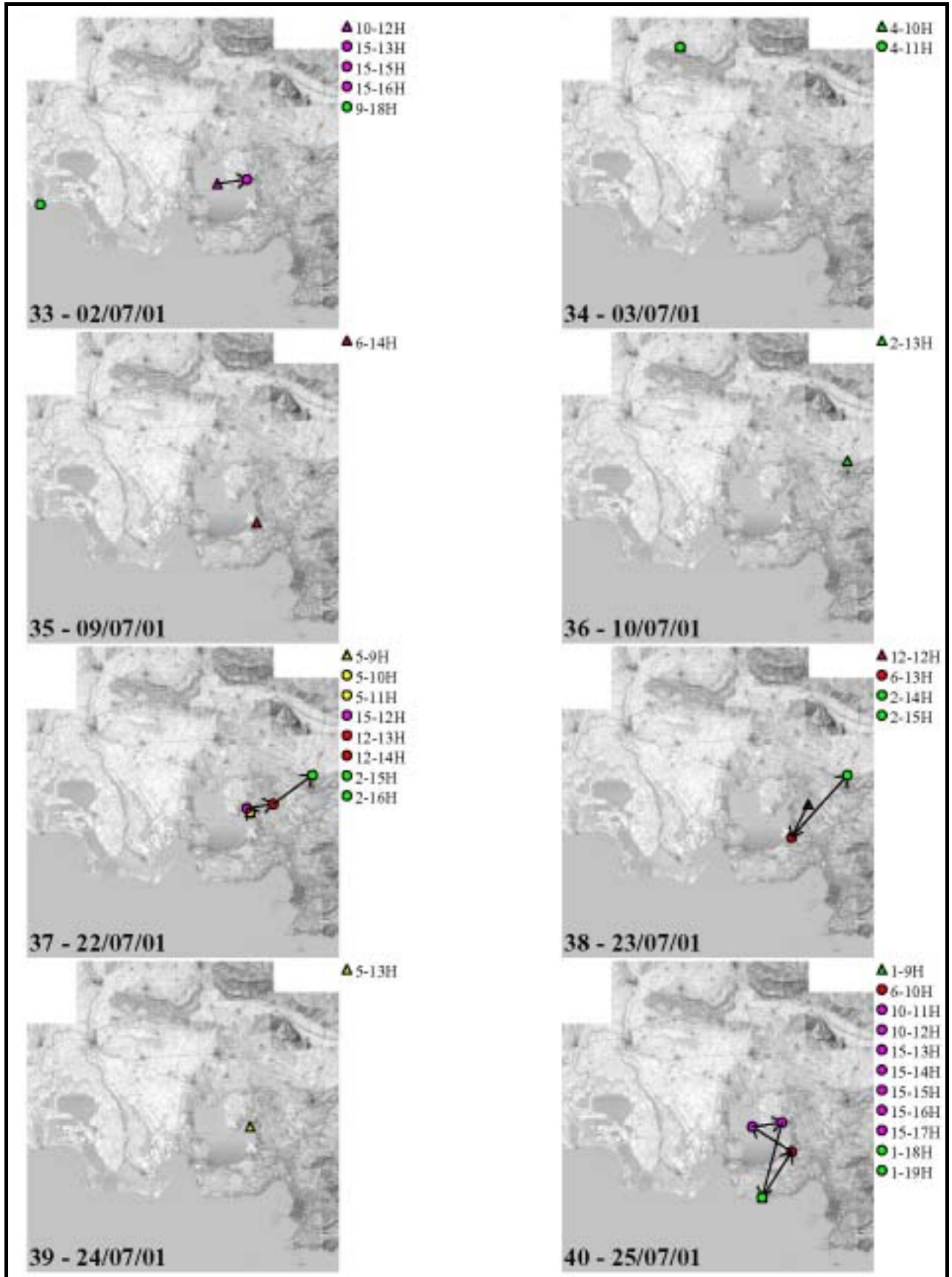


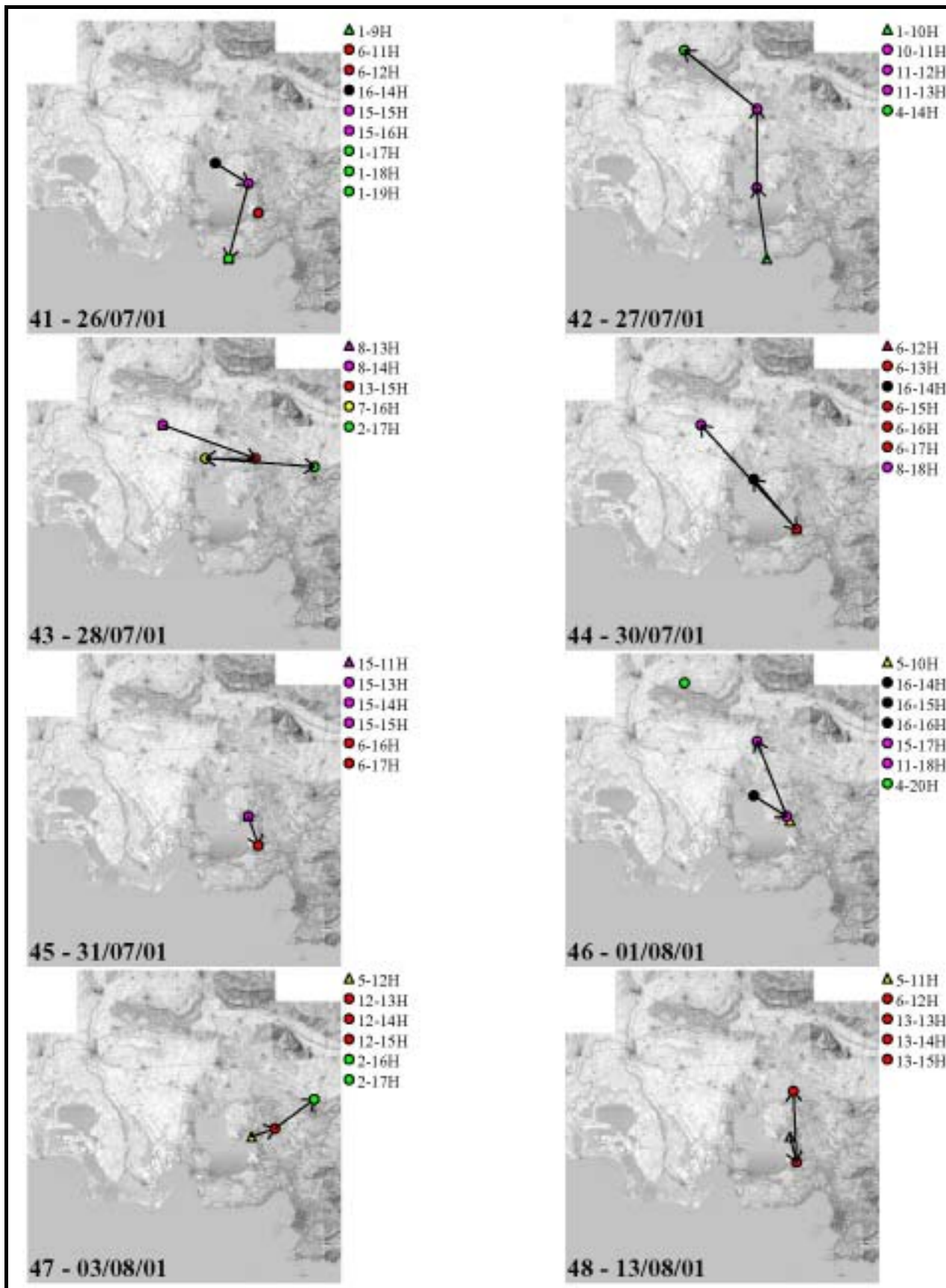


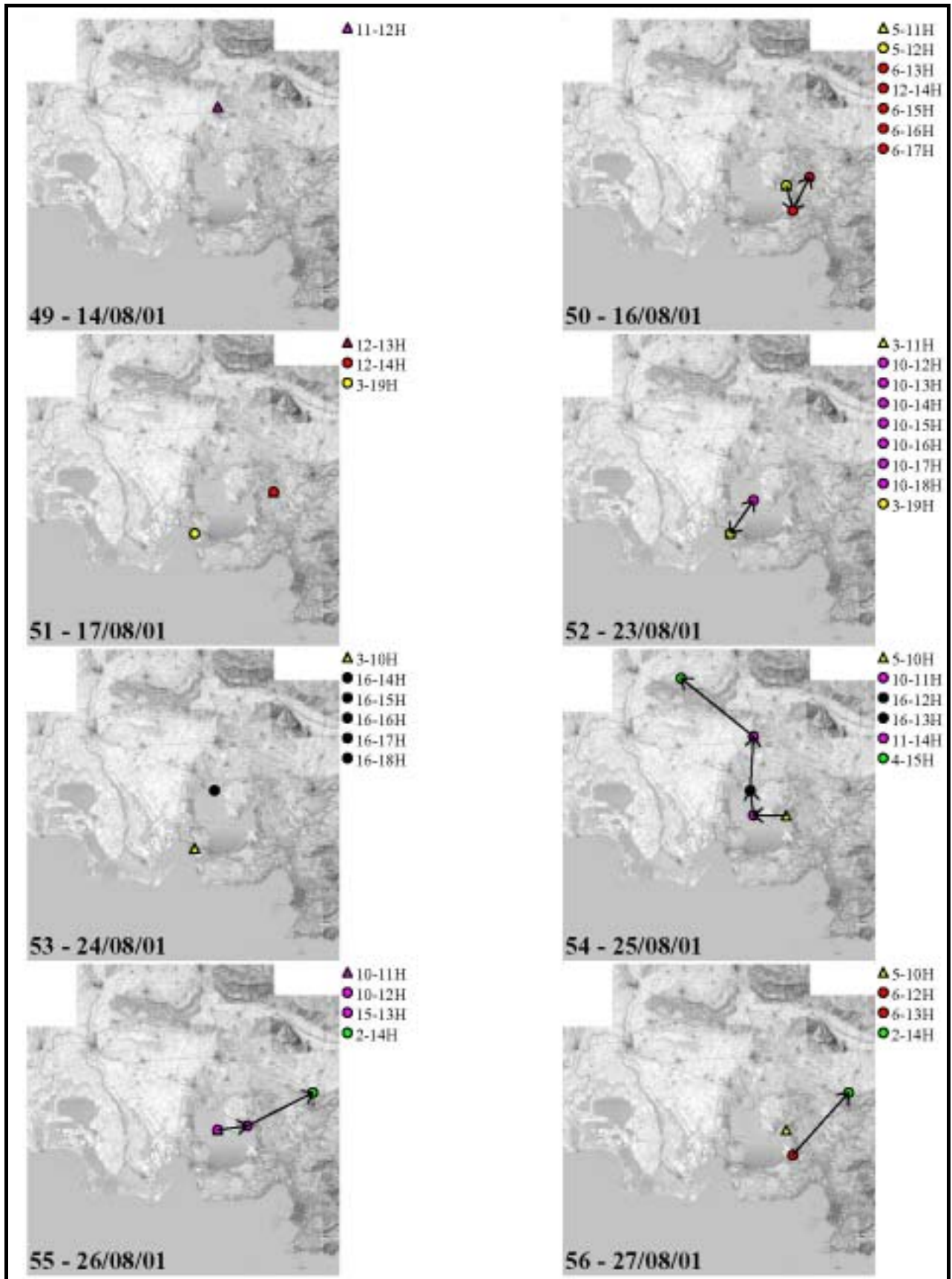




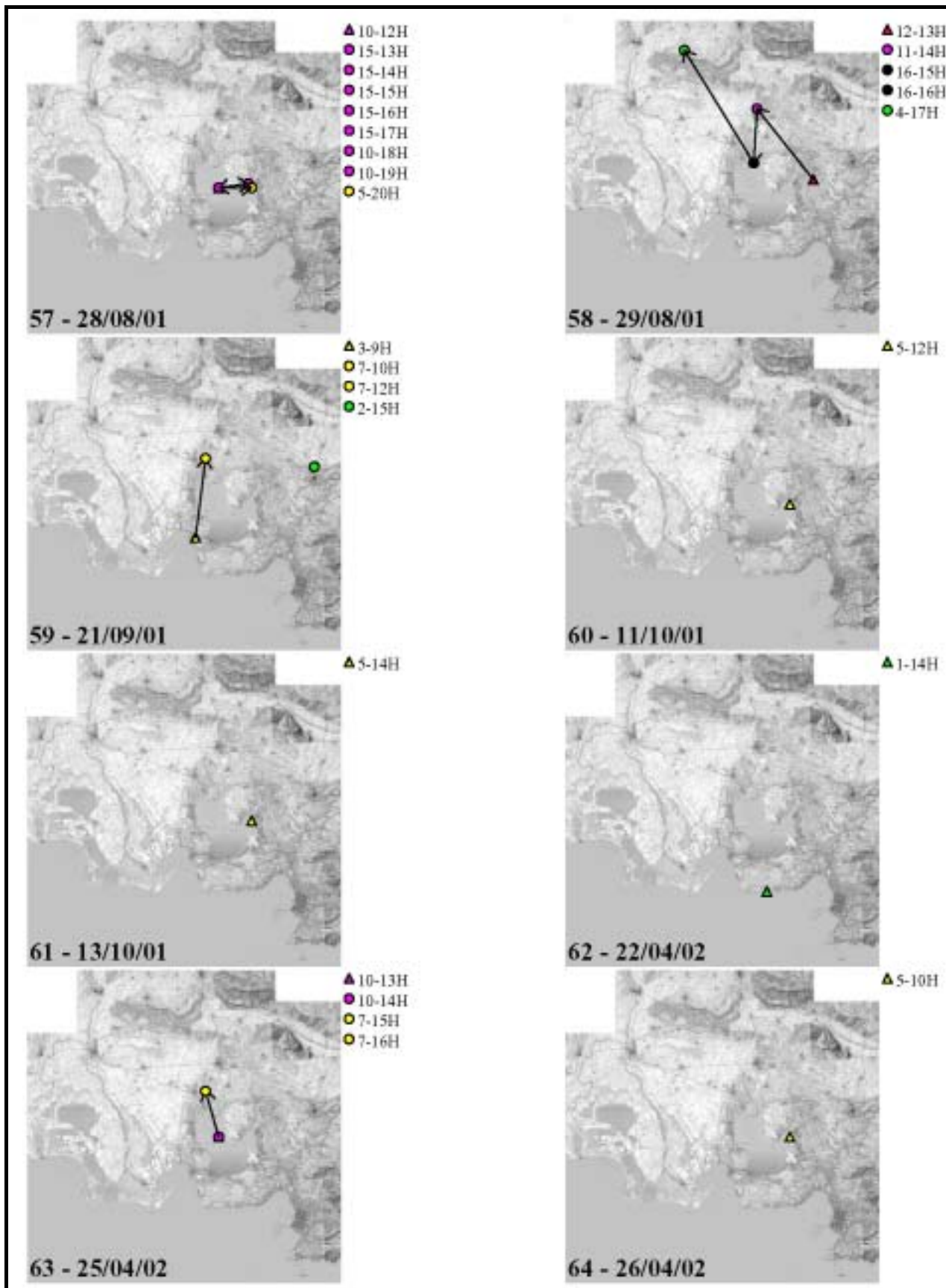


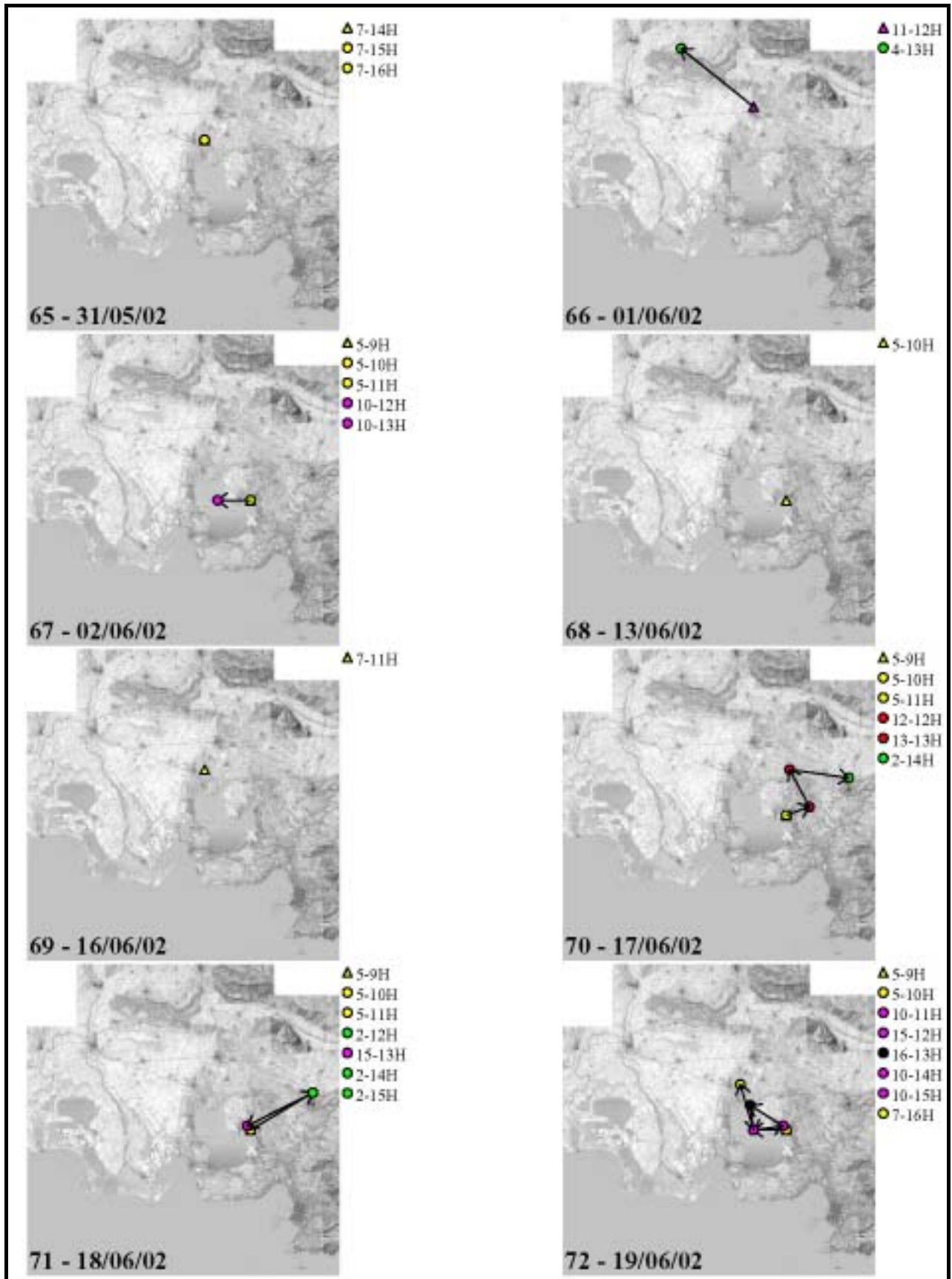


