



Evaluation de la qualité de l'air au niveau de la Ferme Capri à Marseille

Mars 2022

1 Contexte

La Ferme Capri¹, dans le 15^{ème} arrondissement de Marseille, est un espace expérimental de 8 500 m² autour de l'agroécologie, animé par la Cité de l'agriculture. Elle vise notamment à

- **produire des fruits et légumes**, sans engrais chimique, en respectant le vivant, avec une commercialisation des produits en circuits courts dans un quartier identifié comme désert alimentaire ;
- **développer du lien social** au sein du quartier en accueillant le public sur un espace préservé, qualitatif, vert, permettant la promenade, le jeu, les rencontres, la mixité sociale ;
- **former, sensibiliser les scolaires** et autres apprentis, professionnaliser : un lieu ressource, inspirant, porteur de valeurs, vitrine de la transition agroécologique, à destination de publics divers (scolaires, familles, centres sociaux, etc.). Un support pour des chantiers, ateliers et formations à même de susciter des vocations ;
- mais également **développer des études sur tous les compartiments dont l'air** : expérimentations agronomiques, culturelles et variétales. Recueil, capitalisation et analyse des impacts écosystémiques d'une ferme urbaine sur son territoire. Optimisation des ressources énergétiques.

Figure 1 : Localisation de la ferme Capri



¹. <http://www.cite-agri.fr/portfolio/ferme-capri/>

Photographie 1 : Vue de la ferme Capri



©Renata Pires

Source : <http://www.cite-agri.fr/les-lieux/>

Dans ce cadre, **AtmoSud a porté des études en termes de qualité de l'air** à l'aide :

- d'une campagne de mesures spécifiques au niveau de la zone d'étude ;
- d'une étude bibliographique relative à l'influence du trafic routier sur son environnement direct.

2 Campagne de mesures spécifique

► Plan d'échantillonnage

Une campagne de mesures spécifique à l'aide d'**échantillonneurs passifs de dioxyde d'azote** a été réalisée afin de déterminer l'impact sur la qualité de l'air du trafic sur le terrain en fonction de l'éloignement à l'autoroute .

4 échantillonneurs passifs ont ainsi été positionnés du 17 novembre au 1^{er} décembre 2021 (soit 14 jours consécutifs en période hivernale) à la perpendiculaire de la voie (transect), comme présenté sur la figure ci-dessous :

Figure 2 : Localisation des points de mesure – tubes passifs NO₂



► Résultats

Les concentrations moyennes obtenues sur la période de mesures sont présentées dans le tableau ci-dessous, couplées à celles des stations fixes d'AtmoSud présentes sur la ville de Marseille :

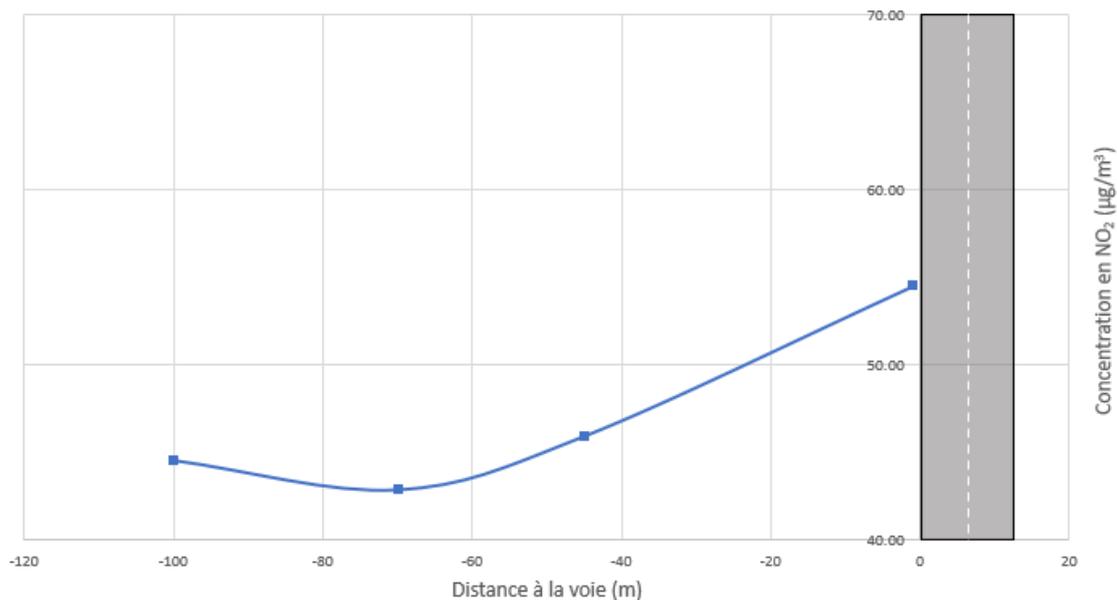
Tableau 1 : Résultats des concentrations mesurées en dioxyde d'azote