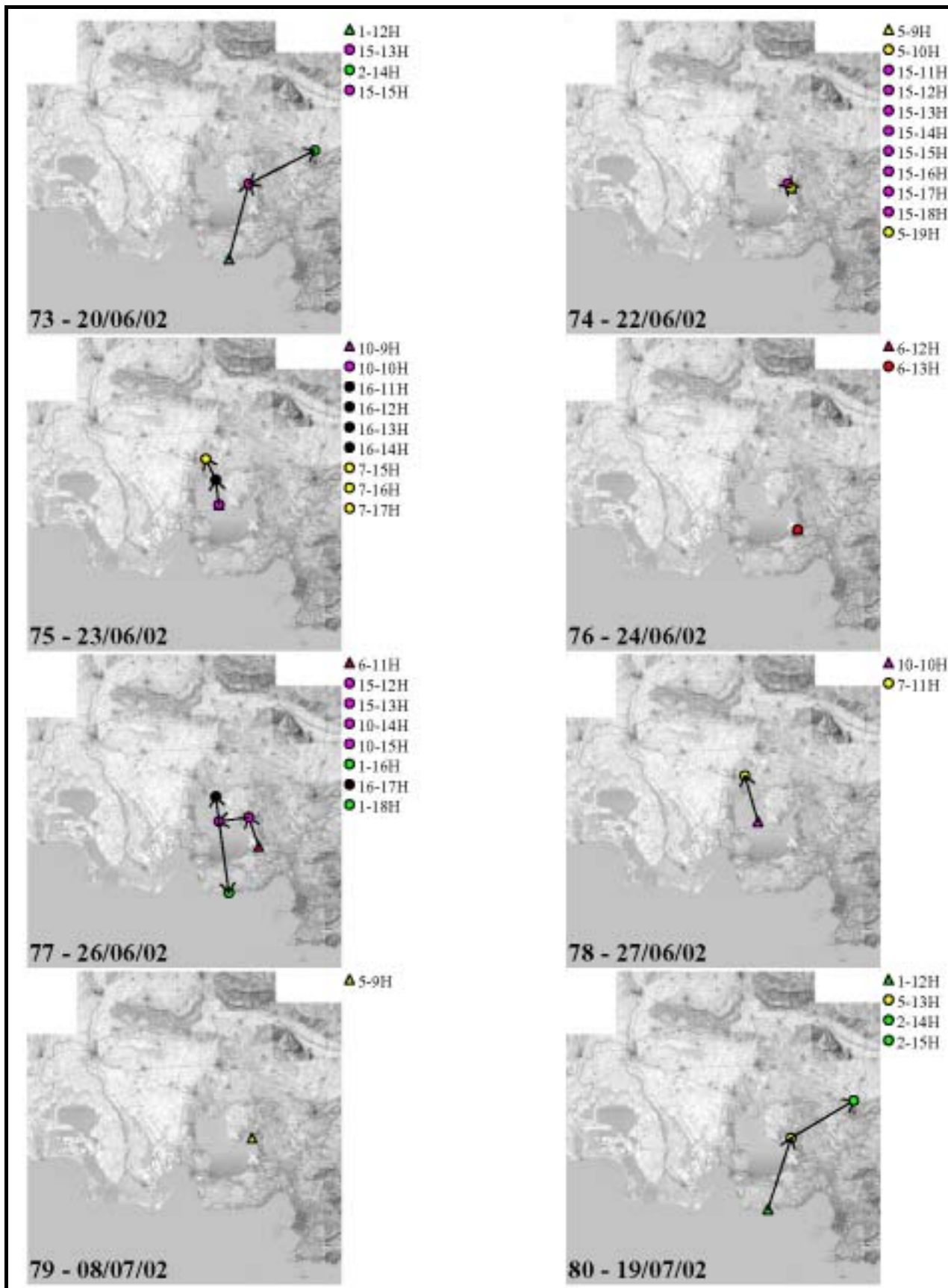




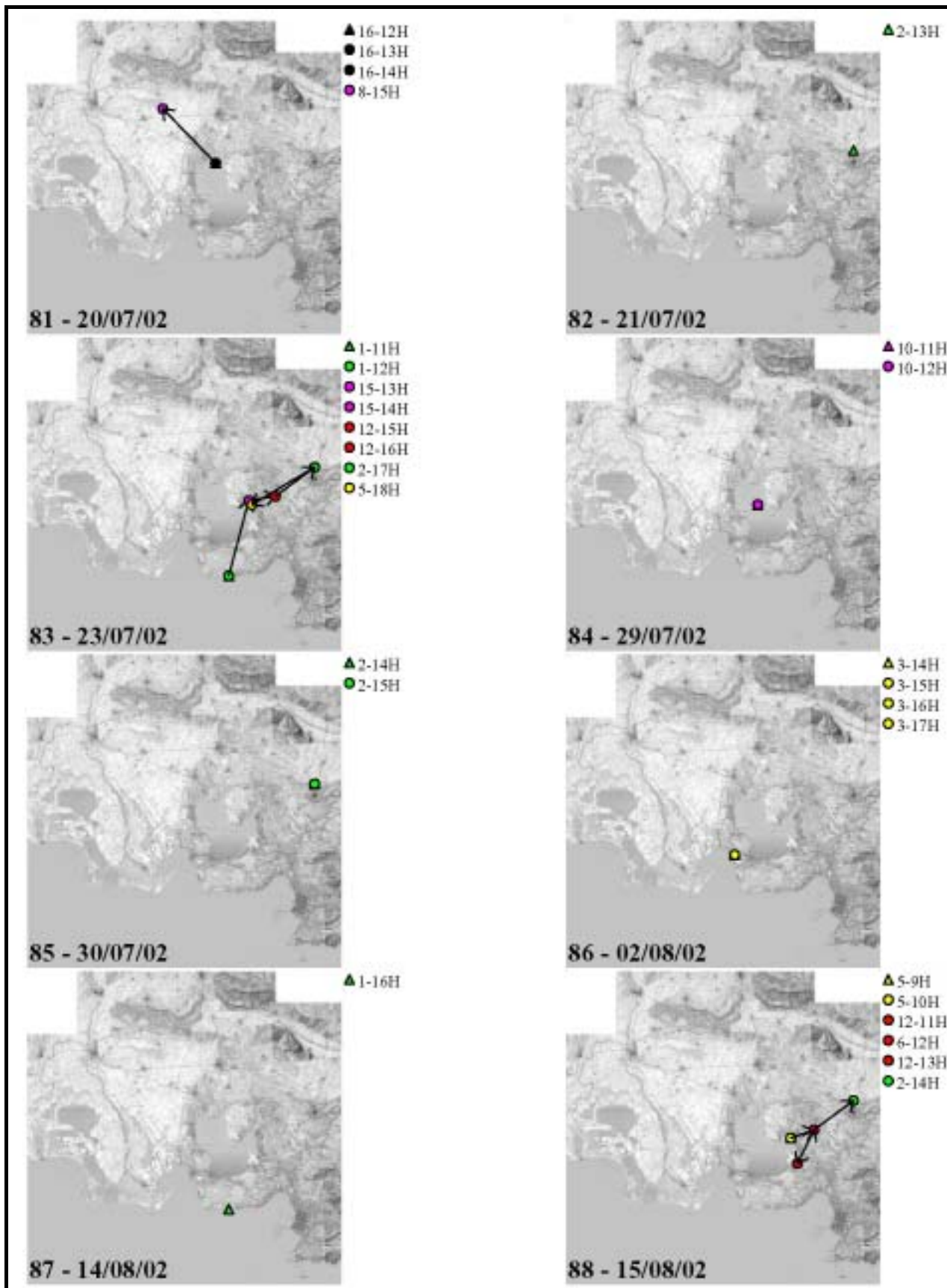


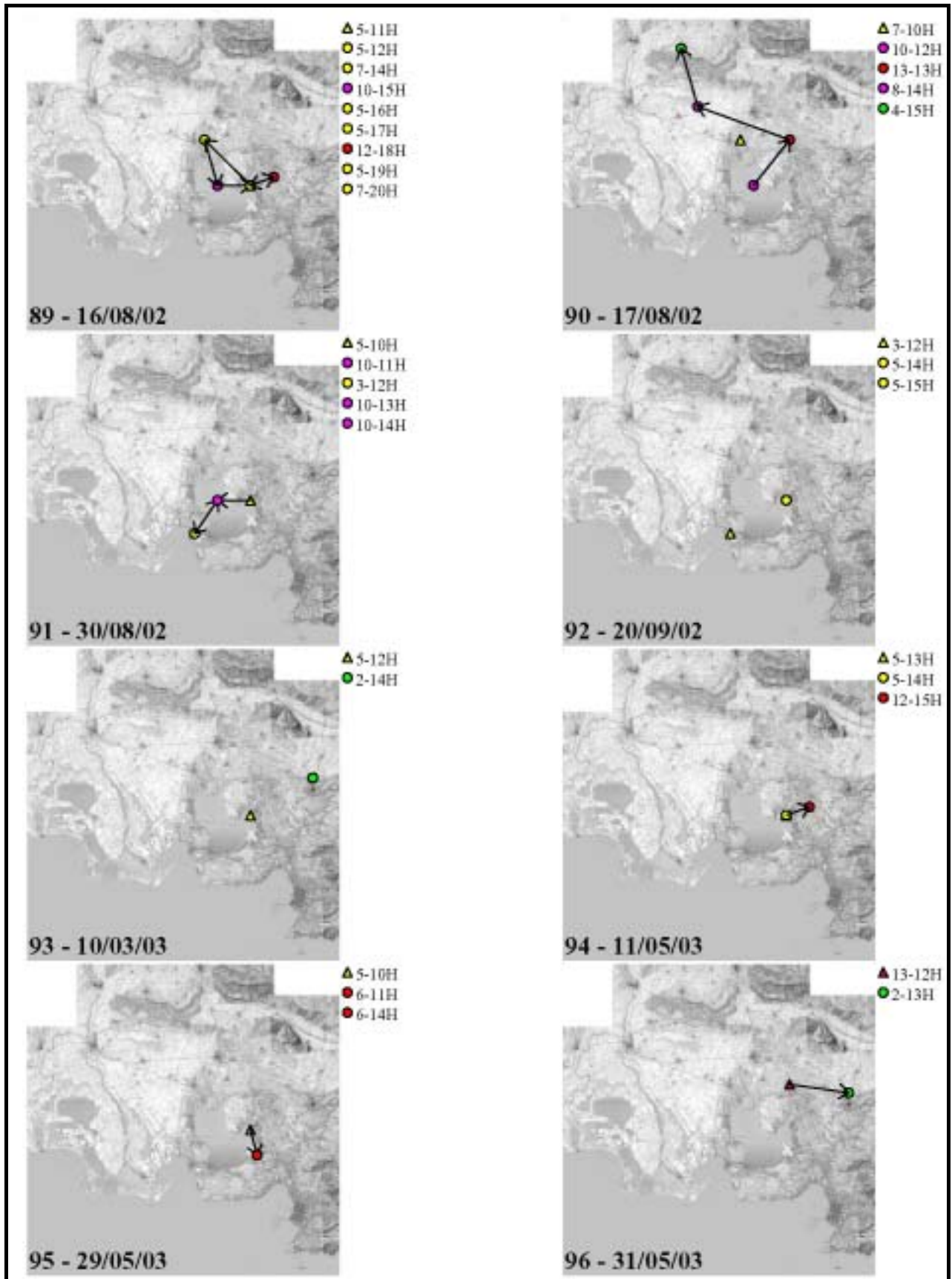




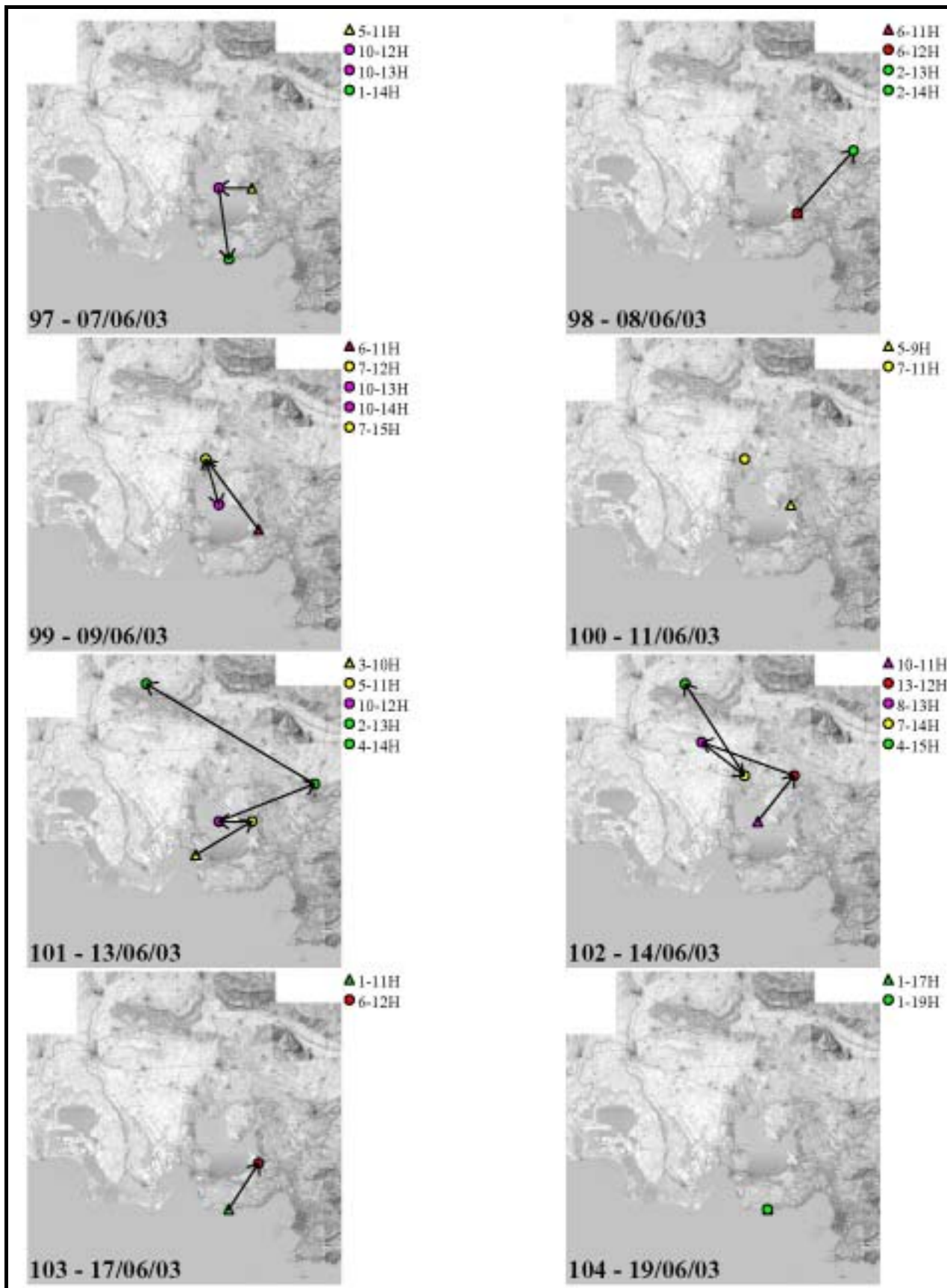


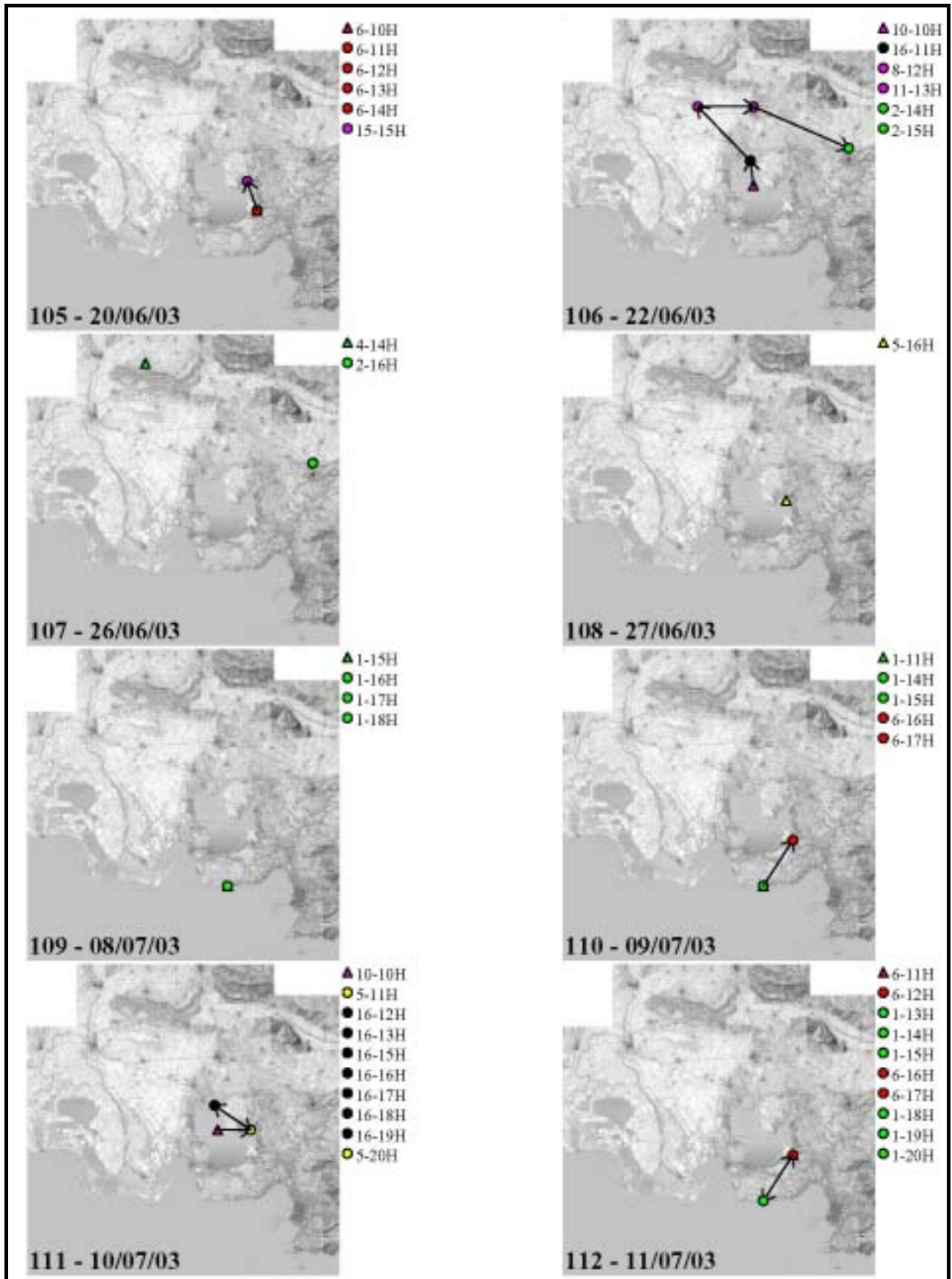


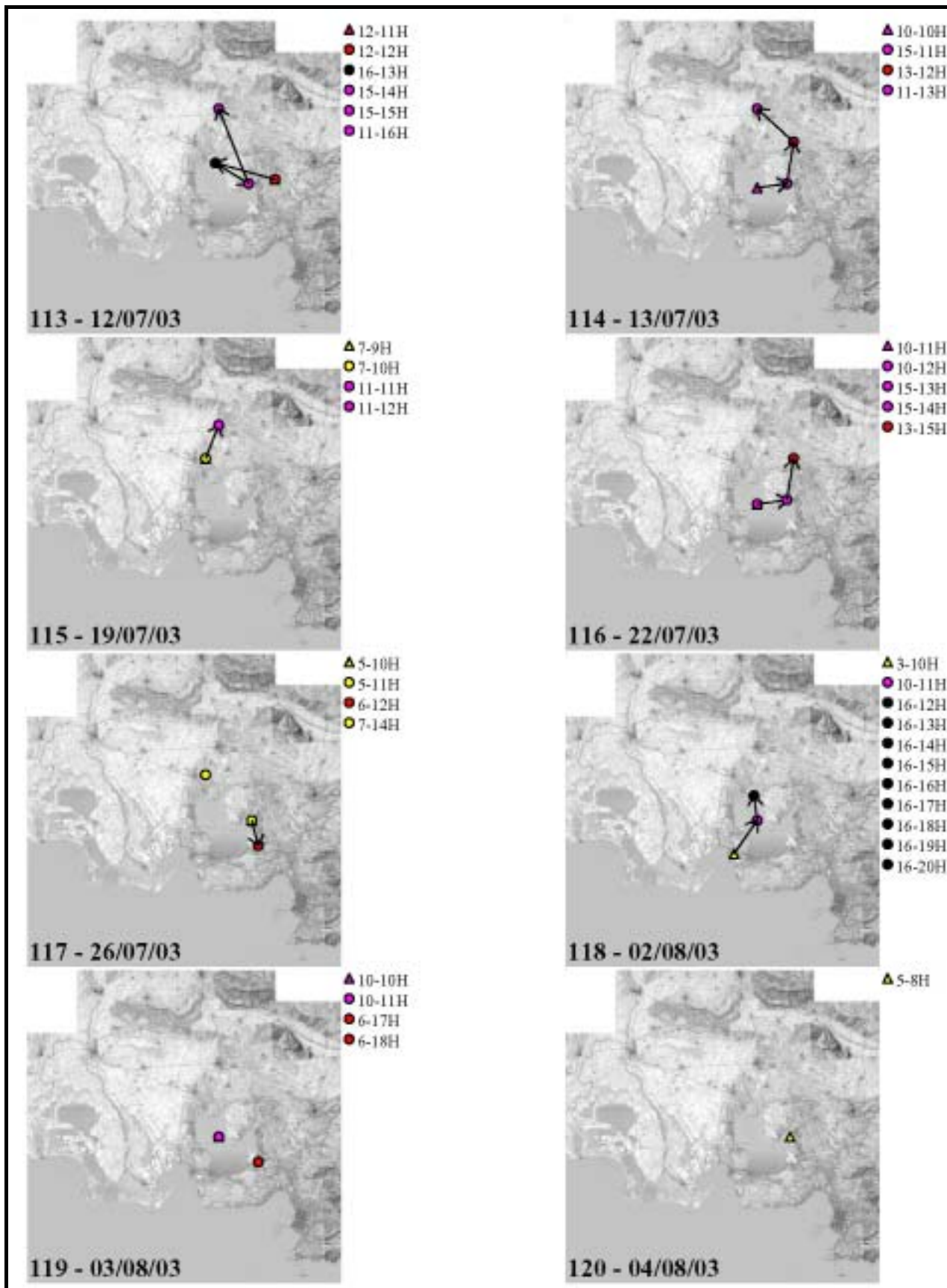




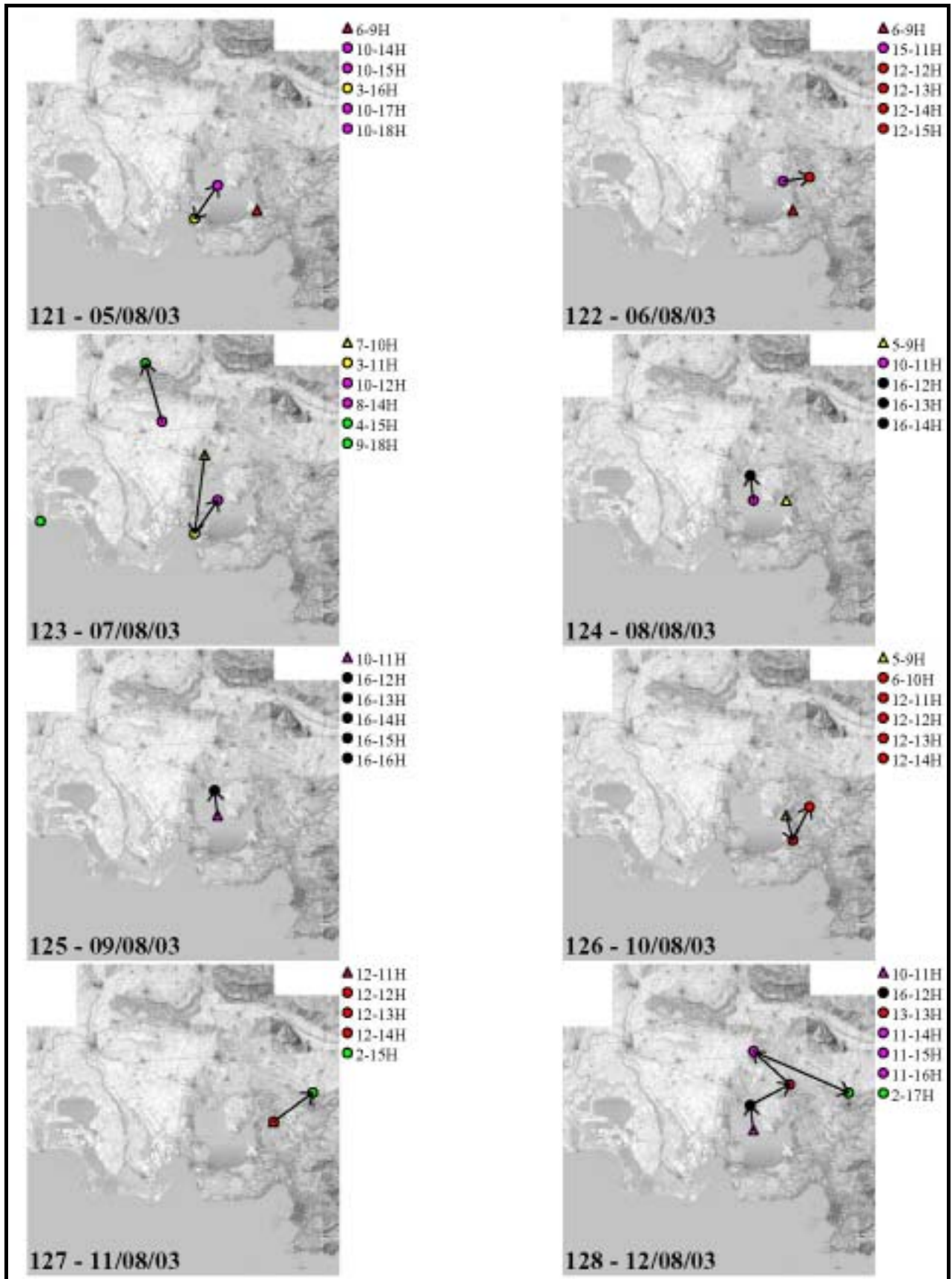


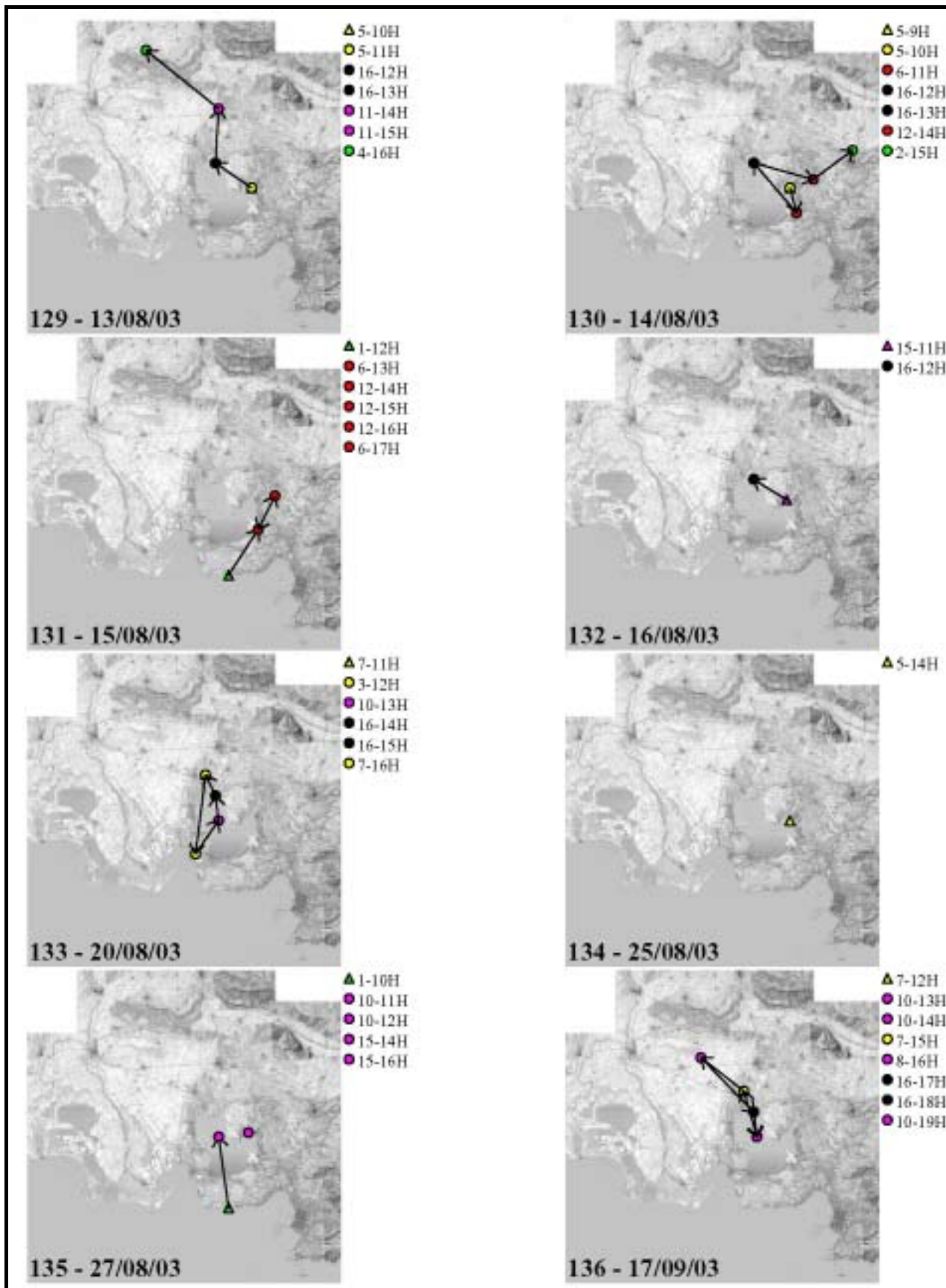


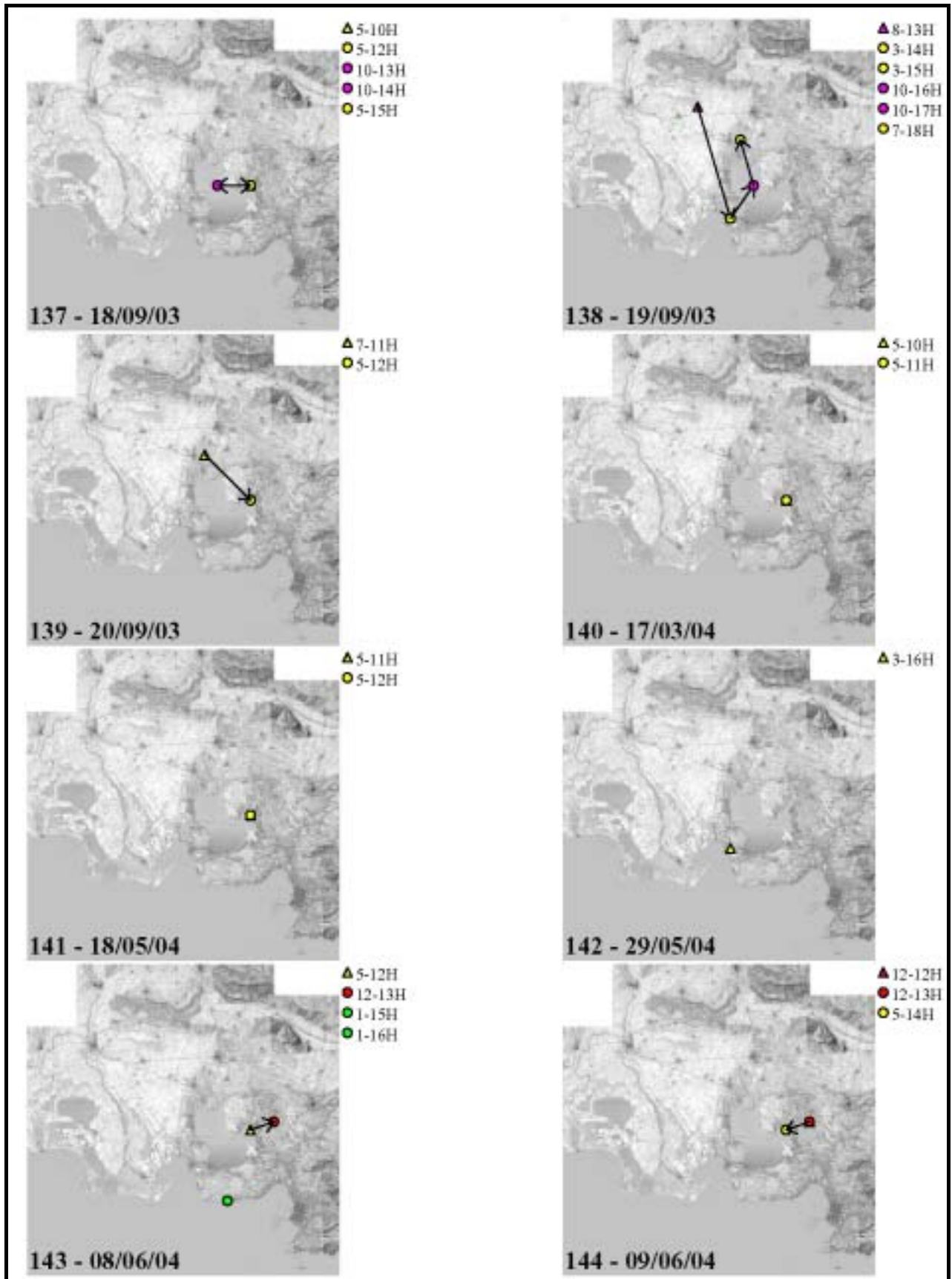