Point de mesure	Concentration moyenne en NO ₂ (µg/m ³)	Point de mesure	Concentration moyenne en NO ₂ (µg/m ³)
Point 1 (bord de voie)	54.5	Jean Moulin (trafic)	39.5
Point 2 (45 mètres)	45.9	Rabatau (trafic)	41.4
Point 3 (70 mètres)	42.9	Longchamp (urbain)	30.8
Point 4 (100 mètres)	44.6	Saint Louis (urbain)	31.7
		Place Verneuil (urbain)	34.9
		Kaddouz (trafic)	40.4

Les concentrations mesurées à l'aide des tubes sont ainsi supérieures à celles obtenues au niveau des stations fixes à l'aide d'appareils de mesures en continu.

Le graphique ci-dessous permet de visualiser la décroissance de la concentration en dioxyde d'azote en fonction de l'éloignement à la voie sur la période de mesures :

Figure 3 : Evolution de la concentration en NO₂ selon l'éloignement à la voie



► Estimation des moyennes annuelles 2021

S'agissant d'une campagne de mesures ponctuelle, il est possible d'estimer une concentration moyenne annuelle par établissement d'une régression linéaire entre les moyennes annuelles des stations fixes sur l'année et celles obtenues sur la période de mesures. Cette estimation fournit les valeurs ci-dessous :

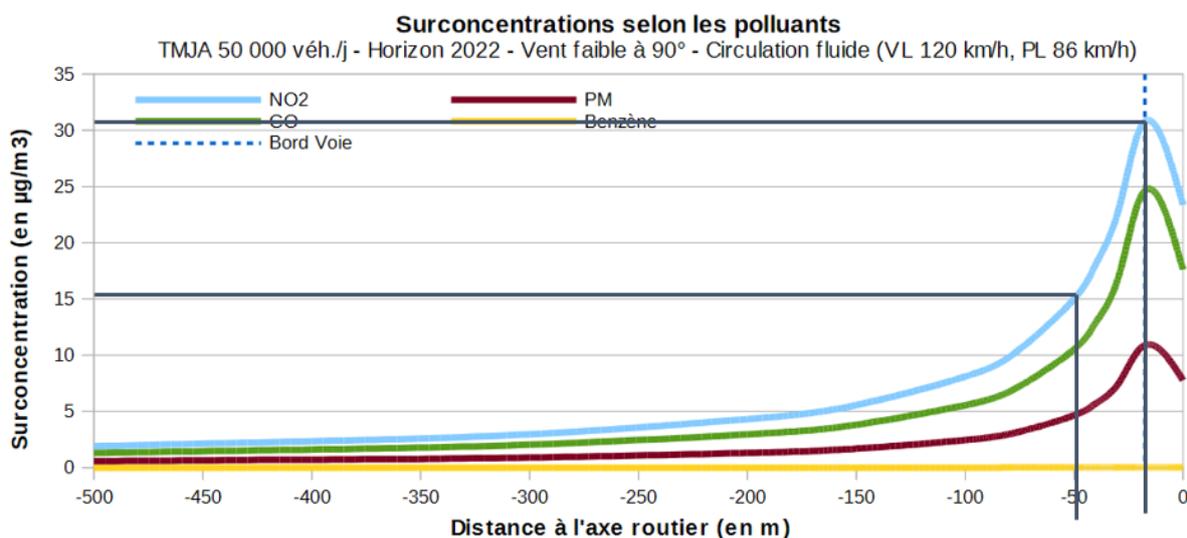
Tableau 2 : Estimation des concentrations moyennes annuelles en 2021 au niveau des moyens de la campagne de mesure et moyennes annuelles mesurées au niveau de stations fixes