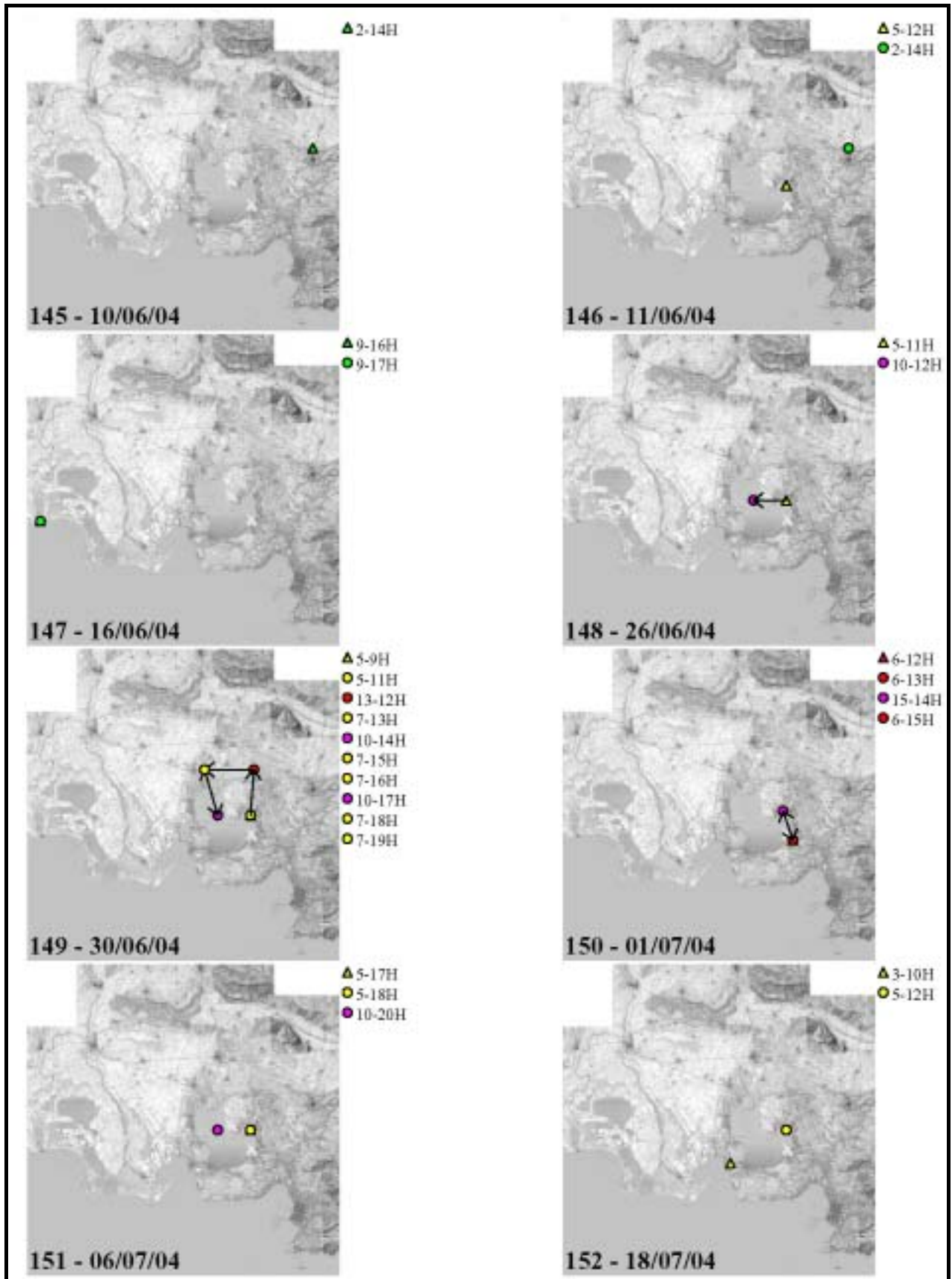


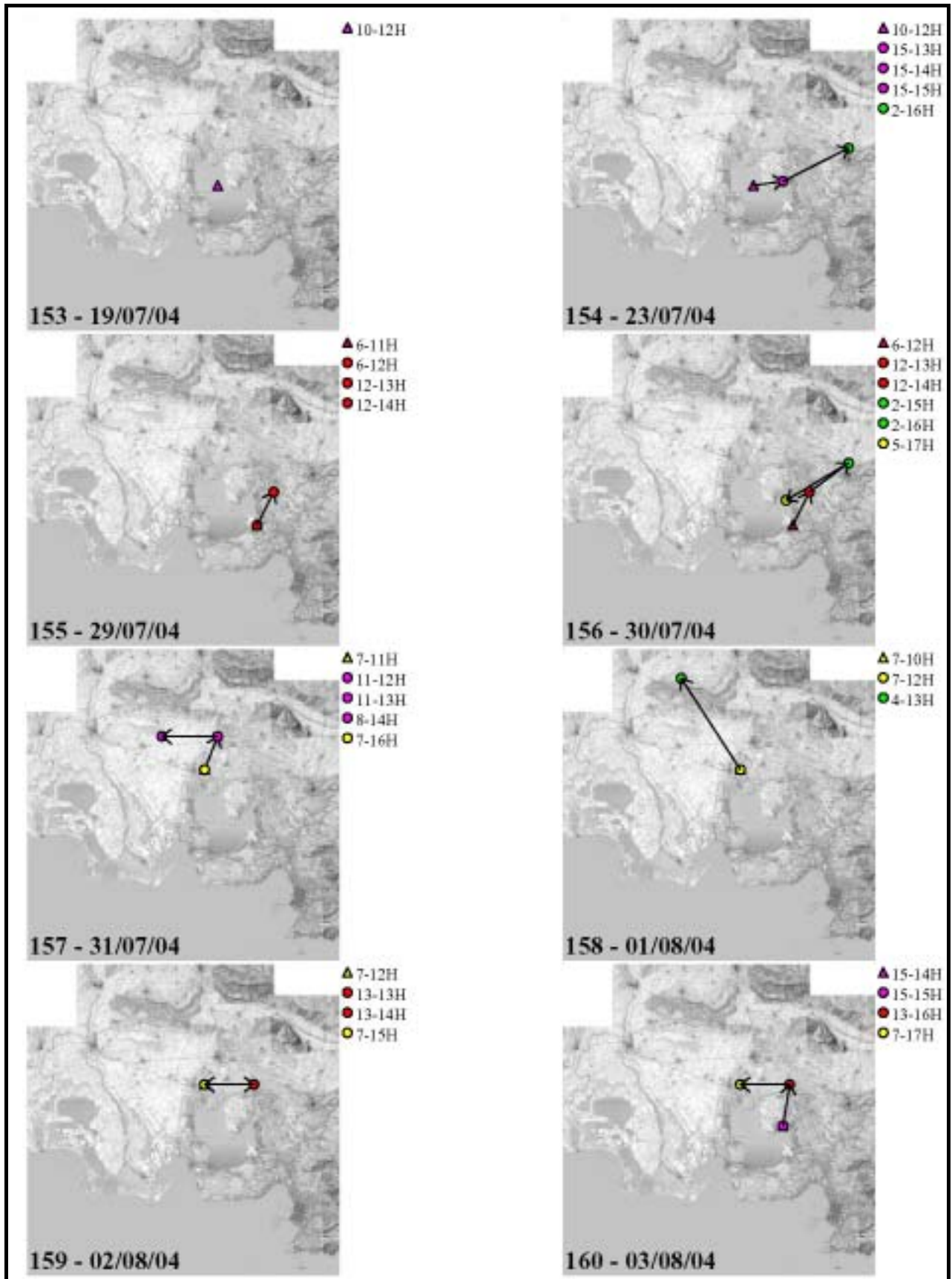


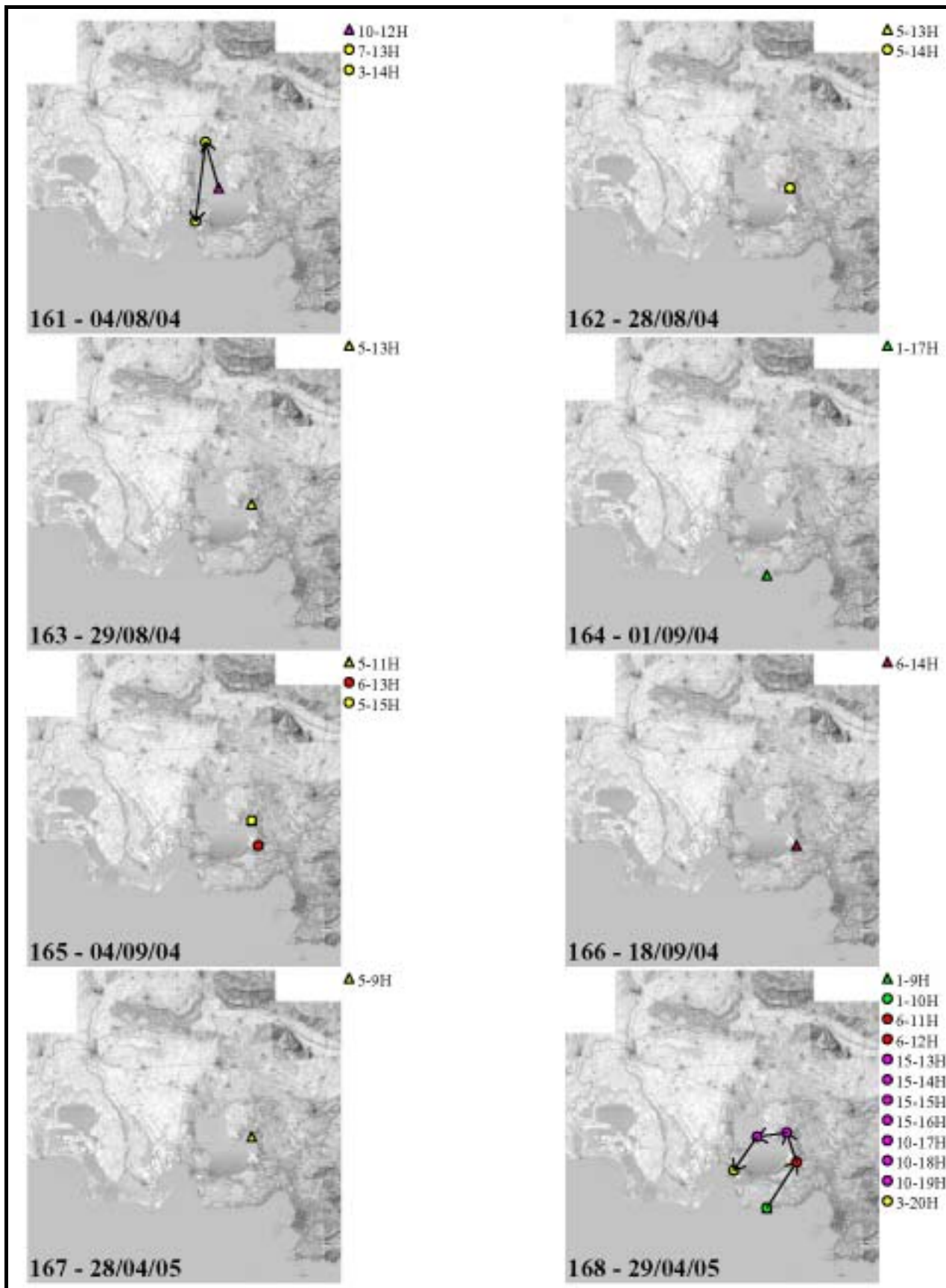




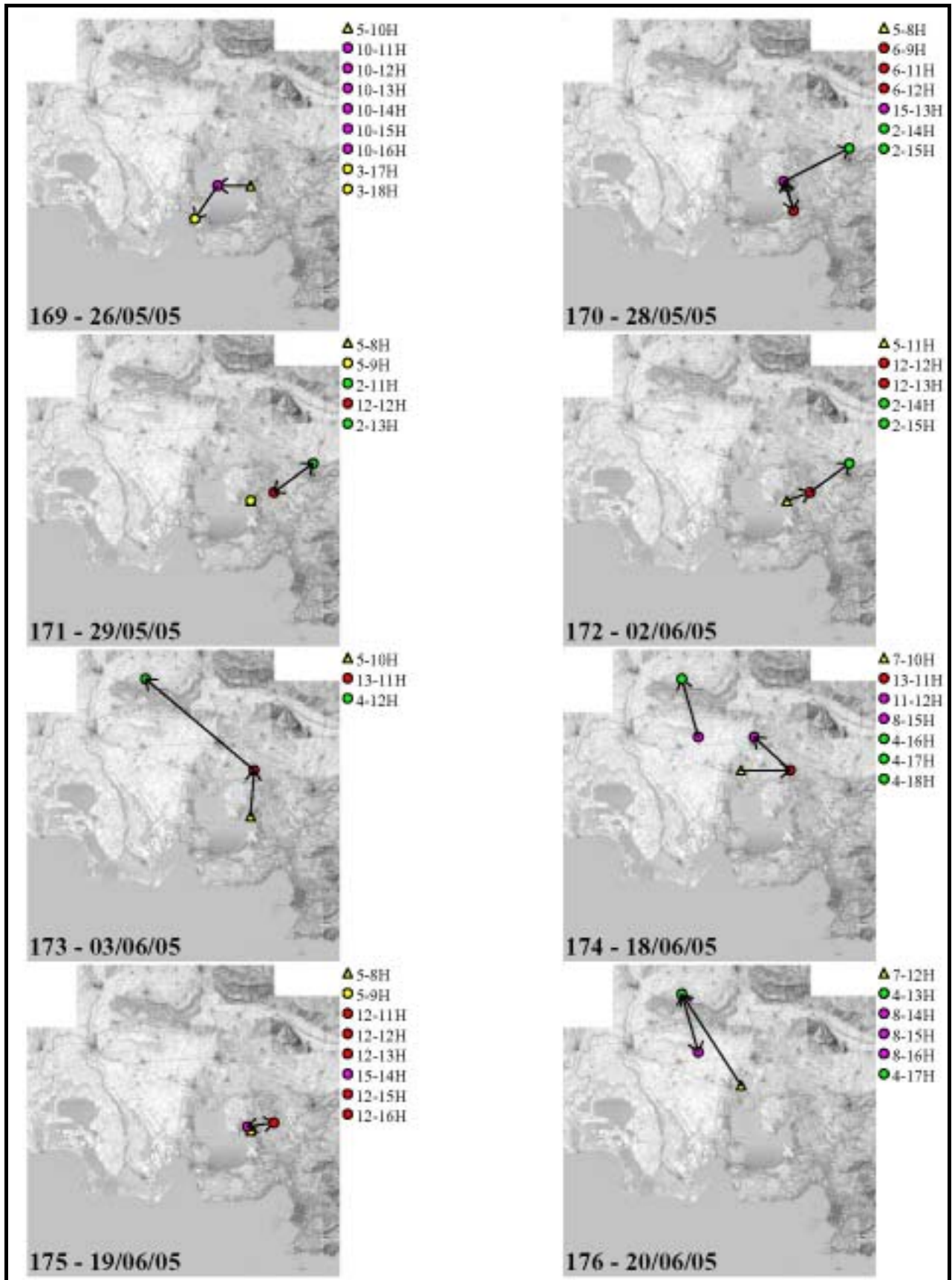