Point de mesure	Concentration moyenne mesurée en NO ₂ sur la campagne (µg/m³)	Concentration moyenne annuelle estimée en NO ₂ (µg/m³)	Point de mesure fixe	Concentration moyenne en NO ₂ (µg/m³) 2021
1	54.5	50.5	Jean Moulin (trafic)	35.3
2	45.9	42.0	Rabatau (trafic)	40.9
3	42.9	39.0	Longchamp (urbain)	25.3
4	44.6	40.7	Saint Louis (urbain)	32.4
			Place Verneuil (urbain)	31.6
			Kaddouz (trafic)	-

Ainsi, les points 2, 3 et 4, situés à environ 50 mètres et plus de l'autoroute A7, montrent des concentrations moyennes annuelles estimées de l'ordre de 40 µg/m³, soit le bruit de fond « trafic – local » de la zone.

En revanche, le point 1, le plus proche de la voie, présente une concentration de l'ordre de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit une surconcentration d'environ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport à ces autres points. Cette surconcentration est cohérente avec ce qui est proposé par le CEREMA² qui indique que, pour des conditions de circulation spécifiques « classiques », pour des points situés à environ 50 mètres de la voie, la différence de surconcentration est de l'ordre de 10 à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figure 4 : Evolution des surconcentrations en polluant en fonction de la proximité de la voie



L'impact de l'autoroute A7 sur les mesures réalisées à l'aide de tubes passifs est ainsi visible sur le point de mesure 1 situé au plus près de la voie. En revanche, pour les points situés à 50 mètres et plus de la voie (au cœur de la Ferme CAPRI), les niveaux de fond de la zone semblent atteints (valeurs globalement cohérentes sur les 3 autres points de mesure).

² https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/guide_m%C3%A9thodologique_air_sante.pdf

3 Etude bibliographique

Une infrastructure routière comme l'autoroute A7 est émettrice d'une grande quantité de polluants sur son environnement local. En plus des oxydes d'azote NOx (dont le dioxyde d'azote NO₂, pour lequel des mesures ont été réalisées et présentées dans le paragraphe précédent), ces infrastructures sont également à l'origine d'émissions de composés organiques volatils COV (dont le benzène) et de composés particuliers (PM, hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP et métaux).

► **Polluants à considérer selon le CEREMA**

A titre informatif, dans son « Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières » de février 2019, le CEREMA préconise de retenir, dans le cadre de la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires pour une exposition chronique par inhalation et ingestion pour une infrastructure routière, les polluants suivants :

Tableau 3 : Substances recommandées pour leur prise en compte dans les évaluations du risque sanitaire chronique dans le cadre d'études d'impact d'infrastructures routières (CEREMA 2019)

Végétaux	Exposition par inhalation	Exposition par ingestion
Polluants gazeux	Dioxyde d'azote	-
	Benzène (COV)	
	1,3-butadiène (COV)	
Polluants particuliers	Particules : PM10 et PM2.5	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAP dont le benzo(a)pyrène)
	Métaux : Chrome VI, arsenic et nickel	
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAP dont le benzo(a)pyrène)	

Il s'agit des principaux polluants émis par une infrastructure routière pouvant avoir un effet sur la santé et pour lesquels le CEREMA préconise de les intégrer dans une évaluation du risque sanitaire.

► **Les émissions de polluants (ou rejets) de l'autoroute A7 en 2019**

Dans le cadre de son inventaire des émissions, AtmoSud a extrait les données annuelles pour la dernière année disponible représentative (2019, pré-COVID) pour les polluants présents sur la zone concernée, à savoir les 2 voies de l'autoroute A7 à proximité de la Ferme CAPRI :

Figure 5 : Localisation des tronçons retenus dans l'estimation des émissions annuelles

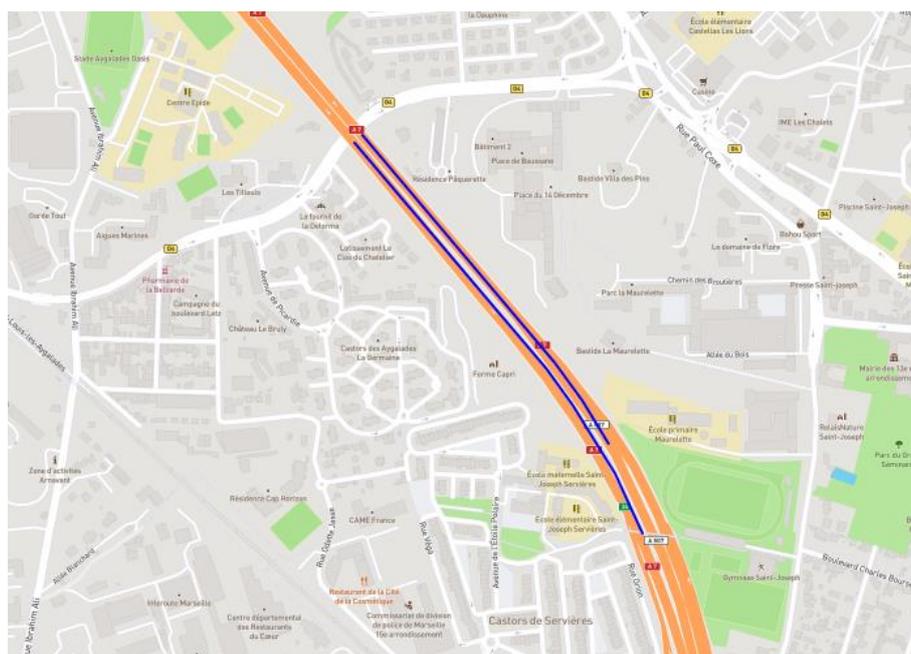


Tableau 4 : Estimation des émissions annuelles de l'axe routier concerné

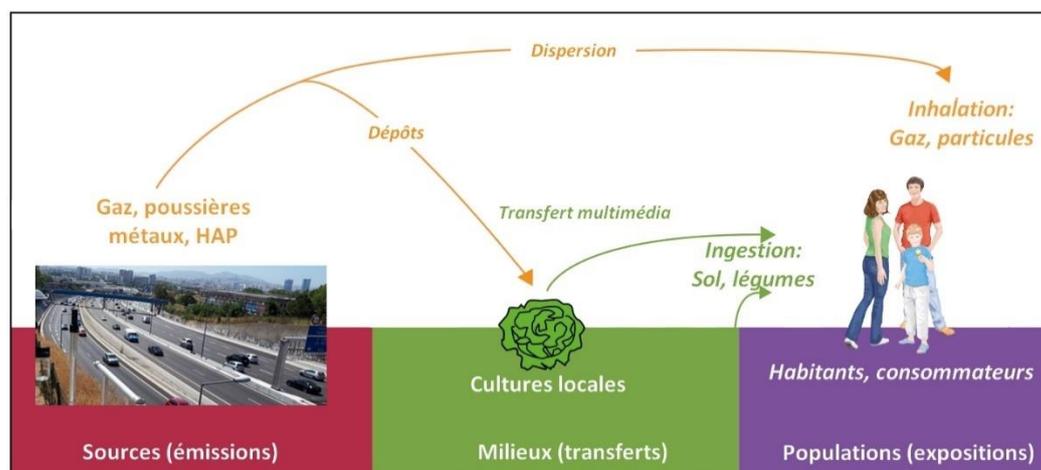
Polluant	Emissions du tronçon concernée (kg/an)	Part des émissions totales de la voie concernée
Polluants gazeux		
NOx	16 175.1	82.3%
Benzène	10.5	0.1%
1,3-butadiène	Pas de données	-
Particules		
PM10	2 137.5	10.9%
PM2.5	1 339.4	6.8%
Métaux		
Arsenic	0.1	< 0.1%
Nickel	0.04	< 0.1%
Chrome total	0.05	< 0.1%
HAP		
Benzo(a)Pyrène	0.04	< 0.1%
Acenaphtylène	0.6	< 0.1%
benzo(a)anthracene	0.2	< 0.1%
benzo(b)fluoranthene	0.05	< 0.1%
benzo(ghi)perylene	0.1	< 0.1%
benzo(k)fluoranthene	0.03	< 0.1%
dibenzo(ah)anthracene	0.01	< 0.1%
fluoranthene	1.0	< 0.1%
indeno(123cd)pyrene	0.02	< 0.1%
pyrene	0.4	< 0.1%