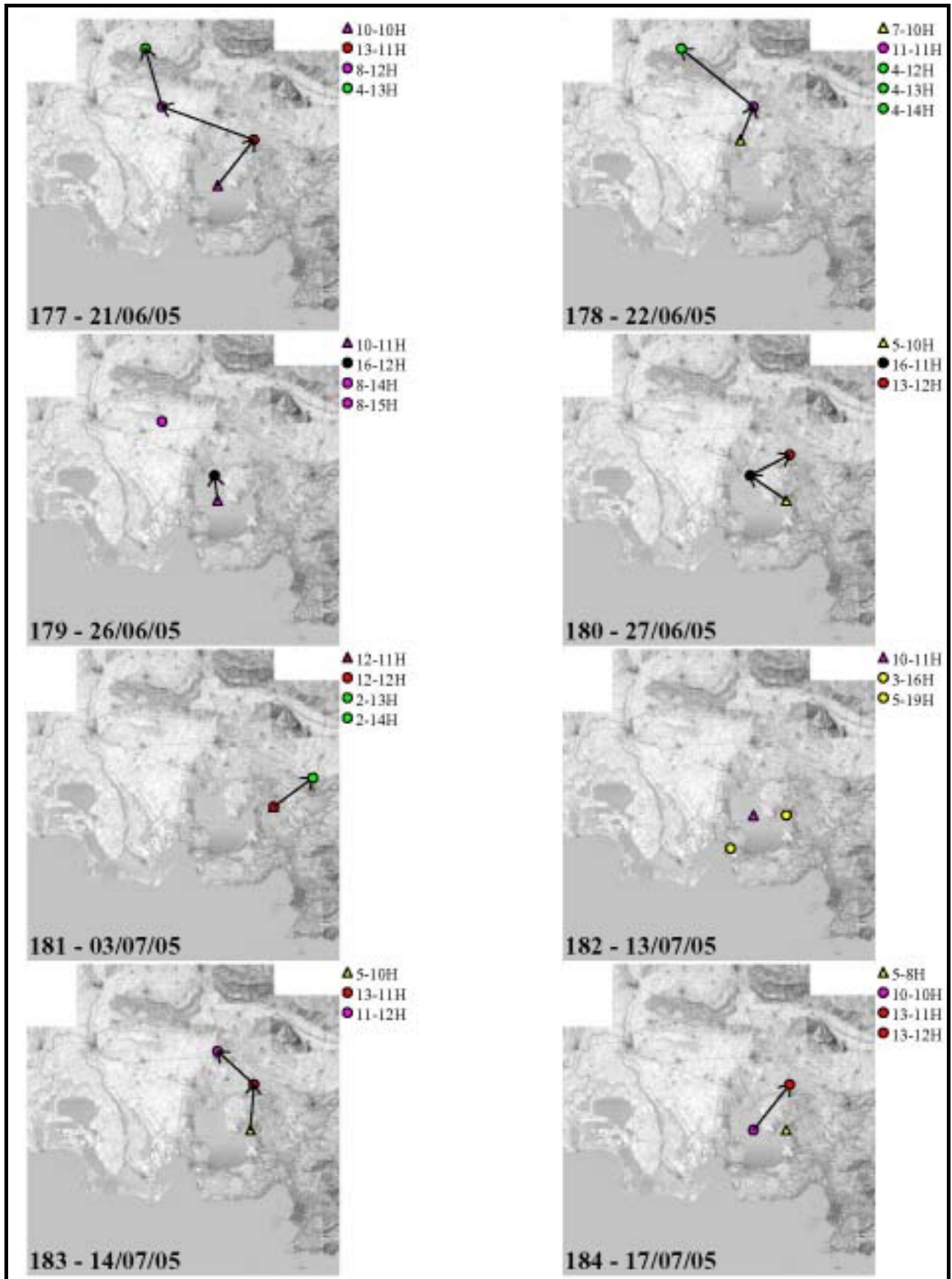












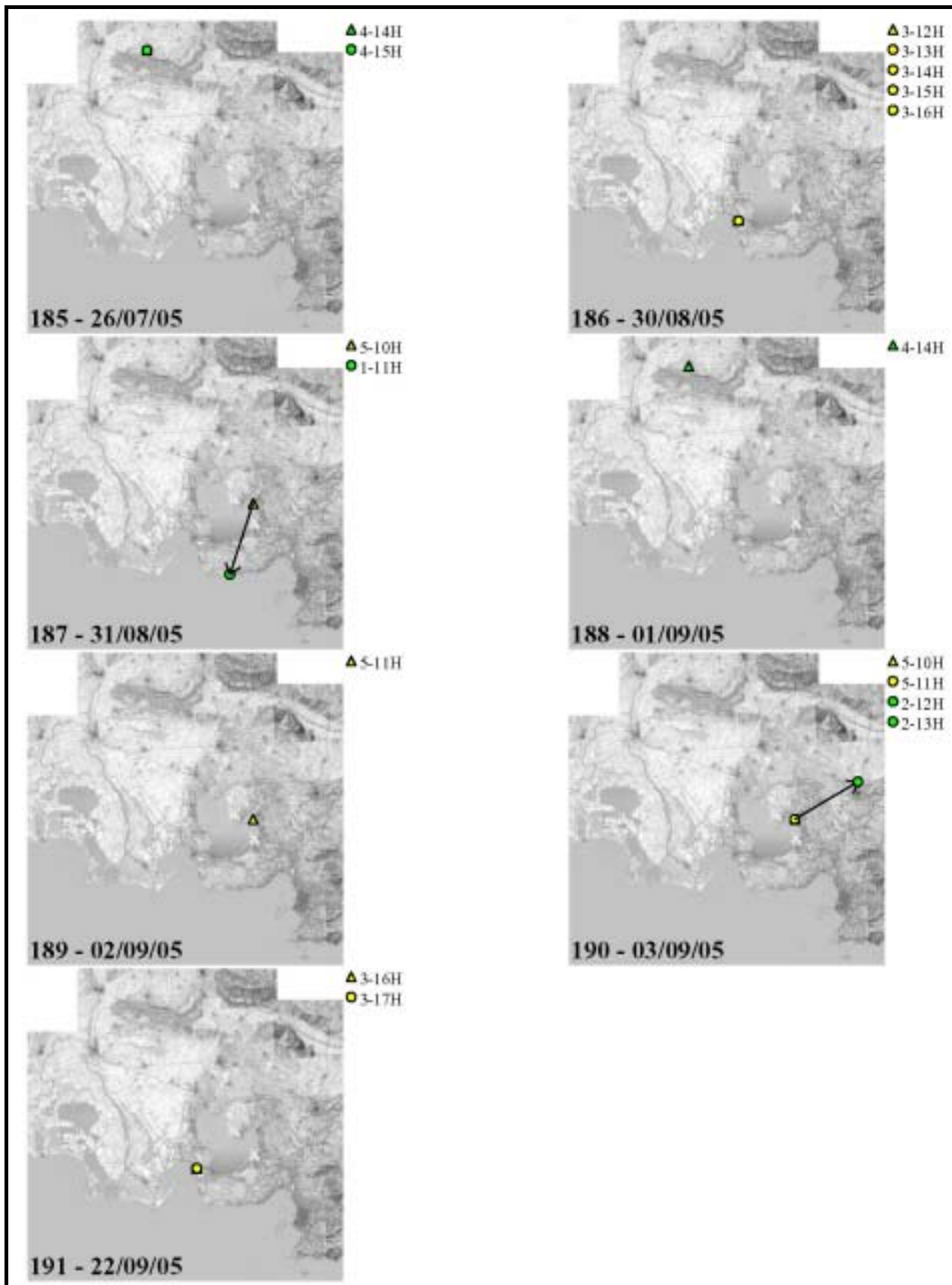
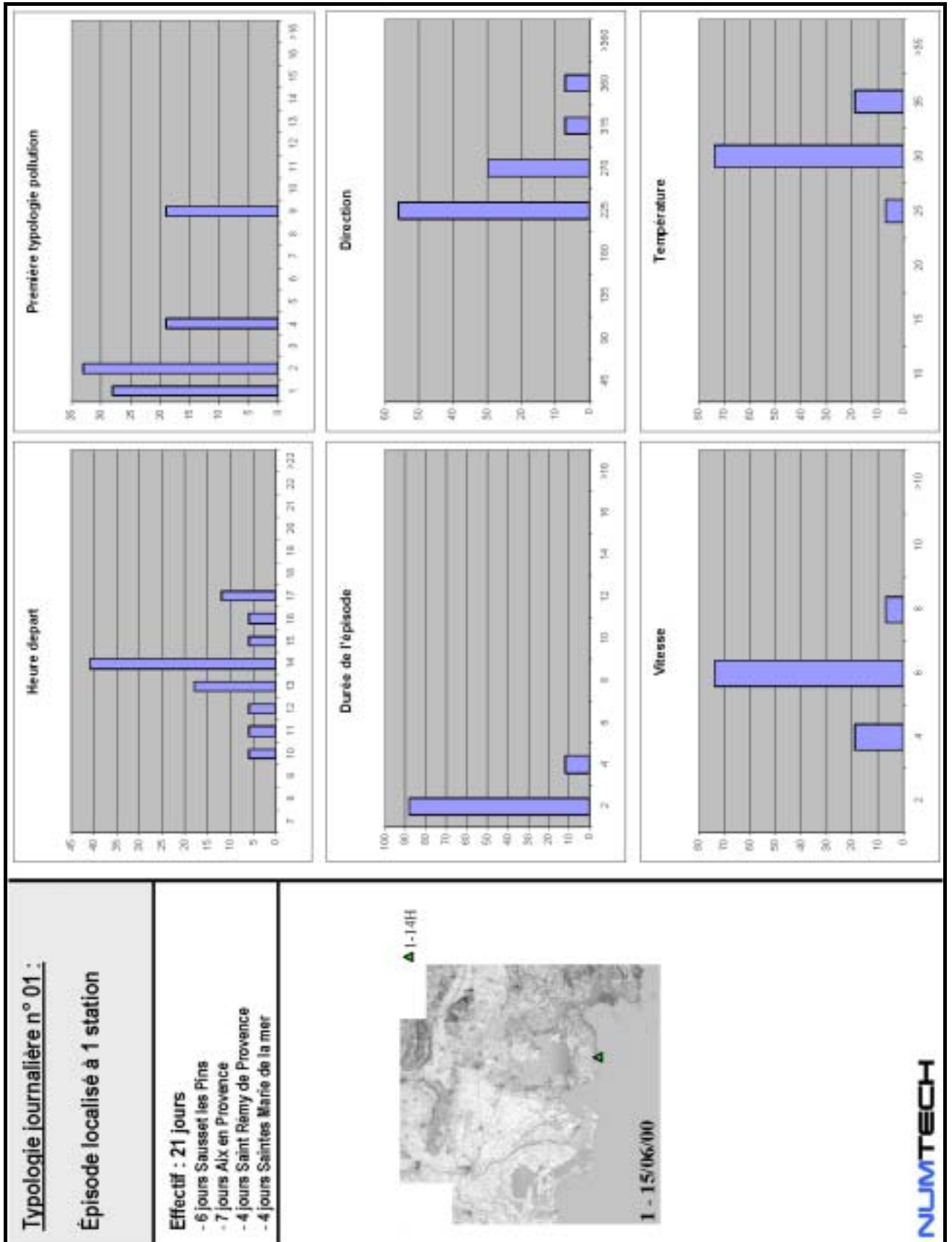
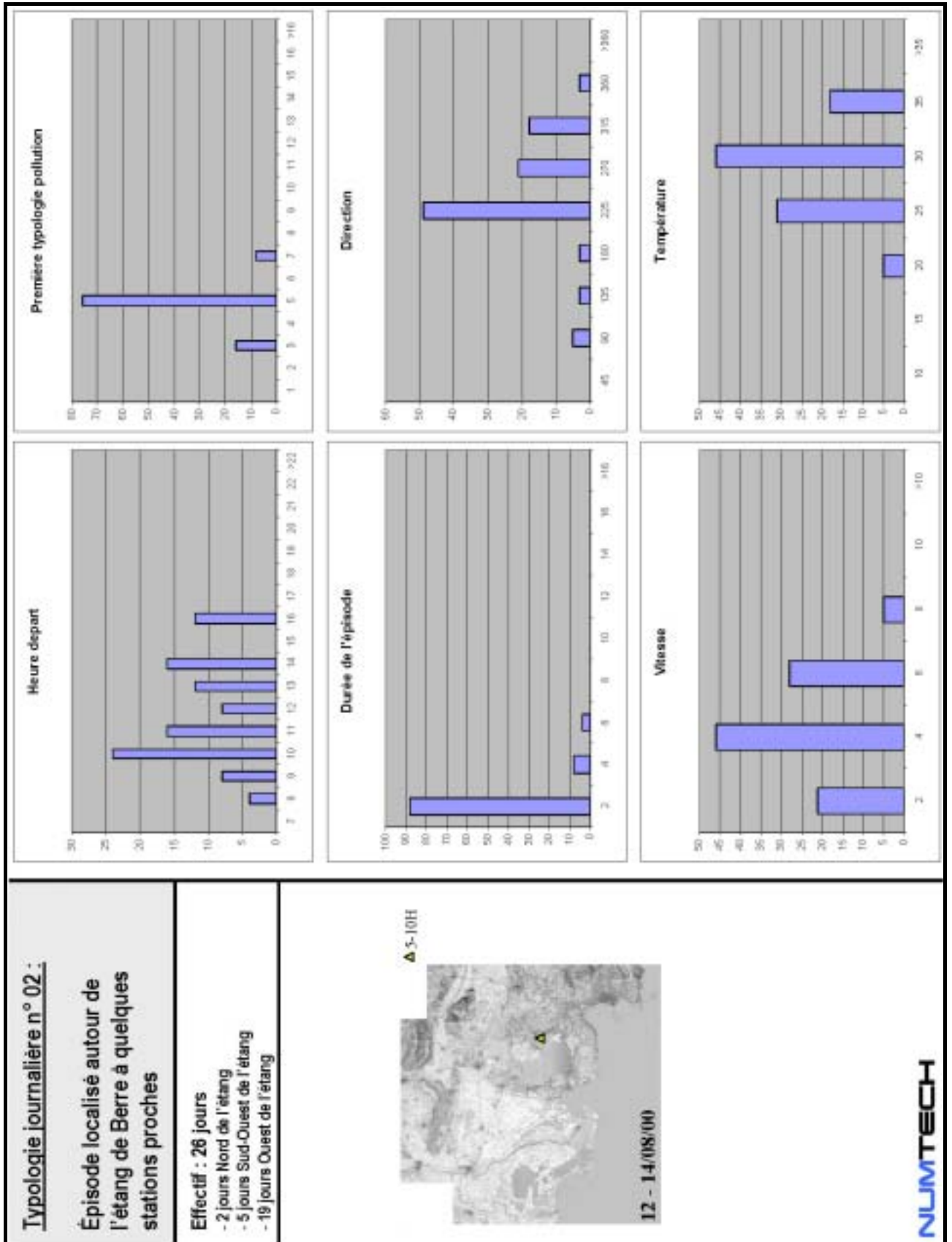
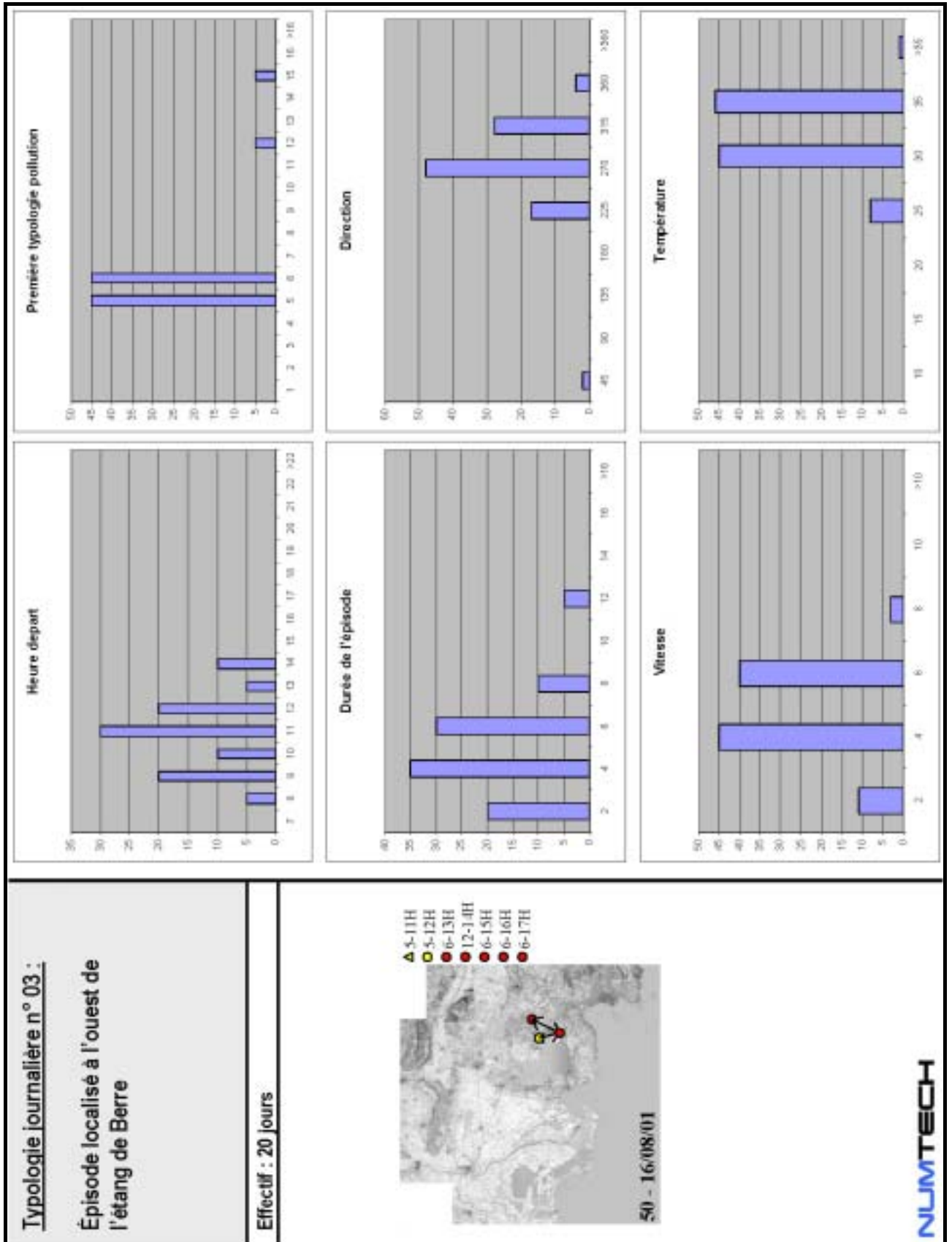