Si le 1,3-butadiène et l'intégralité des 16 HAP ne sont pas disponibles dans l'inventaire des émissions issues du trafic routier d'AtmoSud, il apparaît cependant que la très grande majorité des polluants émis et retenus par le CEREMA sont les oxydes d'azote et les particules (PM10 et PM2.5).

En ce qui concerne les voies d'exposition des populations à proximité d'un axe routier, il est généralement considéré :

- L'exposition directe par inhalation des polluants émis par l'axe routier
- L'exposition par ingestion
 - Ingestion « directe » : ingestion de sol présentant des dépôts issus de l'axe routier
 - Ingestion « indirecte » : ingestion de cultures locales cultivées dans des sols sous l'influence de l'axe routier :
 - Transfert « atmosphère plante » : Dépôt particulaire et absorption gazeuse
 - Transfert « sol-racines »

Figure 6 : Schéma conceptuel adapté de l'exposition des populations aux émissions de l'autoroute A7 pour la Ferme CAPRI



Quant au devenir de la substance, les informations ci-dessous sont extraites des fiches de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS. Pour rappel, le facteur de bioconcentration (BCF) désigne le rapport entre concentration du composé chimique (métal lourd par exemple) dans l'organisme vivant et celle dans le milieu (eau/air/sol) : plus celui-ci est élevé, plus l'organisme est susceptible d'accumuler le polluant.

► Oxydes d'azote

Dans les sols humides, le dioxyde d'azote réagit pour donner de l'acide nitrique. Lorsque les oxydes d'azote pénètrent dans les tissus des végétaux, ils sont rapidement métabolisés **et ne s'accumulent pas**.

► Benzène

Dans les sols, le benzène est mobile. En raison de sa pression de vapeur et sa solubilité élevées, le benzène se volatilise à partir de la surface du sol, est entraîné vers les eaux superficielles par ruissellement et vers les eaux souterraines par lixiviation.

Il existe des preuves de la contamination des plantes telles que le cresson et l'orge à partir du sol. Une part importante de la contamination des plantes pourrait être liée au transfert air-feuilles. **Cependant, aucun résultat d'essai valide permettant de déterminer des facteurs de bioconcentration du benzène dans les plantes n'a pu être trouvé dans la littérature.**

► 1,3-butadiène

Le 1,3-butadiène s'adsorbe peu dans les sols. Il est modérément mobile, a peu de chances de contaminer les eaux souterraines et se volatilise rapidement.

Aucune donnée concernant la bioaccumulation du 1,3-butadiène dans les organismes terrestres n'a été trouvée dans la littérature scientifique consultée.

► Arsenic

La mobilité de l'arsenic dans les sols est assez limitée. Néanmoins, l'arsenic trivalent (III) est reconnu comme étant plus mobile que l'arsenic pentavalent (V). Dans les sols, l'arsenic existe principalement sous forme oxydée (arséniate AsO_4^{3-} ou arsénite AsO_3^{3-}). De par sa nature, l'arsenic est persistant dans l'environnement.

L'absorption des composés de l'arsenic par les plantes, depuis le sol, se fait principalement sous forme passive depuis le flux hydrique. La biodisponibilité et l'absorption de l'arsenic par les plantes dépendent de nombreux facteurs (source et à la forme de l'élément, pH du sol, potentiel d'oxydoréduction, conditions de drainage, type et quantité de matière organique présente, ...).

Le taux d'absorption varie également largement en fonction des espèces cultivées et les teneurs dans les racines apparaissent plus importantes que dans les feuilles et dans les tiges. Plusieurs études expérimentales montrent l'augmentation parallèle des concentrations en arsenic dans les végétaux avec celles des sols. Toutefois, **les facteurs de bioconcentration restent très faibles**. A titre informatif, voici les facteurs de bioconcentration (BCF) pour différents types de végétaux proposés dans la littérature :

Tableau 5 : Facteurs de bioconcentration pour les végétaux pour l'arsenic

Végétaux	BCF en poids frais	BCF en poids sec
Laitue	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Oignon		$6,2 \cdot 10^{-4}$
Betterave		$5,3 \cdot 10^{-4}$
Carotte	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$
Petit pois		$1,2 \cdot 10^{-4}$
Haricot vert	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Pomme de terre	$2,4 \cdot 10^{-4}$	
Radis	$1,5 \cdot 10^{-3}$	

► Nickel

Bien plus que la teneur totale, la spéciation et l'état physico-chimique du nickel sont des paramètres essentiels à considérer afin d'évaluer son comportement dans l'environnement et en particulier sa biodisponibilité. Dans les sols, les principales formes du nickel, et en particulier NiOH^+ , sont adsorbées à la surface d'oxydes amorphes de fer, d'aluminium ou de manganèse, et dans une moindre mesure à la surface de minéraux argileux.

Hertel et al. (1991) et McGrath (1995) proposent une gamme de concentrations en nickel dans les végétaux cultivés sur des sols non contaminés et de nature non serpentine, allant de 0,05 à 5 mg/kg (poids sec). A titre informatif, voici les facteurs de bioconcentration (BCF) pour différents types de végétaux proposés dans la littérature :

Tableau 6 : Facteurs de bioconcentration pour les végétaux pour le nickel

Végétaux	BCF en poids frais	BCF en poids sec
Laitue		$2,0 \cdot 10^{-3}$
Carotte		$5,0 \cdot 10^{-4}$
Haricot vert		$1,0 \cdot 10^{-2}$
Pomme de terre		$1,0 \cdot 10^{-3}$
Radis		$2,0 \cdot 10^{-3}$
Tomate		$2,0 \cdot 10^{-3}$

► Chrome (dont Chrome VI)

Le chrome existe sous plusieurs degrés d'oxydation, principalement trivalent (III) et un peu hexavalent (VI), ce dernier étant largement transformé en chrome III dans les sols. De plus, dans les sols, le chrome III s'adsorbe plus que le chrome VI. Sous une forme adsorbée sur des hydroxydes métalliques, le chrome est peu disponible aux végétaux. La concentration en chrome des végétaux est donc principalement contrôlée par la concentration de chrome en solution dans le sol. **La plupart des sols contiennent du chrome, mais sa disponibilité pour les plantes est très limitée.**

Habituellement, une quantité plus importante en chrome est observée dans les racines, plutôt que dans les feuilles, tandis que la concentration la plus faible se trouve dans les graines.

Aucun résultat d'essai valide permettant de dériver des facteurs de bioconcentration du chrome depuis les sols n'a pu être trouvé dans la littérature. En effet, les données rapportées dans la littérature concernent soit des plantes cultivées sur des sols contenant du chrome, dans des atmosphères avec des concentrations en chrome non négligeables, soit des plantes cultivées sur des sols contaminés par des ajouts de boues, soit des plantes cultivées sur des sols contaminés par des ajouts réguliers de solutions nutritives contenant du chrome.

Aucune de ces données n'est satisfaisante pour dériver des facteurs de bioconcentration du chrome depuis les sols

► Hydrocarbures aromatiques polycycliques – Benzo(a)pyrène

Seul le benzo(a)pyrène a été retenu dans le cadre de cette recherche bibliographique, celui-ci étant considéré comme le HAP de référence dans les différentes études réalisées, car étant le plus étudié (donc le mieux connu), mais aussi l'un des plus présents de manière constante au sein de nombreux mélanges et le plus toxique.

Le benzo(a)pyrène est fortement adsorbé sur la matière particulaire et il est peu mobile dans les sols et peu dégradable. La volatilisation du benzo(a)pyrène depuis les sols ou les surfaces aquatiques est très peu importante.