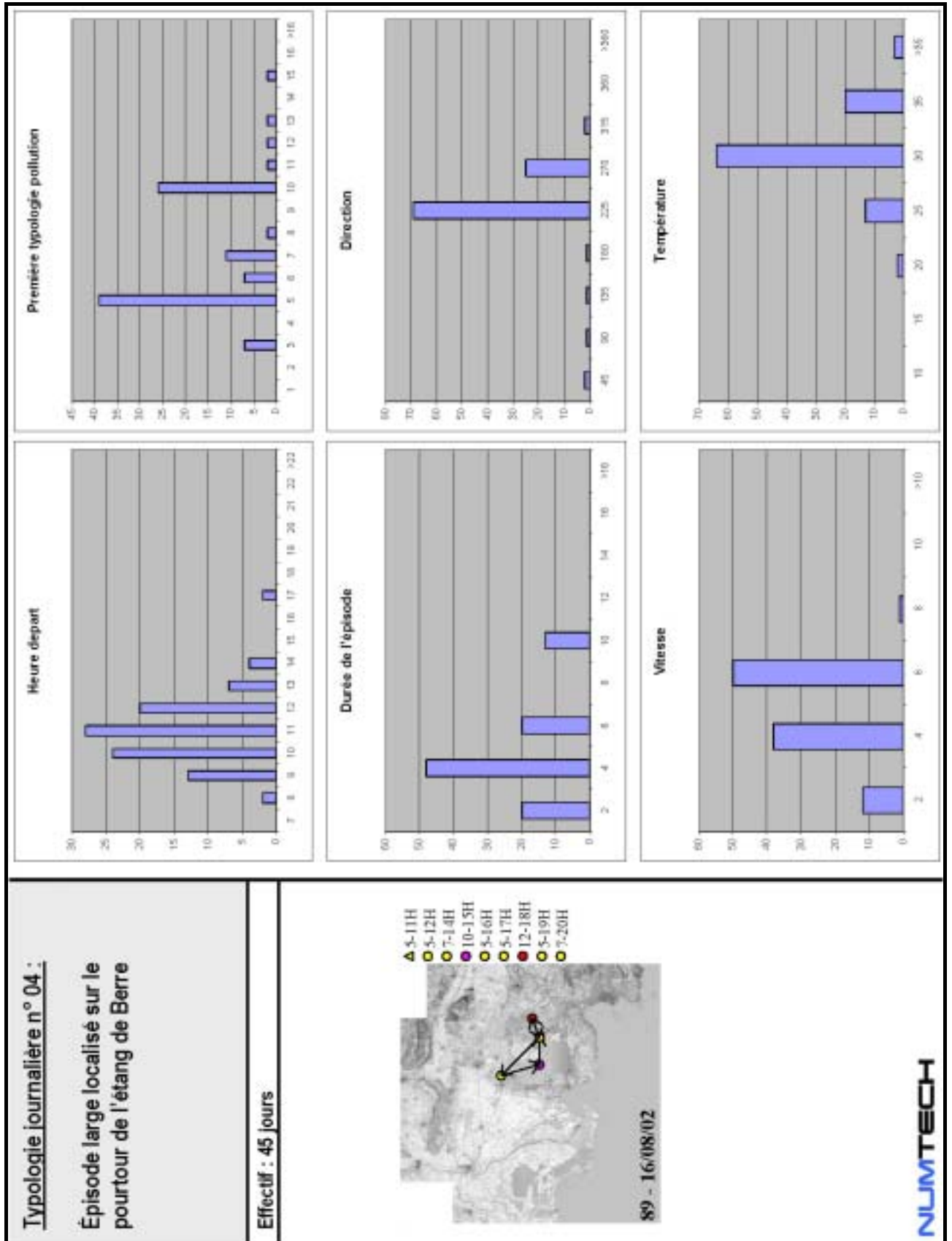
Figure A.2 – Présentation de l'ensemble des évolutions journalières des dépassements horaires du seuil de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{O}_3$ .

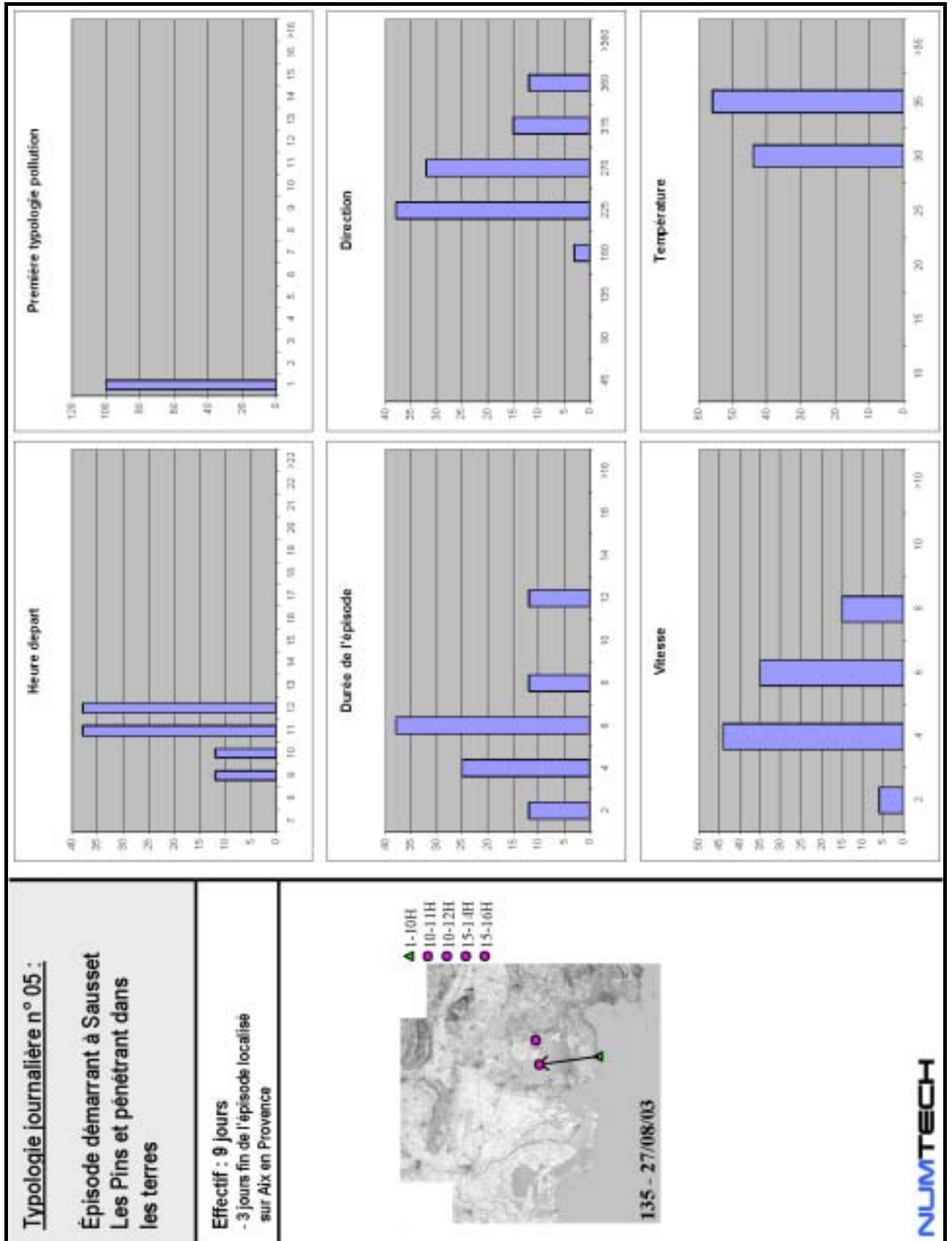




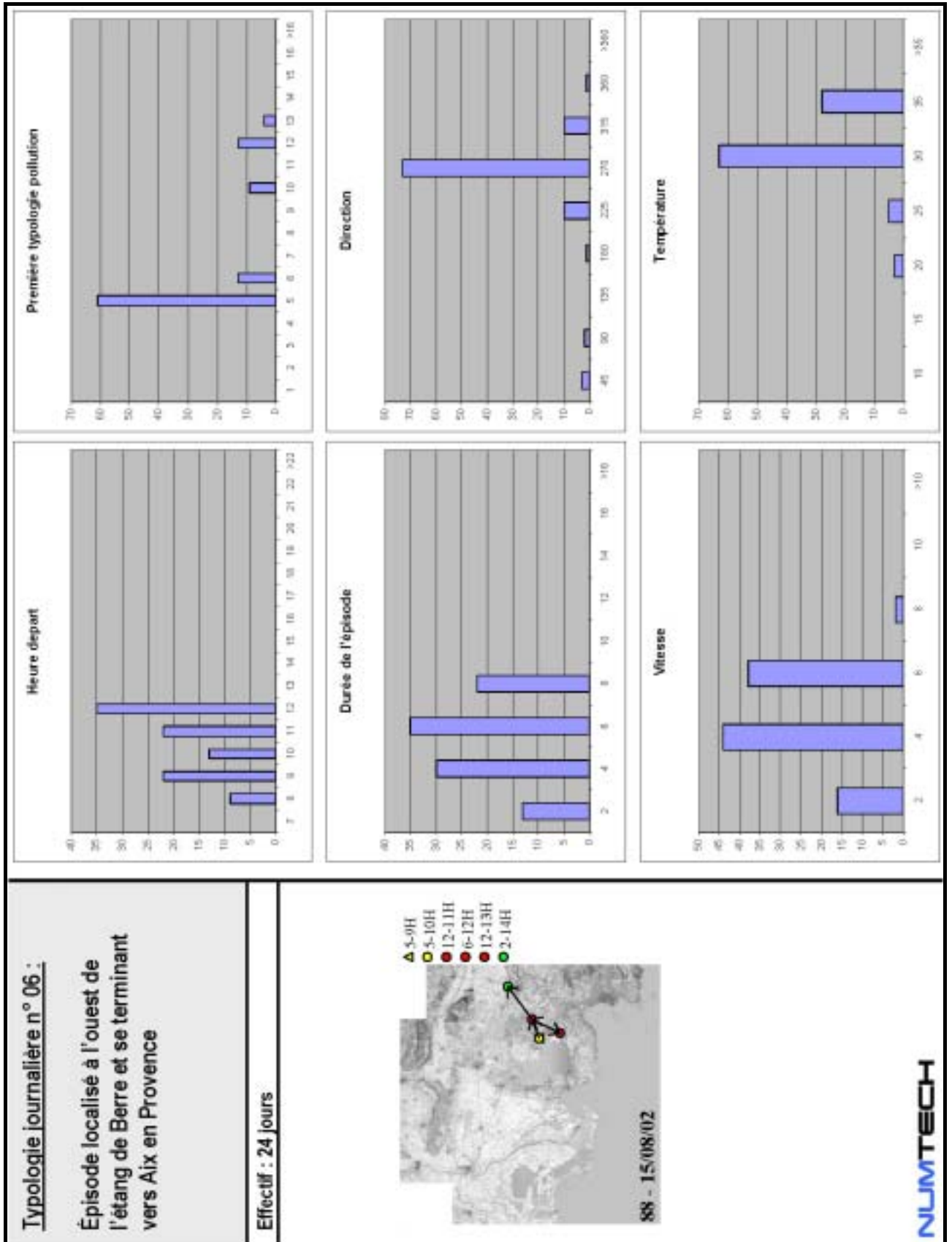


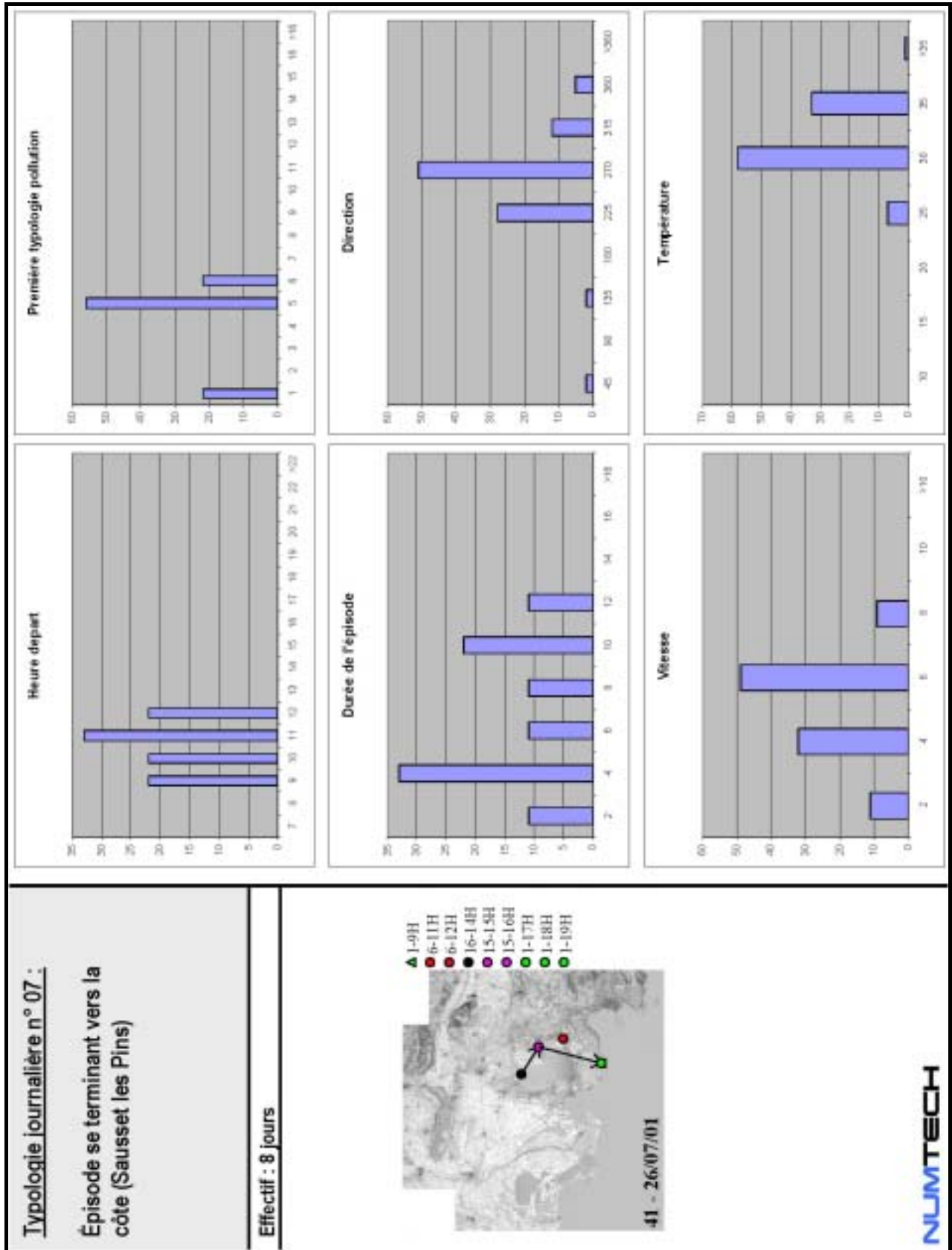


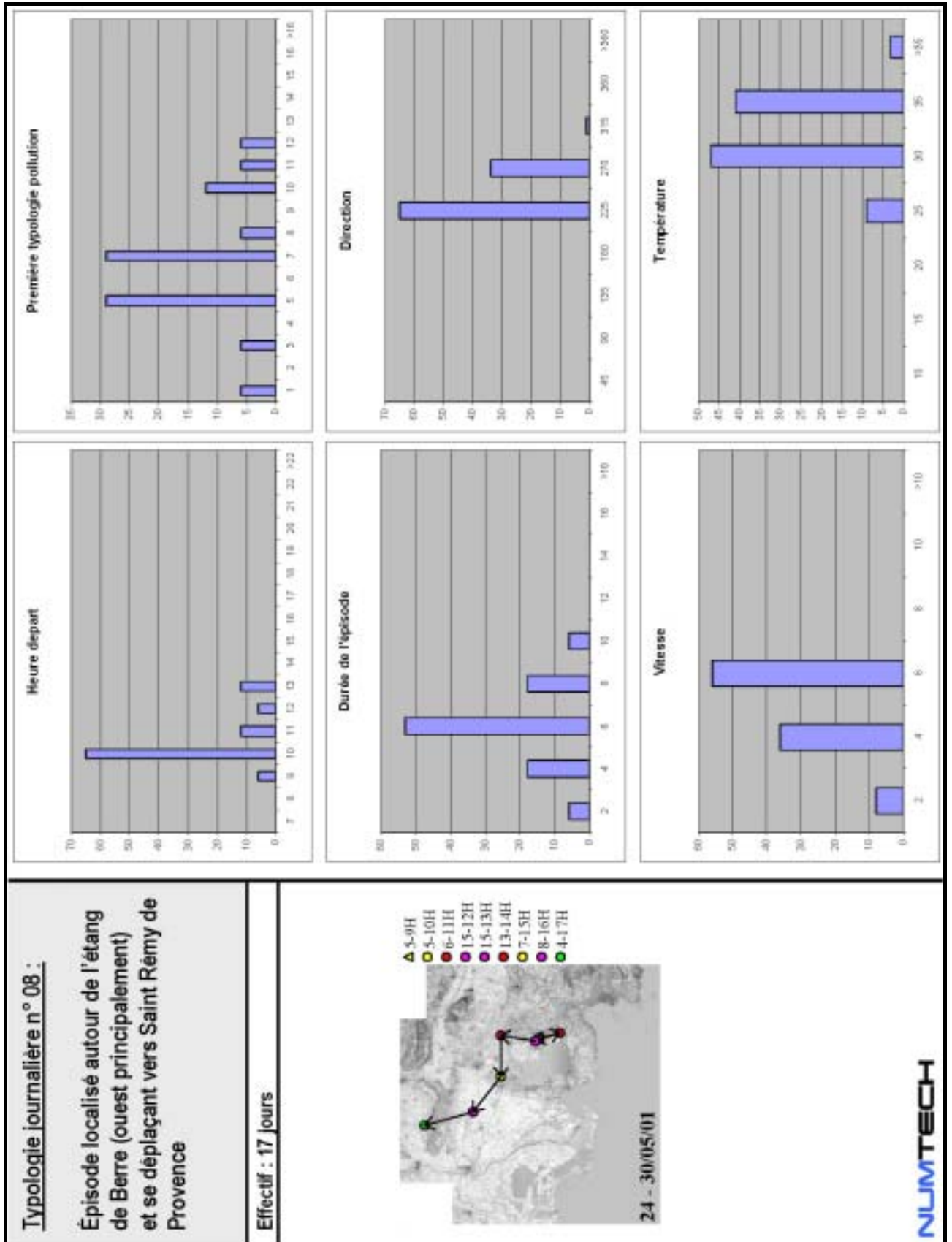












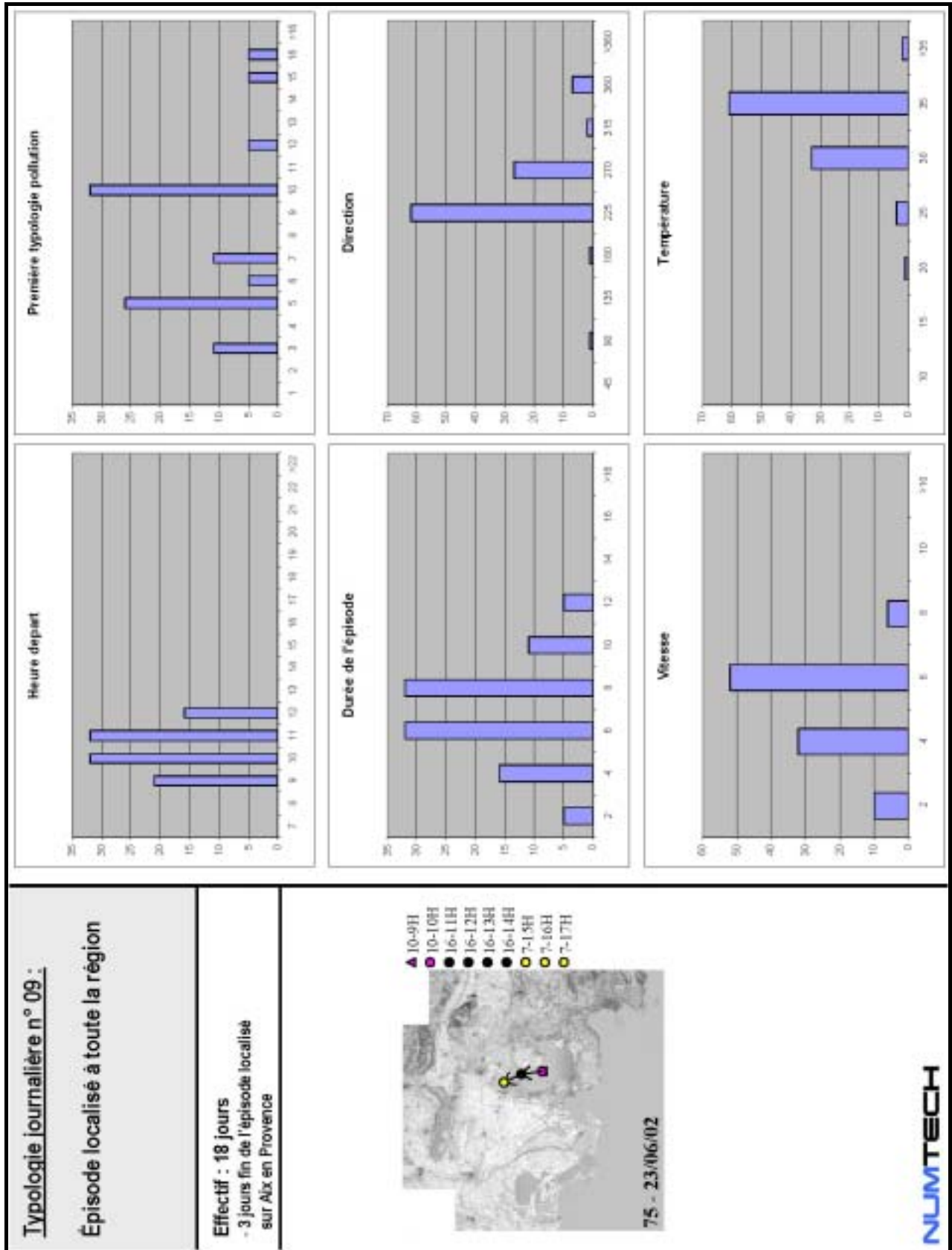
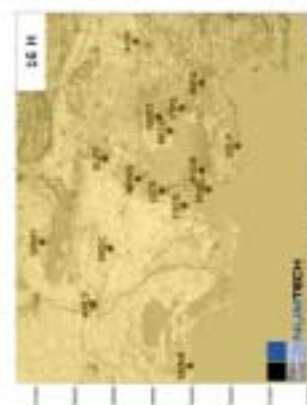
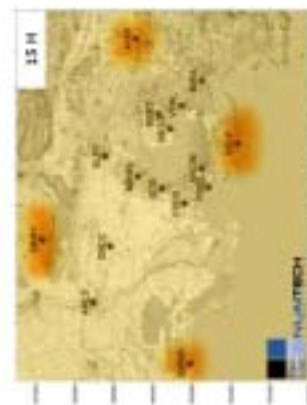
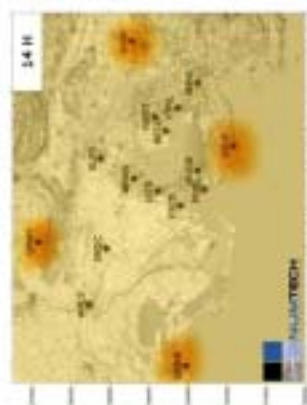


Figure A.3 – Présentation des 9 typologies d'enchaînements journaliers des typologies horaires de dépassement du seuil de 180 µg/m<sup>3</sup>. Pour chaque typologie journalière est indiqué le nombre de jour concerné, ainsi que caractérisation de la répartition (en %), à partir des typologies horaires : de la vitesse vent moyen, de la direction du vent moyen, de la température moyenne, de l'heure du premier dépassement horaire, de la typologie horaire du premier dépassement et de la durée entre le premier et dernier dépassements horaire.

### Typologie journalière n° 01 : Dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup> localisés à 1 station

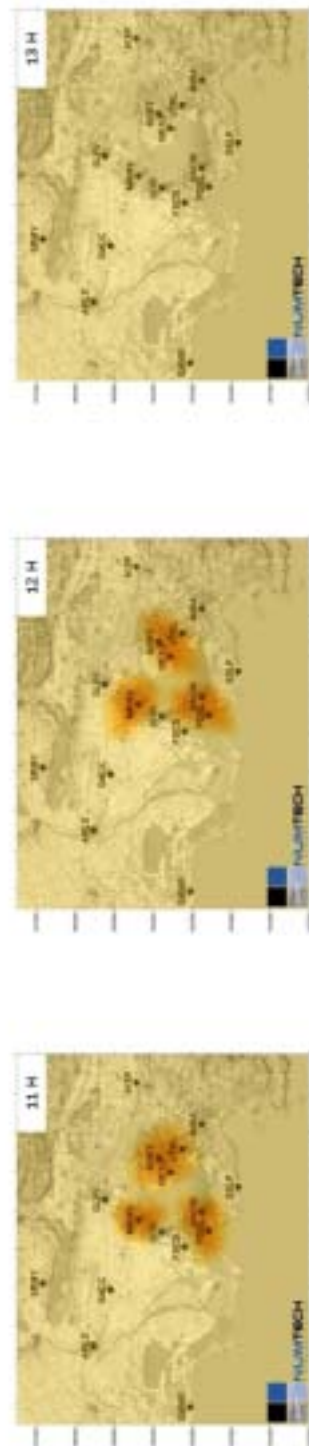
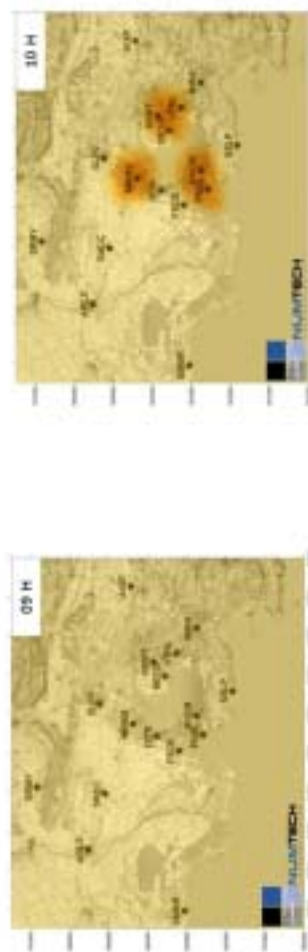
Ces dépassements sont observés au niveau de Sausset les pins, Aix en Provence, Les Saintes-Marie-de-la-mer, ou Saint Rémy de Provence. Les journées concernées font généralement suite ou précèdent des journées de dépassements classées dans une autre typologie. Ces épisodes très localisés correspondent à des épisodes de courte durée, associés à un début tardif dans la journée et des vitesses de vent relativement importantes.





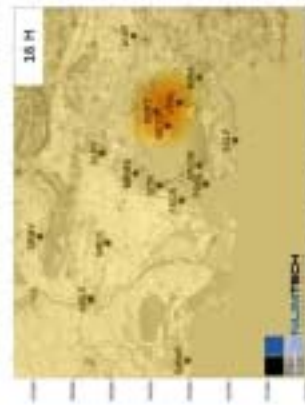
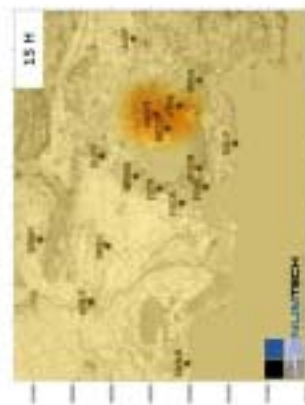
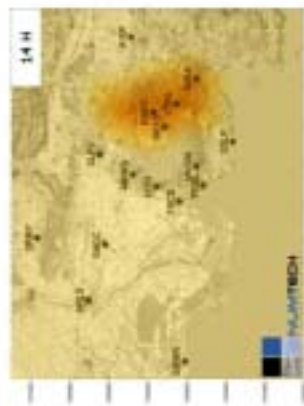
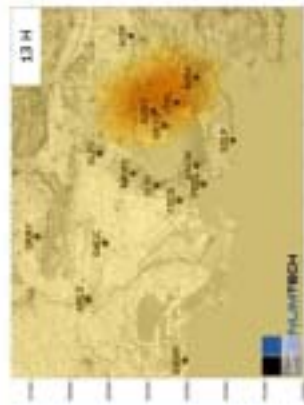
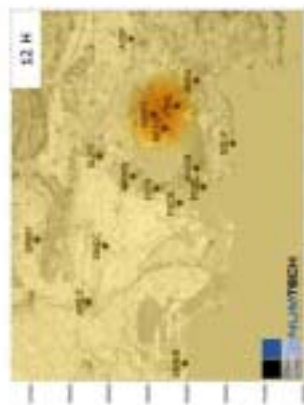
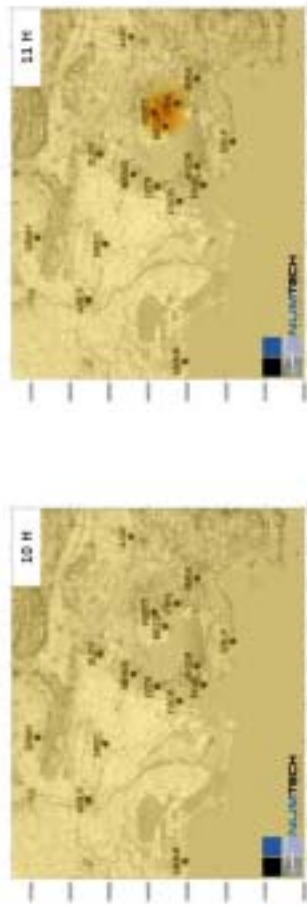
### Typologie journalière n° 02 : Dépassements de la valeur seuil de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ localisés à quelques stations du pourtour de l'étang de Berre

Ces dépassements sont observés principalement au niveau des stations de l'ouest du pourtour de l'étang, et dans une moindre mesure au sud-ouest et nord de l'étang. Comparativement à la typologie 1, le vent est plus faible et le début des dépassements est en fin de matinée. La durée des dépassements reste courte, et les journées concernées sont en majorité également des journées de période de persistance.



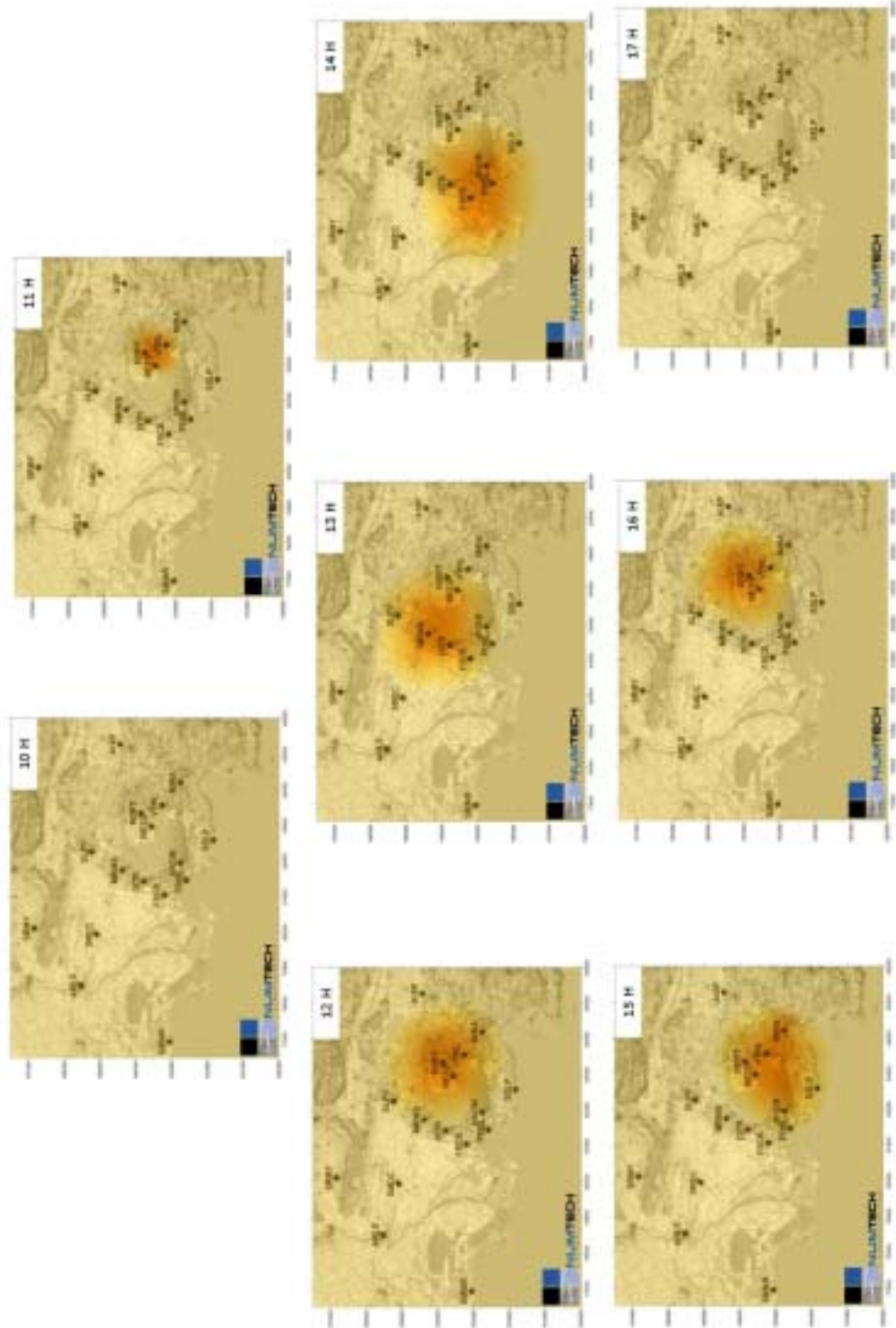
### Typologie journalière n° 03 : Dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup> localisés au grand Ouest de l'étang de Berre

Ces dépassements sont observés dans tous l'ouest de l'étang avec en général des dépassements limités à quelques stations du pourtour de l'étang et qui s'étendent dans tous l'ouest en cours de journée. Le démarrage est en matinée, et la durée des dépassements est en moyenne de 6 heures. On peut noter les fortes températures qui accompagnent ces journées.