En ce qui concerne sa bioaccumulation, l'INERIS recommande de consulter la Base de données sur la contamination des Plantes Potagères par les molécules Organiques Polluantes³, qui indique des concentrations en benzo(a)pyrène dans les végétaux et dans des sols, permettant de calculer un BCF. Cependant, il appartient à l'utilisateur **averti** de sélectionner les données qui lui apparaîtront pertinentes eu égard à son cas d'étude.

Il est de plus mentionné que si le benzo(a)pyrène présent dans l'environnement air/sol peut être prélevé par les plantes (via leurs racines et leurs feuilles) et une translocation d'un organe à l'autre est possible, **les données sont insuffisantes pour estimer des facteurs de bioconcentration (BCF) du benzo(a)pyrène pour les végétaux.**

³ BAPPOP 20152 (ADEME, INERIS, Université de Lorraine-INRA-GISFI, INPT-ENSAT, ISA Lille, 2015)

4 Conclusions

Dans le cadre d'un accompagnement avec la ferme Capri, située dans le 15^{ème} arrondissement de Marseille, AtmoSud a porté des études en termes de qualité de l'air à l'aide dans un premier temps d'une campagne de mesures spécifiques au niveau de la zone d'étude, ainsi que dans un deuxième temps d'une étude bibliographique relative à l'influence du trafic routier sur son environnement direct.

En ce qui concerne la campagne de mesures, celle-ci a montré, à l'aide d'un transect d'échantillonneurs passifs de dioxyde d'azote, que l'influence de l'autoroute A7, située en bordure de la ferme, était visible en bordure immédiate (avec une surconcentration en dioxyde d'azote d'environ 10 µg/m³), mais qu'à partir de 50 mètres, cette surconcentration n'était plus présente et un niveau de fond local était atteint.

D'un point de vue bibliographique, les polluants principalement émis par ce type d'infrastructure et potentiellement retenus dans le cadre d'une étude de risque sont les polluants suivants :

- Polluants gazeux : Dioxyde d'azote, benzène et 1,3-butadiène
- Polluants particuliers :
 - Particules : PM10 et PM2.5
 - Métaux : Chrome VI, arsenic et nickel
 - Hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAP dont le benzo(a)pyrène)

Les principales voies d'exposition des populations à proximité d'un axe routier sont au nombre de 3 :

- L'exposition directe par inhalation des polluants émis par l'axe routier
- L'exposition par ingestion
 - Ingestion « directe » : ingestion de sol présentant des dépôts issus de l'axe routier
 - Ingestion « indirecte » : ingestion de cultures locales cultivées dans des sols sous l'influence de l'axe routier (Transfert « atmosphère plante » : Dépôt particulaire et absorption gazeuse + Transfert « sol-racines »)

Enfin, quant au devenir de ces polluants dans les sols et les plantes, il apparaît que, d'après les fiches INERIS consultées, les polluants gazeux ne présentent pas d'accumulation notable dans les sols et les végétaux. Pour les polluants particuliers, les facteurs de bioconcentration des métaux (arsenic, nickel et chrome) apparaissent comme « faibles », quant aux HAP (et notamment le benzo(a)pyrène), un approfondissement des données est nécessaire, même s'il s'agit de la seule famille de polluant recommandée par le CEREMA pour l'étude d'une exposition par ingestion.

Ainsi, cette première étude a permis de faire apparaître une distribution géographique de l'impact de la voie à travers une campagne de mesures, mais également de lister les principaux polluants pouvant être concernés par un impact de l'autoroute A7 sur les cultures de la ferme Capri. Cependant, il peut être envisagé de pousser plus l'investigation de cet impact éventuel à l'aide de **mesures dans les autres matrices concernées** (sols et végétaux).

Il est également à préciser que d'autres apports peuvent exister et n'ont pas été intégrés dans cette étude faute d'informations disponibles, comme par exemple l'apport par irrigation (arrosage des plantes) ou des pratiques culturales (engrais, apports d'autres sols, produits phytosanitaires, ...).