### Typologie journalière n° 04 : Dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup> observés sur tout le pourtour de l'étang de Berre

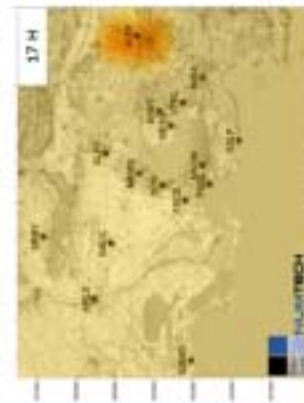
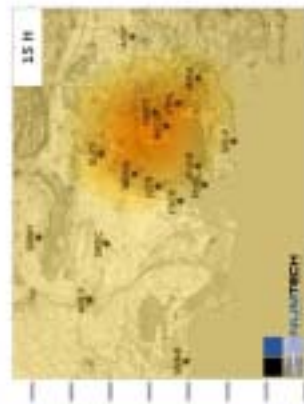
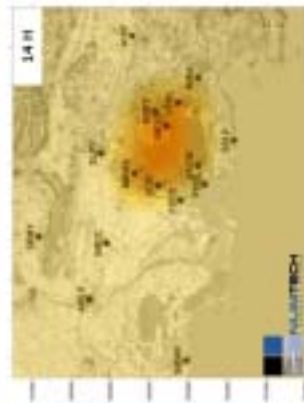
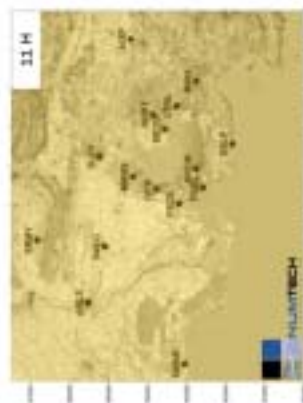
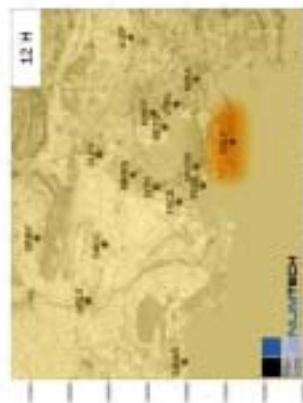
Cette typologie regroupe les journées pour lesquelles un dépassement de la valeur seuil est observé en une zone du pourtour de l'étang, dépassements qui s'étendent spatialement en cours de journées avec fréquemment un déplacement du centre de cette zone autour de l'étang. Il est difficile d'identifier des caractères météorologiques particuliers pour cette typologie, hormis que cette typologie rassemble majoritairement les périodes de persistance qui sont plus grandes que 2 jours.





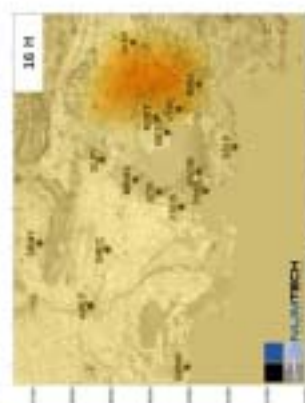
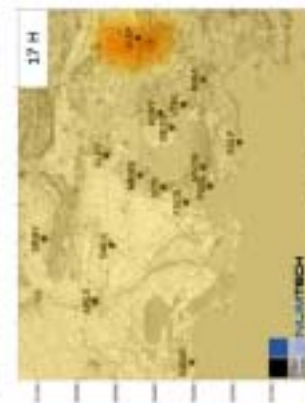
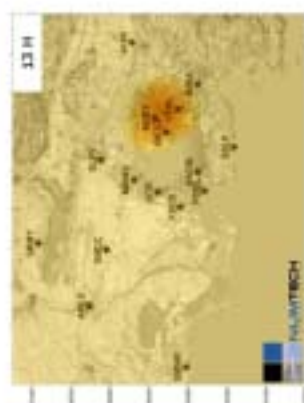
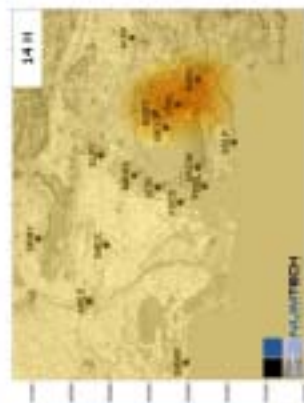
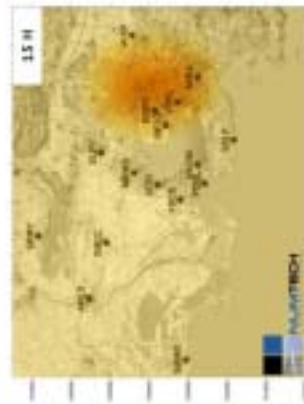
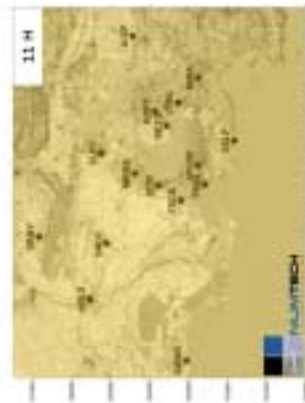
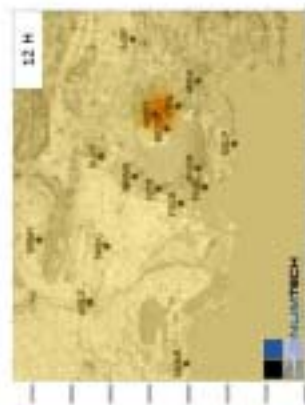
### Typologie journalière n° 05 : Dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup> localisés sur la côte et pénétrant dans les terres

Les dépassements sont observés en matinée au niveau de Sausset les pins (et probablement concernent une grande part de la côte) avec une pénétration dans les terres des dépassements en cours de journée. Cette pénétration peut atteindre Aix en Provence dans certains cas. Pour une grande part, ces épisodes sont associés à des périodes de brise de mer en matinée avec renforcement du vent en cours de journée, vent qui prend une direction sulsud-ouest.



**Typologie journalière n° 06 : Dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup> localisés à l'ouest du pourtour de l'étang de Berre et se terminant vers Aix en Provence**

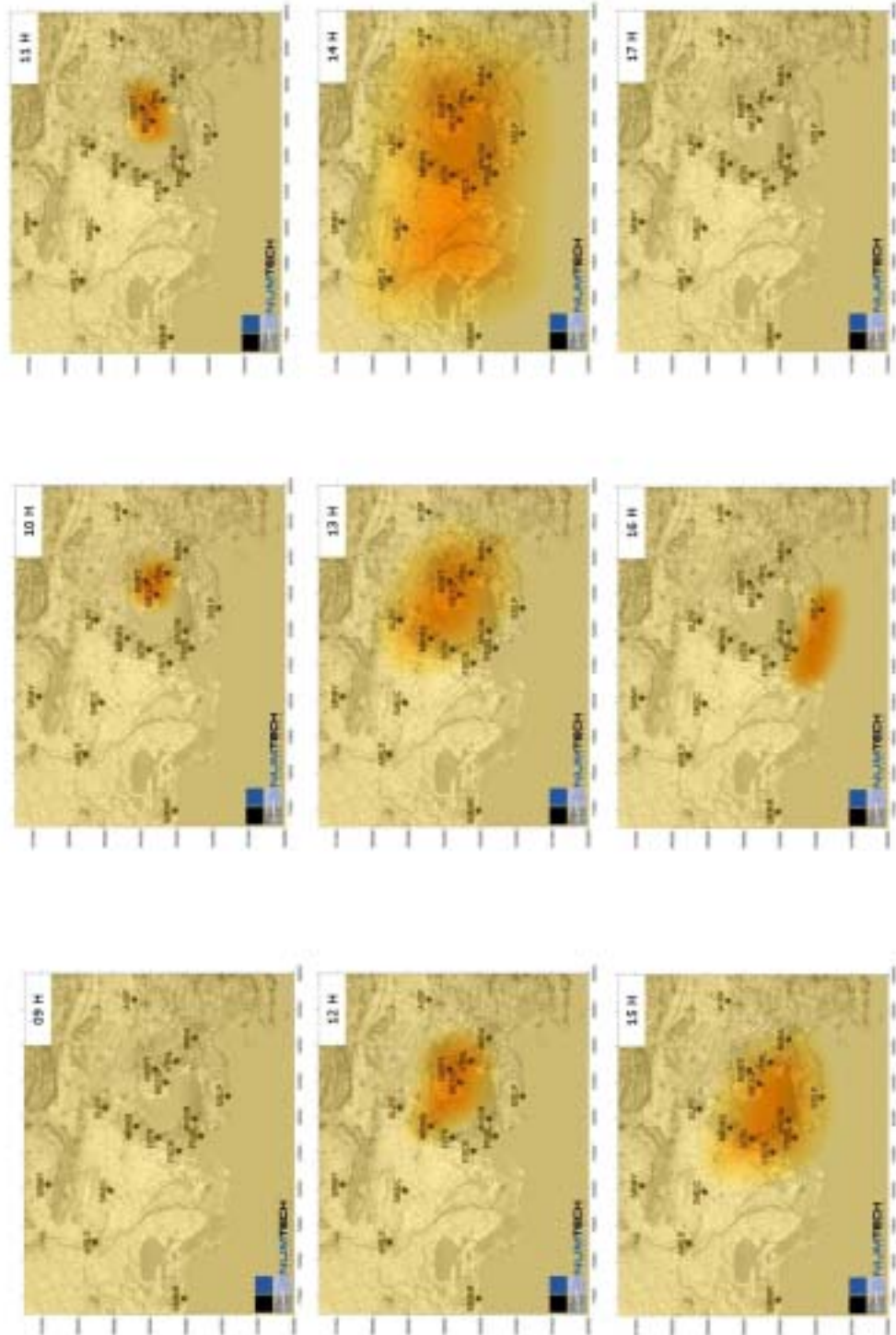
Cette typologie peut être considérée comme une sous classe de la typologie 3, puisque les dépassements concernent tous l'ouest de l'étang Berre, excepté que la fin des dépassements est observée et localisée aux alentours d'Aix en provence. On peut également noter que les dépassements démarrent plus tôt et que la majorité des journées de cette typologie correspondent à des périodes de persistance sur 2 jours.





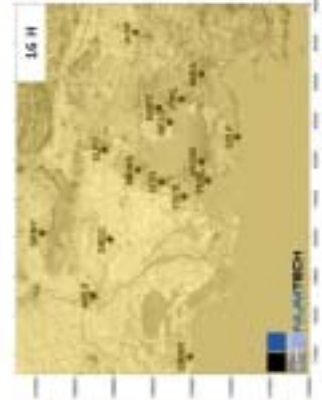
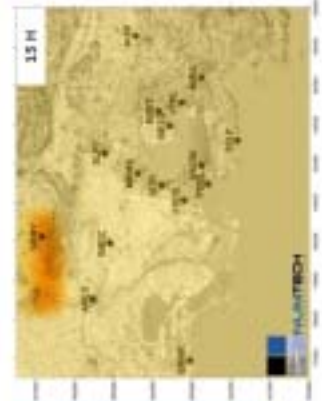
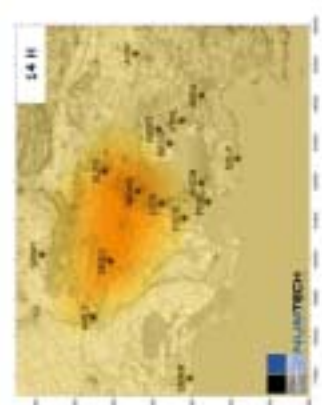
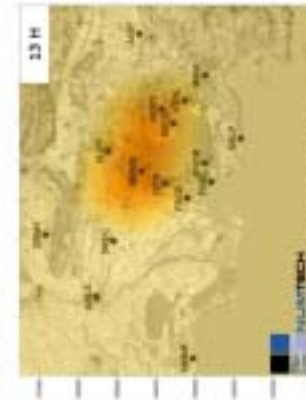
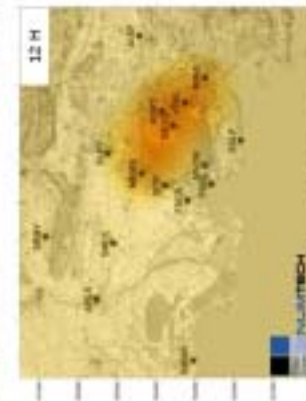
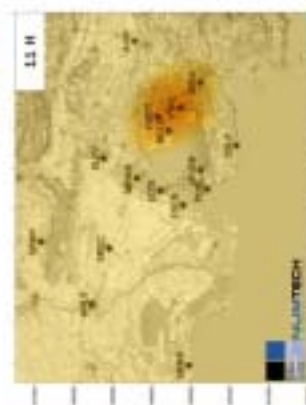
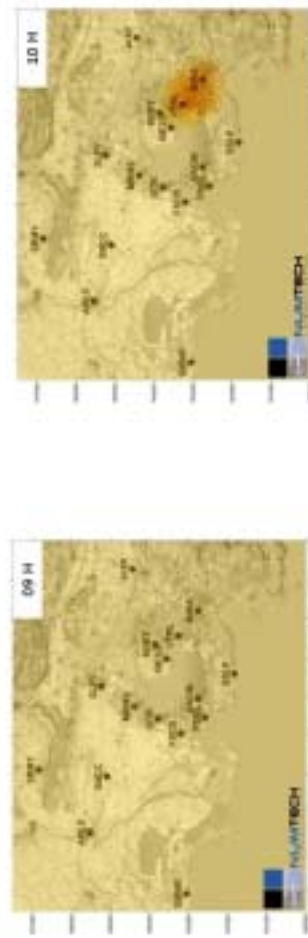
**Typologie journalière n° 07 : Dépassements de la valeur seuil de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  démarrarrant dans les terres et se terminant vers la côte**

Ces dépassements concernent des périodes relativement longue (jusqu'à 12 heures au maximum) avec un début dans les terres et une fin au niveau de la côte. Les journées concernées peuvent correspondre à des journées de fin de mistral ou des journées où les retournements de brise de mer et brise de terre sont observés en cours de journées.



**Typologie journalière n° 08 : Dépassements de la valeur seuil de 180 µg/m<sup>3</sup> localisés autour de l'étang de Berre et se terminant vers Saint Rémy de Provence**

Cette typologie regroupe des journées qui aurait pu être classées dans les typologies 3 et 4, excepté que la fin des épisodes est observée aux alentours de Saint Rémy de Provence. Le début de dépassement est relativement tôt en matinée, et les dépassements concernent généralement une grande étendue en cours de journée avant de se déplacer vers Saint Rémy de Provence (ou du moins se déplacer vers le nord/nord-ouest).



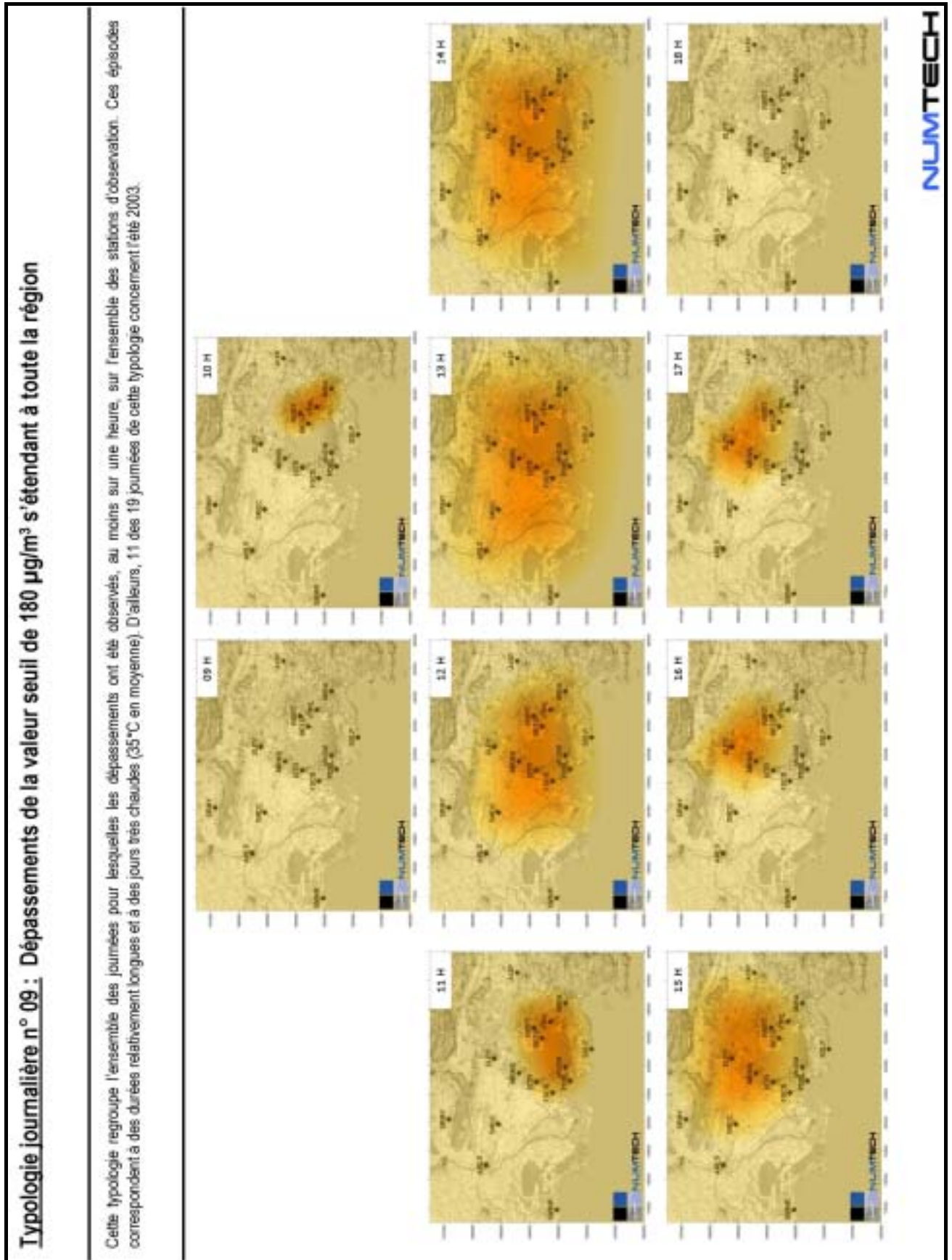


Figure A.4 – Représentation concise et schématisée des 9 typologies journalières d'enchaînements des pics horaires d'ozone.